

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Fernando César Soares Feliciano

**ESTIMATIVA DE CURVAS ENVOLTÓRIAS PARA OS FATORES DE FREQUÊNCIA DA
PMP ESTATÍSTICA EM DIFERENTES CLIMAS DE MINAS GERAIS A PARTIR DE
SÉRIES HISTÓRICAS E SINTÉTICAS DE PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS**

Belo Horizonte
2025

Fernando César Soares Feliciano

**ESTIMATIVA DE CURVAS ENVOLTÓRIAS PARA OS FATORES DE FREQUÊNCIA DA
PMP ESTATÍSTICA EM DIFERENTES CLIMAS DE MINAS GERAIS A PARTIR DE
SÉRIES HISTÓRICAS E SINTÉTICAS DE PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Modelagem de processos hidrológicos

Orientador: Eber José de Andrade Pinto

Belo Horizonte
2025

F314e

Feliciano, Fernando César Soares.

Estimativa de curvas envoltórias para os fatores de frequência da PMP estatística em diferentes climas de Minas Gerais a partir de séries históricas e sintéticas de precipitações diárias [recurso eletrônico] / Fernando César Soares Feliciano. - 2025.

1 recurso online (155 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Eber José de Andrade Pinto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Teses. 3. Climatologia - Minas Gerais - Teses. 4. Precipitação (Meteorologia) - Teses. I. Pinto, Eber José de Andrade. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

"Estimativa de Curvas Envoltórias para os Fatores de Frequência da PMP Estatística em Diferentes Climas de Minas Gerais a Partir de Séries Históricas e Sintéticas de Precipitações Diárias"

FERNANDO CÉSAR SOARES FELICIANO

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. EBER JOSÉ DE ANDRADE PINTO

Prof. WILSON DOS SANTOS FERNANDES

Prof. FRANCISCO EUSTÁQUIO OLIVEIRA E SILVA

Prof. ELOY KAVISKI

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Prof. Eduardo Coutinho de Paula
Coordenador

Prof. Eber José de Andrade Pinto
Orientador

Belo Horizonte, 04 de abril de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Eloy Kaviski, Usuário Externo**, em 06/04/2025, às 10:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Eustaquio Oliveira e Silva, Professor do Magistério Superior**, em 07/04/2025, às 10:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wilson dos Santos Fernandes, Professor do Magistério Superior**, em 09/04/2025, às 10:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eber Jose de Andrade Pinto, Professor do Magistério Superior**, em 09/04/2025, às 18:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Coutinho de Paula, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 02/06/2025, às 11:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4085315** e o código CRC **145AF550**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me capacitar diariamente e me dar força para buscar e alcançar meus objetivos. Sou também grato à vida, pelas oportunidades e desafios superados, que moldaram meu caminho até aqui.

Sou grato à minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou incondicionalmente. Aos meus pais, Sérgio e Águeda, minha eterna inspiração, agradeço por nunca medirem esforços e amor para que eu tivesse todas as condições de perseguir meus sonhos. Sua confiança e dedicação foram e sempre serão meu maior alicerce.

Ao meu orientador, Eber Pinto, expressei minha gratidão pela disponibilidade, paciência e pelo direcionamento cuidadoso ao longo desta jornada. Sua expertise e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos demais professores do programa, agradeço pelas valiosas contribuições, pelos ensinamentos compartilhados e pelo incentivo constante, que enriqueceram tanto minha formação acadêmica quanto pessoal.

Agradeço ao Instituto Federal de Minas Gerais e à Universidade Federal de Ouro Preto, instituições que me permitiram dar os primeiros passos acadêmicos, fundamentais para que eu pudesse chegar até este momento. À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, agradeço pela oportunidade de realizar este estudo e pelo suporte acadêmico, técnico e institucional que recebi durante toda a trajetória.

Aos meus colegas de pesquisa e amigos, especialmente Thales Basilio, Iago Eleutério e Anna Perini, sou grato pelas discussões enriquecedoras e, sobretudo, pelo companheirismo nos momentos desafiadores.

Por fim, aos demais amigos, cujos nomes não caberiam todos aqui, mas que, de alguma forma, contribuíram para tornar essa caminhada mais leve, divertida e inesquecível.

A todos vocês, meu mais sincero e profundo obrigado.

“Um dia de chuva é tão belo como um dia de sol. Ambos existem; cada um como é.”
Fernando Pessoa

RESUMO

Eventos extremos de precipitação têm impactos significativos em diversas partes do mundo, comprometendo a segurança da população, a economia e a infraestrutura. Sua definição varia conforme a localização e a época do ano, sendo determinada pelas condições hidrometeorológicas regionais, sem um valor fixo universal. Na hidrologia, o cálculo de vazões de projeto em estruturas hidráulicas segue duas abordagens principais: determinística e probabilística. A abordagem determinística utiliza o conceito de Precipitação Máxima Provável (PMP), definida pela WMO (2009) como a precipitação máxima teórica para uma duração específica sob condições meteorológicas atuais. Este documento baseia-se no método estatístico de Hershfield (1961a, 1961b, 1965), que maximiza o fator de frequência (K) para estimar a PMP com base na média e no desvio padrão dos registros anuais máximos de precipitação. Entretanto, o método de Hershfield foi desenvolvido predominantemente com dados dos Estados Unidos, refletindo condições de formação de tormentas distintas das brasileiras, e utiliza uma base de dados medida até a década de 1960. Com a evolução dos estudos, o relatório *Modernizing Probable Maximum Precipitation Estimation* (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2024) propôs uma nova definição para a PMP. Essa abordagem considera alturas de precipitação com probabilidade de excedência extremamente baixa, incorporando períodos climáticos específicos e ajustando as estimativas à medida que o clima muda. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo desenvolver curvas envoltórias para os fatores de frequência associados à PMP em Minas Gerais. Para isso, utilizam-se séries de precipitação diária, abrangendo dados históricos e sintéticos, a fim de correlacionar os fatores de frequência com a classificação climática do estado. A abordagem sintética introduz um caráter probabilístico, com percentis baseados em probabilidades de excedência de 5% e 1%. A análise incluiu 481 estações pluviométricas selecionadas com base em critérios específicos e classificadas segundo a classificação climática de Köppen-Geiger proposta por Martins et al. (2018), que resultou em 15 estações em regiões semiáridas, 186 em clima temperado e 280 em clima tropical. Utilizou-se um modelo para gerar séries sintéticas de precipitação diárias, sendo que a abordagem bipartida apresentou melhor ajuste aos dados em comparação ao modelo híbrido. As curvas envoltórias foram traçadas considerando a metodologia de Sarkar e Maity (2020). Nos dados históricos, o fator K máximo observado foi de 8,98 na região de clima temperado. Para as séries sintéticas, os valores máximos de K foram 14,04 (percentil 95%) e 14,62 (percentil 99%) na região de clima tropical. Observou-se que em comparação as envoltórias obtidas a envoltória de Hershfield, aplicada aos dados de Minas Gerais, apresenta um caráter conservador, especialmente em áreas classificadas como semiáridas.

Palavras-chave: Precipitação Máxima Provável (PMP). Fator de frequência (K). Classificação climática. Séries Sintéticas. Curvas Envoltórias.

ABSTRACT

Extreme precipitation events have significant impacts in various parts of the world, compromising public safety, the economy, and infrastructure. Their definition varies depending on location and time of year, being determined by regional hydrometeorological conditions, with no fixed universal value. In hydrology, the design discharge calculations for hydraulic structures follow two main approaches: deterministic and probabilistic. The deterministic approach uses the concept of Probable Maximum Precipitation (PMP), defined by the WMO (2009) as the theoretical maximum precipitation for a specific duration under current meteorological conditions. This document is based on the statistical method of Hershfield (1961a, 1961b, 1965), which maximizes the frequency factor (K) to estimate PMP based on the mean and standard deviation of annual maximum precipitation records. However, Hershfield's methodology was predominantly developed with data from the United States, reflecting storm formation conditions different from those in Brazil, and it uses a database measured up until the 1960s. With the evolution of studies, the report Modernizing Probable Maximum Precipitation Estimation (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2024) proposed a new definition for PMP. This approach considers precipitation depths with an extremely low exceedance probability, incorporating specific climatic periods and adjusting estimates as the climate changes. In this context, the present study aims to develop envelope curves for the frequency factors (K) associated with PMP in Minas Gerais. For this, daily precipitation series are used, encompassing both historical and synthetic data, in order to correlate the frequency factors with the state's climatic classification. The synthetic approach introduces a probabilistic character, with percentiles based on exceedance probabilities of 5% and 1%. The analysis included 481 selected rain gauge stations based on specific criteria and classified according to the Köppen-Geiger climatic classification proposed by Martins et al. (2018), resulting in 15 stations in semiarid regions, 186 in subtropical climate, and 280 in tropical climate. A model was used to generate synthetic daily precipitation series, with the bifurcated approach showing better fit to the data compared to the hybrid model. The envelope curves were plotted considering the methodology of Sarkar and Maity (2020). In the historical data, the maximum observed K factor was 8.98 in the subtropical climate region. For the synthetic series, the maximum K values were 14.04 (95th percentile) and 14.62 (99th percentile) in the tropical climate region. It was observed that, compared to the envelope curves obtained, Hershfield's envelope, applied to the Minas Gerais data, presents a conservative character, especially in areas classified as semiarid.

Keywords: Probable Maximum Precipitation (PMP). Frequency Factor (K). Climatic Classification. Synthetic Series. Envelope Curves.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 - Classificação climática de Köppen para Minas Gerais considerando o clima presente (1981-2010)..... | 26 |
| Figura 3.2 – Fator K em função da média de precipitações máximas anuais. | 35 |
| Figura 3.3 – (a) Ajuste da média e (b) desvio padrão da série anual para a precipitação máxima observada | 36 |
| Figura 3.4 – Ajuste da média e desvio padrão da série anual para o comprimento do registro | 37 |
| Figura 3.5 – Curva de envoltória superior para o Fator de Frequência de acordo com Hershfield (1965) e o método proposto por Sarkar e Maity (2020)..... | 38 |
| Figura 3.6 - Estrutura genérica de um modelo paramétrico bipartido..... | 42 |
| Figura 3.7 - Funções de densidade da distribuição gama para quatro valores do parâmetro de forma..... | 46 |
| Figura 3.8 - Função densidade de probabilidades e função acumulada de probabilidades – Exponencial..... | 49 |
| Figura 4.1 – Mapa de localização de Minas Gerais..... | 59 |
| Figura 4.2 – Mapa hipsométrico de Minas Gerais | 60 |
| Figura 4.3 – Bacias hidrográficas de Minas Gerais | 61 |
| Figura 4.4 – Mapa de biomas de Minas Gerais | 62 |
| Figura 5.1 – Fluxograma metodológico | 63 |
| Figura 5.2 – Classificação Climática de Minas Gerais | 67 |
| Figura 5.3 – Esquema de geração de séries sintéticas e seleção do fator K..... | 74 |
| Figura 6.1 – Filtragem de estações por estado | 75 |
| Figura 6.2 – Filtragem de estações por estado e comprimento de registro..... | 76 |
| Figura 6.3 – Filtragem de estações por estado, comprimento de registro e limiar físico | 77 |
| Figura 6.4 – Filtragem de estações por estado, comprimento de registro, limiar físico e padrões de precipitações sequenciais | 78 |
| Figura 6.5 – Interpolação IDW do Fator K em Minas Gerais – Dados históricos..... | 79 |
| Figura 6.6 – Histograma do fator K para Minas Gerais – Dados históricos..... | 79 |
| Figura 6.7 – Boxplot do fator K para Minas Gerais – Dados históricos | 79 |
| Figura 6.8 – Distribuição das estações SCC Köppen-Geiger – Dados históricos | 81 |
| Figura 6.9 – Histogramas por classificação climática – Dados históricos | 82 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.10 – Boxplot por classificação climática – Dados históricos..... | 82 |
| Figura 6.11 – Gráfico do fator K pela média – Minas Gerais – Dados históricos | 83 |
| Figura 6.12 – Gráfico do fator K pela média – Clima Semiárido – Dados históricos . | 83 |
| Figura 6.13 – Gráfico do fator K pela média – Clima Temperado – Dados históricos | 84 |
| Figura 6.14 – Gráfico do fator K pela média – Clima Tropical – Dados históricos..... | 84 |
| Figura 6.15 – Aderência das distribuições aos dados - Teste de Kolmogorov-Smirnov | 87 |
| Figura 6.16 – Modelos de geração de séries diárias que melhor aderiram as estatísticas das séries históricas..... | 87 |
| Figura 6.17 – Distribuição do Fator K em Minas Gerais – Séries Sintéticas P95 | 92 |
| Figura 6.18 – Histograma do fator K para Minas Gerais – Séries Sintéticas P95 | 92 |
| Figura 6.19 – Boxplot do fator K para Minas Gerais – Séries Sintéticas P95..... | 92 |
| Figura 6.20 – Distribuição do Fator K em Minas Gerais – Séries Sintéticas P99 | 94 |
| Figura 6.21 – Histograma do fator K para Minas Gerais – Séries Sintéticas P99 | 94 |
| Figura 6.22 – Boxplot do fator K para Minas Gerais – Séries Sintéticas P99..... | 95 |
| Figura 6.23 – Histogramas do fator K por classificação climática – Dados sintéticos P95..... | 97 |
| Figura 6.24 – Boxplot do fator K por classificação climática – Dados sintéticos P95 | 97 |
| Figura 6.25 – Histogramas do fator K por classificação climática – Dados sintéticos P99..... | 98 |
| Figura 6.26 – Boxplot do fator K por classificação climática – Dados sintéticos P99 | 98 |
| Figura 6.27 – Gráfico do fator K pela média – Minas Gerais – Dados sintéticos P95 | 99 |
| Figura 6.28 – Gráfico do fator K pela média – Clima Semiárido – Dados Sintéticos P95 | 100 |
| Figura 6.29 – Gráfico do fator K pela média – Clima Temperado – Dados Sintéticos P95..... | 100 |
| Figura 6.30 – Gráfico do fator K pela média – Clima Tropical – Dados sintéticos P95 | 101 |
| Figura 6.31 – Gráfico do fator K pela média – Minas Gerais – Dados sintéticos P99 | 102 |
| Figura 6.32 – Gráfico do fator K pela média – Clima Semiárido – Dados Sintéticos P99 | 102 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.33 – Gráfico do fator K pela média – Clima Temperado – Dados Sintéticos P99..... | 103 |
| Figura 6.34 – Gráfico do fator K pela média – Clima Tropical – Dados sintéticos P99 | 103 |
| Figura 6.35 – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965).... | 105 |
| Figura 6.36 – Fenômeno de <i>overdispersion</i> – Precipitação Anual | 109 |
| Figura 0.1 – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965) – Clima Semiárido | 150 |
| Figura 0.2 – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965) – Clima Temperado | 150 |
| Figura 0.3 – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965) – Clima Tropical | 151 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1.1 – Eventos de ruptura por galgamento no Brasil | 15 |
| Tabela 3.1 – Recordes mundiais de medições de precipitação pontuais..... | 22 |
| Tabela 3.2 – Recordes brasileiros de medições de precipitação pontuais..... | 23 |
| Tabela 3.3 – Tempos de recorrência mínimos (anos) recomendados para as cheias de projeto. | 30 |
| Tabela 3.4 – Tempo de retorno mínimo a ser considerado para dimensionamento do sistema extravasor durante o período de operação da barragem. | 30 |
| Tabela 6.1 – Estações sinalizadas pelo limiar de detecção | 76 |
| Tabela 6.2 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K dados históricos - Minas Gerais..... | 78 |
| Tabela 6.3 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K por região climática - Dados históricos..... | 81 |
| Tabela 6.4 – Avaliação dos modelos – MAE e RMSE..... | 88 |
| Tabela 6.5 – Teste de estacionariedade – Series históricas | 88 |
| Tabela 6.6 – Teste de estacionariedade – Series sintéticas | 89 |
| Tabela 6.7 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K obtido pelos dados sintéticos - Minas Gerais – P95..... | 90 |
| Tabela 6.8 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K obtido pelos dados sintéticos - Minas Gerais – P99..... | 93 |
| Tabela 6.9 – Comparativo entre resultados hitóricos e sintéticos – Minas Gerais | 96 |
| Tabela 6.10 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K por região climática - Dados sintéticos P95..... | 96 |
| Tabela 6.11 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K por região climática - Dados sintéticos P99..... | 97 |
| Tabela 6.12 – Comparativo entre resultados hitóricos e sintéticos – Classificação climática | 98 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Am - Clima tropical monçônico

ANA - Agência Nacional de Águas

ANFIS – Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Sistema de Inferência Neuro-Fuzzy Adaptativo)

ANM - Agência Nacional de Mineração

AR - Autorregressivos

ARIMA - Média Móvel Integrado Autorregressivo

ASAS - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

Aw – Clima tropical com seca no inverno

BSh – Clima árido semiárido de baixa latitude e altitude

BWh – Clima árido desértico de baixa latitude e altitude

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CMP - Cheia Máxima Provável

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

Cwa - Clima subtropical com seca no inverno e verão quente

Cwb - Clima subtropical com seca no inverno e verão temperado

DPA - Dano Potencial Associado

E – East (Leste)

GHCN - Global Historical Climatology Network (Rede Global de Climatologia Histórica)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW - Inverse Distance Weighting (Ponderação pela Distância Inversa)

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IMD - India Meteorological Department

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IT - Instabilidade Tropical

K – Fator de Frequência

KDE - Kernel Density Estimate (Estimativa de Densidade por Kernel)

Km - Fator Frequência Maximizado

KNN- K-Nearest Neighbors (K-Vizinhos Mais Próximos)

KPSS - Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin

MA - Média Móvel

MAE – Mean Absolute Error (Erro Absoluto Médio)

MG – Minas Gerais

MMC - Método de Monte Carlo

MODWT - Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform (Transformada Discreta de Ondaleta com Sobreposição Máxima)

MPT - Matriz de Probabilidade de Transição

NE – Northeast (Nordeste)

NW – Northwest (Noroeste)

PMP - Precipitação Máxima Provável

RHAL - Região Hidrográfica do Atlântico Leste

RHAS - Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste

RHN - Rede Hidrometeorológica Nacional

RHPR - Região Hidrográfica do Paraná

RHSF - Região Hidrográfica do São Francisco

RMSE- Root Mean Squared Error (Raiz do Erro Quadrático Médio)

RNA - Redes Neurais Artificiais

S – South (Sul)

SCC - Sistemas de Classificação Climática

SE – Southeast (Sudeste)

SIGBM- Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SNISB - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

SW – Southwest (Sudoeste)

TR - Tempo de Retorno

W – West (Oeste)

WMO - World Meteorological Organization (Organização Meteorológica Mundial)

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 | OBJETIVOS | 19 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 19 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 19 |
| 3 | REVISÃO DA LITERATURA | 20 |
| 3.1 | Eventos extremos de precipitação | 20 |
| 3.2 | Classificação climática | 23 |
| 3.3 | Análise da qualidade de dados de precipitação | 27 |
| 3.4 | Crítérios de dimensionamento | 29 |
| 3.5 | Precipitação máxima provável (PMP) | 31 |
| 3.5.1 | Método hidrometeorológico | 33 |
| 3.5.2 | Método estatístico | 34 |
| 3.6 | Geração de séries sintéticas | 39 |
| 3.6.1 | Modelos bipartidos | 41 |
| 3.6.2 | Modelos de matriz de probabilidade de transição | 50 |
| 3.6.3 | Modelos não paramétricos | 51 |
| 3.6.4 | Modelos híbridos | 54 |
| 3.7 | Curvas envoltórias | 56 |
| 4 | ÁREA EM ESTUDO | 58 |
| 4.1 | Localização Geográfica..... | 58 |
| 4.2 | Orografia | 59 |
| 4.3 | Hidrografia | 60 |
| 4.4 | Vegetação..... | 61 |
| 5 | METODOLOGIA | 62 |
| 5.1 | Seleção dos dados..... | 63 |
| 5.2 | Envoltória dos fatores de frequência para séries históricas | 65 |
| 5.3 | Envoltória dos fatores de frequência para séries sintéticas | 69 |
| 5.3.1 | Seleção do modelo para geração de series sintéticas | 69 |
| 5.3.2 | Modelos para geração de series sintéticas considerados | 70 |
| 5.3.3 | Geração de series sintéticas e traçado de curvas envoltórias..... | 72 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 75 |
| 6.1 | Seleção dos dados..... | 75 |
| 6.2 | Resultados séries históricas | 78 |
| 6.2.1 | Dados históricos contexto estadual | 78 |
| 6.2.2 | Classificação climática dos dados históricos | 80 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 6.2.3 | Envoltória dos fatores de frequência para séries históricas | 82 |
| 6.3 | Resultados séries sintéticas..... | 85 |
| 6.3.1 | Seleção do modelo para geração de séries sintéticas | 86 |
| 6.3.2 | Dados sintéticos contexto estadual | 90 |
| 6.3.3 | Classificação climática dos dados sintéticos | 96 |
| 6.3.4 | Envoltória dos fatores de frequência para séries sintéticas..... | 99 |
| 6.4 | Discussão dos resultados | 105 |
| 7 | CONCLUSÕES | 112 |
| | REFERÊNCIAS..... | 116 |
| | APÊNDICE A – Estações pluviométricas consideradas no estudo | 126 |
| | APÊNDICE B – Fator K por estação – Dados históricos..... | 132 |
| | APÊNDICE C – Fator K por estação – Percentil 95% | 138 |
| | APÊNDICE D – Fator K por estação – Percentil 99% | 144 |
| | APÊNDICE E – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965) | 150 |

1 INTRODUÇÃO

Eventos extremos de precipitação são fenômenos que trazem sérias consequências em diversas partes do mundo, afetando a segurança da população, a economia e a infraestrutura local. Esses eventos, que podem manifestar-se tanto por chuvas intensas quanto por longos períodos de seca, são caracterizados pela sua raridade dentro de um determinado contexto meteorológico (IPCC, 2023).

A definição de evento extremo varia conforme a localização geográfica e a época do ano, uma vez que o clima de uma região é fortemente influenciado pelos processos de circulação atmosférica, que interagem com fatores como relevo, latitude, proximidade de continentes ou oceanos e o impacto das correntes oceânicas (Nimer, 1979). No contexto do estado de Minas Gerais, episódios de chuvas intensas são frequentemente desencadeados pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Silva et al., 2020). Essa condição atmosférica é caracterizada por uma faixa persistente de nebulosidade e precipitação que se estende de forma contínua no sentido noroeste-sudeste, partindo da região Amazônica, atravessando o Sudeste do Brasil e alcançando o setor sudoeste do oceano Atlântico (Rosa et al., 2020; Ambrizzi e Ferraz, 2015).

Em face as dinâmicas meteorológicas locais apresentadas, os Sistemas de Classificação Climática (SCC) são ferramentas que permitem sintetizar e categorizar as características climáticas de determinadas regiões. Entre os diversos sistemas existentes, a classificação climática de Köppen-Geiger é empregada na literatura científica devido à sua eficácia em delinear zonas climáticas com base em dados médios mensais de temperatura e precipitação. Este sistema facilita a identificação de regiões com perfis climáticos similares e ajuda na compreensão das variações climáticas que influenciam a ocorrência de eventos extremos (Martins et al, 2018).

Devido à alta magnitude das vazões resultantes de eventos extremos, é fundamental projetar estruturas capazes de suportar as máximas vazões previstas. Em estruturas de menor porte, como bueiros em rodovias, o projeto para acomodar vazões excepcionalmente altas pode não ser economicamente justificável, especialmente quando os danos por transbordamentos são pouco significativos. No entanto, para infraestruturas críticas, como vertedouros de grandes barragens, o

subdimensionamento das vazões pode resultar em falhas catastróficas, incluindo a ruptura de barramentos (Koutsoyiannis e Papalexiou, 2017).

As barragens desempenham um papel essencial na gestão de recursos hídricos, oferecendo suporte para abastecimento de água, irrigação, geração de energia, controle de cheias e contenção de resíduos industriais. No entanto, essas estruturas podem ser vulneráveis a eventos hidrológicos extremos, que podem levar ao colapso e gerar consequências devastadoras para o meio ambiente e as comunidades locais. Um risco particular dessas estruturas é o galgamento, que ocorre quando a água do reservatório ultrapassa a crista da barragem, podendo iniciar um processo de erosão que, se não controlado, pode resultar em ruptura do maciço. Conforme destacado por Saliba (2009) e apresentado na Tabela 1.1 no contexto nacional apresentam-se alguns episódios de ruptura por galgamento.

Tabela 1.1 – Eventos de ruptura por galgamento no Brasil

| Estrutura | Local | Data | Causa | Efeito |
|---|--------------|-----------------------|---|--|
| Açude de Orós | Ceará | 26 de março de 1960 | Insuficiência das obras de desvio | Inundações em Limoeiro do Norte |
| Barragem da UHE Euclides da Cunha | Pardo, SP | 19 de janeiro de 1977 | Precipitação de 260 mm nas 24 horas anteriores | Ruptura da UHE Armando Sales de Oliveira |
| Barragem de Rejeitos de São Francisco (BSF) | Miraí, MG | 10/01/2007 | 121,3 mm em 4 h, evento com recorrência de 180 anos | Danos ambientais, assoreamento do córrego e interrupção temporária do abastecimento público em MG e RJ |

Fonte: Saliba (2009)

Com o intuito de garantir a segurança dessas estruturas, órgãos reguladores, como a Agência Nacional de Águas (ANA), têm emitido normativas específicas para o dimensionamento de vertedores. O "Manual do Empreendedor Volume V", publicado pela ANA em 2016, estabelece que barragens com altura superior a 50 metros ou volume acima de 50 hm³ devem ser projetadas para suportar a Cheia Máxima Provável (CMP), estimada com base na Precipitação Máxima Provável (PMP), conforme as diretrizes da WMO (2009). Na mineração, a Resolução ANM nº 95 de 2022 determina que barragens com Dano Potencial Associado (DPA) alto devem adotar o critério mais restritivo entre um tempo de retorno (TR) de 10.000 anos ou a PMP.

Desta forma, identifica-se duas abordagens principais utilizadas no campo da hidrologia e da engenharia para estimar as chuvas de projeto: a determinística e a

probabilística. A abordagem probabilística considera que todo evento possui uma probabilidade de ser excedido ou, dependendo da abordagem, de não ser superado, frequentemente vinculada ao conceito de tempo de retorno. Este conceito, definido como o inverso da probabilidade de um evento ser igualado ou superado, é crucial para avaliar a probabilidade de excedência eventos hidrológicos extremos, como chuvas intensas, enchentes ou secas, e está diretamente relacionado ao risco hidrológico, associado à vida útil de uma estrutura hidráulica (Naghetini e Pinto, 2007).

Por outro lado, a abordagem determinística foca em estabelecer os limites físicos máximos para eventos como a precipitação. Um conceito central nessa abordagem é a Precipitação Máxima Provável (PMP), definida pela WMO (2009) como a maior quantidade de precipitação teoricamente possível para uma duração específica, considerando as condições meteorológicas atuais. A estimativa da PMP pode ser realizada por dois métodos principais: os modelos hidrometeorológicos e os modelos estatísticos. Este último é baseado nos estudos de Hershfield (1961a, 1961b, 1965), que calcula a PMP ao maximizar o fator de recorrência com base em envoltórias específicas.

Os métodos descritos para a estimativa de chuvas dependem de séries históricas de precipitação. Entretanto, a ausência de séries temporais longas e confiáveis constitui um desafio significativo em muitas regiões, incluindo o Brasil. A falta de dados adequados compromete a precisão das estimativas de vazões extremas e aumenta a incerteza no dimensionamento de infraestruturas hidráulicas. Para superar essa limitação, uma estratégia amplamente discutida na literatura é a geração de séries sintéticas prolongadas. Essa abordagem simula as características estatísticas dos dados observados, permitindo estimativas mais robustas e representativas dos fenômenos hidrológicos (Costa, 2015). Como alternativa viável para regiões com coleta limitada de dados de longo prazo, essa técnica se destaca como uma ferramenta essencial na análise de riscos hidrológicos e no planejamento de infraestruturas.

No que se refere à estimativa da PMP, o relatório da National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2024) destaca as limitações dos métodos atualmente

empregados. Entre as principais restrições estão a suposição de que a precipitação possui um limite superior, uma premissa sem comprovação científica sólida, e a ausência de procedimentos adequados para incorporar os efeitos das mudanças climáticas nos extremos de precipitação. Diante dessas limitações, o relatório propõe uma nova definição para a PMP, baseada na altura de precipitação associada a uma probabilidade de excedência extremamente baixa, em vez de assumir um limite superior fixo. Além disso, a nova abordagem sugere a consideração de períodos climáticos específicos, permitindo que as estimativas de PMP sejam ajustadas de forma dinâmica, em função das mudanças no clima. Nesse contexto, uma possibilidade para incorporar o caráter probabilístico à estimativa da PMP é o uso de séries sintéticas combinadas com a seleção de valores com base em percentis associados a baixas probabilidades de excedência.

O método estatístico para estimativa da PMP, desenvolvido por Hershfield e calculada com base na maximização do fator de frequência (K), foi amplamente baseada em dados de precipitação dos Estados Unidos, predominantemente de uma zona climática temperada, influenciada por fenômenos como furacões e sistemas frontais. Em contraste, o Brasil possui clima tropical, com precipitações influenciadas pela Zona de Convergência Intertropical, a Zona de Convergência do Atlântico Sul e características orográficas específicas (Braga e Ambrizzi, 2022). Koutsoyiannis e Papalexiou (2017) destacam, em seu estudo com dados da Rede Global de Climatologia Histórica (GHCN), diferenças significativas nos valores recordes de precipitação entre zonas climáticas, indicando que o valor máximo de K pode ser superior aos reportados por Hershfield.

Neste contexto, este estudo propõe desenvolver envoltórias específicas para os fatores de frequência em Minas Gerais de duração diária, com base em séries de precipitação observada e sintética. A hipótese central é que o ábaco de Hershfield (1965), recomendado pela WMO (2009) e fundamentado em dados do hemisfério norte, pode não ser adequado às condições climáticas e geográficas do Brasil, resultando em estimativas imprecisas.

Este fato é corroborado por pesquisas como as de Desa e Rakhecha (2007), Sarkar e Maity (2020), Silva Neto et al. (2020), Burger (2014), Martins (2024) e Barbosa et al.

(2023), que enfocaram a obtenção de fatores de frequência locais, evidenciando diferenças significativas em relação à envoltória proposta por Hershfield (1965). Esses estudos destacam que as particularidades climáticas e geográficas de regiões fora do hemisfério norte podem comprometer o dimensionamento de infraestruturas quando se utiliza uma metodologia generalista. Nesse contexto, este estudo propõe a aplicação da metodologia de Hershfield às condições específicas de Minas Gerais, a partir da classificação climática de Köppen apresentada por Martins et al. (2018).

Adicionalmente, a pesquisa utiliza uma base de dados pluviométricos que inclui registros recentes, com o objetivo de incorporar os possíveis efeitos das mudanças climáticas ocorridas nas últimas décadas sobre as séries de precipitação. A aplicação de séries sintéticas permite ampliar a representação da variabilidade dos eventos extremos e introduz um caráter probabilístico na estimativa da PMP. Essa abordagem apresenta correspondência com a recomendação da National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2024), que propõe a substituição da ideia de um limite superior fixo por uma definição baseada em probabilidades de excedência extremamente baixas. Nesse sentido, este estudo adota a seleção de percentis com probabilidades de excedência de 5% e 1%, alinhando-se conceitualmente à proposta de redefinição da PMP sob uma perspectiva probabilística e dinâmica.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta os objetivos do estudo; o Capítulo 3 traz a revisão bibliográfica; o Capítulo 4 faz a caracterização da área de estudo; o Capítulo 5 descreve a metodologia adotada; o Capítulo 6 apresenta e discute os resultados obtidos; o Capítulo 7 apresenta as conclusões; o Apêndice A lista as estações pluviométricas consideradas; o Apêndice B apresenta o fator K para cada estação com base nos dados históricos; os Apêndices C e D mostram os fatores K selecionados com base nos percentis de 95% e 99%, respectivamente; e, por fim, o Apêndice E traz comparações entre as curvas envoltórias obtidas e a proposta pelo ábaco de Hershfield.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é definir curvas envoltórias para os fatores de frequência (K) da Precipitação Máxima Provável estatística em Minas Gerais de duração diária, por meio de séries de precipitação históricas e sintéticas de precipitação, estabelecendo relações entre os fatores e o contexto climático específico do estado.

2.2 Objetivos Específicos

- Selecionar um tipo de modelo para geração sintética de precipitação em escala temporal diária no estado de Minas Gerais;
- Estimar a partir das séries históricas o fator de frequência K, e avaliar a sua distribuição espacial sobre o estado de Minas Gerais, considerando o contexto climático estadual;
- Utilizar uma abordagem probabilística para obtenção do fator K, com base na geração de séries sintéticas e na escolha de probabilidades de excedência;
- Comparar o ábaco de Hershfield com as envoltórias obtidas utilizando os dados de precipitação observados e de séries sintéticas geradas para o estado de Minas Gerais.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Eventos extremos de precipitação

Eventos extremos de precipitação representam uma ameaça significativa, podendo resultar em danos materiais substanciais e perdas de vidas humanas. Tais eventos, sejam secos ou chuvosos, são caracterizados pela sua raridade dentro de um determinado contexto meteorológico (IPCC, 2023). No entanto, a definição de "raro" varia consideravelmente em termos absolutos dependendo do local e do período do ano. Portanto, não há um valor fixo universal para a definição de eventos extremos, já que essa determinação está intrinsecamente ligada aos comportamentos pluviométricos específicos de cada região.

Na literatura, é comum encontrar estudos que adotam a técnica do percentil de 90% e 99% para identificar eventos extremos. Dereczynski et al. (2009), em uma análise da climatologia da cidade do Rio de Janeiro, estabeleceram o percentil de 99% como limiar para eventos extremos. Similarmente, Silva et al. (2020) também empregaram esse limiar na identificação de eventos extremos em sua pesquisa.

O globo terrestre constitui um imenso sistema termodinâmico, onde a precipitação emerge como uma característica climática fundamental, exibindo uma vasta gama de padrões temporais e espaciais ao redor do mundo. Essa diversidade é resultado da interação complexa de diversos fatores, entre os quais se incluem os padrões sazonais, as mudanças climáticas e as influências geográficas.

Os padrões sazonais representam a ocorrência recorrente de ciclos temporais de precipitação em muitas regiões do planeta, marcados por períodos de maior pluviosidade e estiagens. Esses padrões são moldados por uma variedade de fatores, como a inclinação do eixo da Terra, sua rotação, o deslocamento de massas de ar, além de fenômenos climáticos como El Niño e La Niña (Oliveira, 2014).

Por outro lado, as influências geográficas exercem um papel crucial na variação da precipitação em escala global. A topografia, a proximidade de corpos d'água, a latitude e a altitude são apenas alguns dos elementos que podem influenciar a distribuição da precipitação em uma determinada região. Por exemplo, áreas montanhosas frequentemente dão origem ao fenômeno da precipitação orográfica, enquanto

regiões costeiras podem ser afetadas por sistemas climáticos oceânicos (Chow, 1988).

A determinação da quantidade de chuva é fundamental para entender os padrões climáticos específicos de diferentes regiões. Diversos métodos são empregados para essa finalidade, sendo a medição *in situ* a abordagem mais simples e amplamente utilizada. Pluviômetros e pluviógrafos são os instrumentos fundamentais nesse processo, registrando a precipitação em uma área definida ao longo de um período específico. Esses dispositivos fornecem dados de medição pontuais de precipitação ao nível do solo com alta frequência temporal e são cruciais também para calibração e validação dados obtidos por outras fontes, como satélites e radares meteorológicos (Gilewski e Nawalany, 2018).

Os dados de satélite oferecem uma perspectiva mais abrangente da distribuição da precipitação em escala global (Gilewski e Nawalany, 2018). Os satélites meteorológicos, equipados com sensores de observação remota, podem detectar a presença de nuvens e estimar a intensidade da precipitação em vastas áreas geográficas. Essas informações são particularmente valiosas para monitorar eventos climáticos extremos, como tempestades tropicais e furacões.

Além disso, os radares meteorológicos constituem uma ferramenta crucial para a detecção e monitoramento da precipitação em tempo real. O funcionamento do radar meteorológico baseia-se na reflexão das micro-ondas emitidas pelo transmissor do radar pelas gotículas de água ou partículas presentes nas nuvens e tempestades (Chow, 1988). Por meio da emissão de pulsos de energia eletromagnética, esses sistemas conseguem identificar e acompanhar as gotículas de água na atmosfera, permitindo a medição da intensidade e do movimento das áreas de precipitação.

Os recordes de chuva, tanto em escala mundial quanto no contexto brasileiro, fornecem informações importantes sobre a variabilidade natural e os extremos climáticos. Esses registros costumam estar associados a eventos meteorológicos extraordinários, como tempestades tropicais, sistemas frontais ou condições de monção intensificadas. Koutsoyiannis e Papalexiou (2017), em seu estudo sobre chuvas extremas, compilaram uma tabela abrangendo valores recordes de

precipitação registrados em diferentes escalas de tempo, com base em diversas fontes. A Tabela 3.1 apresenta parte dos dados resultantes dessa análise.

Tabela 3.1 – Recordes mundiais de medições de precipitação pontuais.

| Escala de Tempo | Precipitação (mm) | Localização | Data |
|-----------------|-------------------|----------------------------------|------------|
| 1 min | 38 | Barot, Guadeloupe | 11/26/1970 |
| 5 min | 63 | Porto Bello, Panama | 11/29/1911 |
| 15 min | 198 | Plumb Point, Jamaica | 5/12/1916 |
| 20 min | 206 | Curtea-de-Arges, Romania | 7/07/1889 |
| 30 min | 280 | Sikeshugou, Hebei, China | 7/3/1974 |
| 60 min | 401 | Shangdi, Nei Monggol, China | 7/3/1975 |
| 2 h | 489 | Yujiawanzi, Nei Monggol, China | 7/19/1975 |
| 3 h | 724 | Smethport, Pennsylvania, USA | 7/18/1942 |
| 6 h | 840 | Muduocaidang, Nei Monggol, China | 8/1/1977 |
| 9 h | 1.087 | Belouve, La Réunion | 2/28/1964 |
| 10 h | 1.400 | Muduocaidang, Nei Monggol, China | 8/1/1977 |
| 18 h | 1.589 | Foc-Foc, La Réunion | 1/7/1966 |
| 22 h | 1.780 | Foc-Foc, La Réunion | 1/7/1966 |
| 1 d | 1.870 | Cilaos, La Réunion | 3/15/1952 |
| 3 d | 3.637 | Commerson, La Réunion | 2/24/2007 |
| 5 d | 4.979 | Commerson, La Réunion | 2/24/2007 |
| 7 d | 5.400 | Commerson, La Réunion | 2/24/2007 |
| 10 d | 6.028 | Commerson, La Réunion | 1/18/1980 |
| 15 d | 6.433 | Commerson, La Réunion | 1/14/1980 |
| 1 mês | 9.300 | Cherrapunji, Meghalaya, India | 07/01/1861 |
| 2 meses | 12.767 | Cherrapunji, Meghalaya, India | 07/01/1861 |
| 3 meses | 16.369 | Cherrapunji, Meghalaya, India | 05/01/1861 |
| 4 meses | 18.738 | Cherrapunji, Meghalaya, India | 04/01/1861 |
| 5 meses | 20.412 | Cherrapunji, Meghalaya, India | 04/01/1861 |
| 6 meses | 22.454 | Cherrapunji, Meghalaya, India | 04/01/1861 |
| 1 ano | 26.461 | Cherrapunji, Meghalaya, India | 08/01/1860 |
| 2 anos | 40.768 | Cherrapunji, Meghalaya, India | 01/01/1860 |

Fonte: Adaptado de Koutsoyiannis e Papalexiou (2017)

No contexto brasileiro, igualmente destacam-se diversos eventos extremos de precipitação referenciados pela literatura. A Tabela 3.2 apresenta alguns dos maiores registros realizados no âmbito nacional, para a duração de 24 horas, compilados a partir dos trabalhos de Saldanha et al. (2012) e dados obtidos a partir de dados precipitação disponibilizados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

Tabela 3.2 – Recordes brasileiros de medições de precipitação pontuais.

| Local | Data | Precipitação |
|---------------------|-------------|---------------------|
| Maceió — AL | 28/04/79 | 407,6 |
| Ubatuba — SP | 21/11/69 | 380,0 |
| Aracajú — SE | 24/07/64 | 376,5 |
| Turuçu – RS | 28/01/09 | 300,0 |
| Pelotas - RS | 28/01/09 | 586,0 |
| Bertioga – SP* | 18/02/23 | 715,2 |
| São Sebastião – SP* | 19/02/23 | 918,1 |
| Petrópolis – RJ* | 15/02/22 | 623,4 |
| Guarujá – SP* | 19/02/23 | 557,1 |

*Dados obtidos a partir de registros pluviométricos disponíveis pelo CEMADEN

Com os dados apresentados, tanto em nível mundial quanto nacional, ficam evidentes as diferenças nos padrões climáticos, o que influencia diretamente a definição de eventos extremos. Essas diferenças demonstram a importância de se realizar as análises considerando as características específicas de cada região, uma vez que diversos fatores locais influenciam a formação de eventos extremos em cada área. Dessa forma, é imprescindível adotar uma abordagem regionalizada para a avaliação desses fenômenos.

3.2 Classificação climática

O clima de uma determinada região é fortemente influenciado pelo mecanismo de circulação atmosférica, que age em interação com os aspectos de relevo, latitude, continentalidade ou maritimidade, que por sua vez inclui o efeito das correntes marítimas (Nimer, 1979).

Conforme descrito por Pinheiro (2011), nas regiões tropicais do Brasil, exceto no oeste da Amazônia, ventos de E a NE sopram frequentemente ao longo do ano, originados das altas pressões subtropicais, como o anticiclone semifixo do Atlântico Sul, ou ocasionalmente de núcleos de alta do inferior. Esta massa de ar tropical, associada ao anticiclone do Atlântico, apresenta temperaturas relativamente elevadas, devido à

intensa radiação solar (ondas curtas) e telúrica (ondas longas) das latitudes tropicais, e alta umidade específica, resultante da intensa evaporação marítima. Contudo, devido à constante subsidência superior e à conseqüente inversão de temperatura, sua umidade fica limitada à camada superficial, conferindo-lhe um caráter de homogeneidade e estabilidade. O domínio desse anticiclone mantém o tempo estável, com predominância de sol e pouca nebulosidade, sendo interrompido apenas pela chegada de correntes perturbadas, que causam instabilidades e mudanças abruptas no tempo, frequentemente acompanhadas de chuvas.

De acordo com Nimer (1979), a região Sudeste sofre a influência de três tipos de correntes perturbadas: as correntes de S, representadas pela invasão dos anticiclones polares com ventos de W a SW, que nas latitudes tropicais da região Sudeste do Brasil frequentemente adquirem direção S a SE; as correntes de W, compostas por ventos de W a NW que invadem a região Sudeste entre meados da primavera e meados do outono, trazidos por linhas de instabilidade tropicais (IT); e as correntes de E, constituídas pelas ondas de leste (EW), que se deslocam de E para W e são características dos litorais das regiões tropicais atingidos pelos ventos alísios.

Reboita et al. (2010) realizaram uma revisão bibliográfica abrangente sobre os sistemas atmosféricos influentes no continente sulamericano e seu impacto na precipitação. Os autores dividiram a América do Sul em oito setores (R1 a R8), baseando-se na similaridade do comportamento da precipitação média mensal utilizando dados de 1960 a 1997 de centenas de estações meteorológicas. A região designada como "R5" abrange uma extensa área da América do Sul, estendendo-se desde o Equador e o norte do Peru até o sudeste do Brasil.

Em sua revisão sobre os sistemas atmosféricos atuantes no Brasil, Reboita et al. (2010) subdividiram a região R5 em três setores correspondentes às regiões geográficas do norte, centro-oeste e sudeste do Brasil. Segundo os autores a região sudeste é caracterizada como úmida durante o verão, devido ao sistema de monção da América do Sul, enquanto se torna seca no inverno. Os baixos totais pluviométricos durante o inverno são associados à atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que nesta estação alcança sua posição mais a oeste.

Minas Gerais, situado na região Sudeste do Brasil, abrange uma área de 586.513,983 km², dividida entre 853 municípios (IBGE, 2022), com uma diversidade topográfica marcante, desde planícies próximas ao Rio São Francisco até altas serras nas regiões da Mantiqueira, da Canastra e do Espinhaço. Essa diversidade topográfica exerce influência significativa no clima do estado, afetando a distribuição de chuvas, temperaturas e padrões de vento (Reboita, 2015).

No estado de Minas Gerais, fenômenos meteorológicos provenientes de latitudes médias e tropicais influenciam a ocorrência de precipitação devido à sua localização geográfica (Reboita et al., 2015). A característica climática úmida do interior continental, típica de um clima tropical, também pode ser atribuída a essa posição no Brasil. O clima na região apresenta dois períodos bem definidos: a estação seca, geralmente entre junho e agosto, quando predominam condições tropicais continentais e baixa umidade relativa do ar, e a estação chuvosa, de novembro a março, marcada pela influência da massa de ar continental equatorial, que traz umidade elevada e instabilidade, resultando em índices pluviométricos significativos (Pinheiro, 2011).

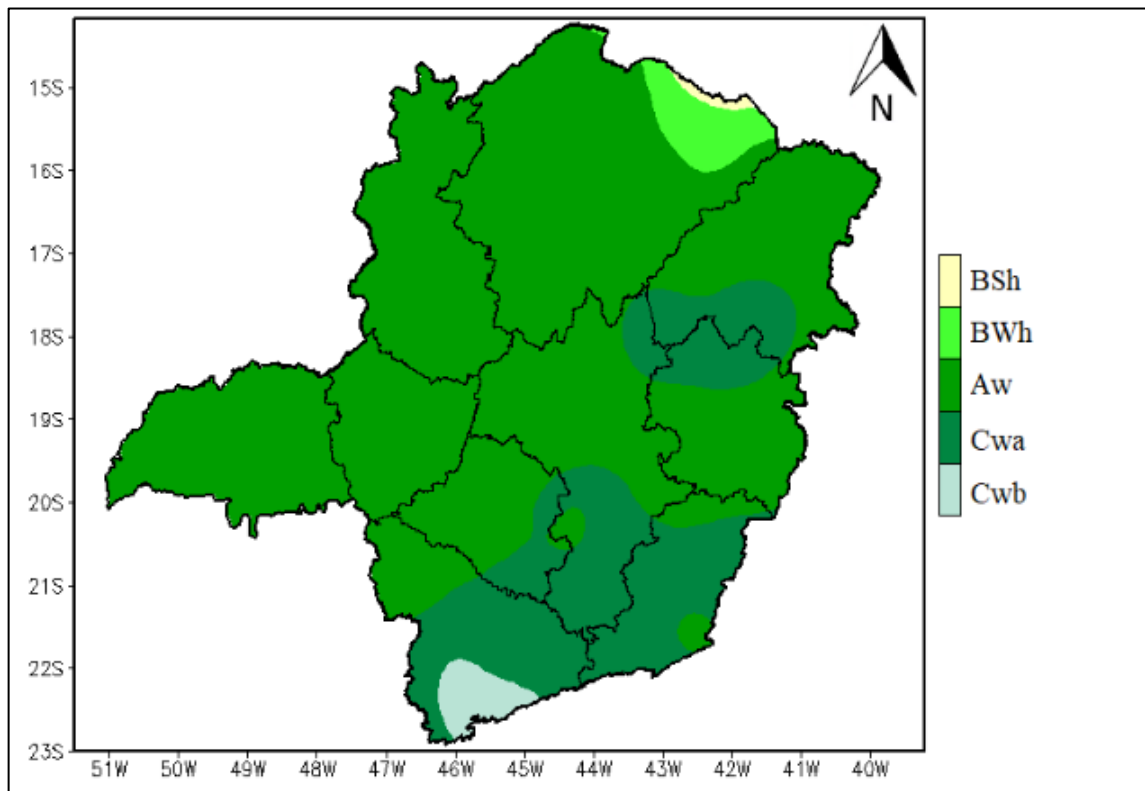
Entre os principais sistemas meteorológicos responsáveis por precipitações intensas na região, destacam-se as tempestades causadas por chuvas convectivas, frentes frias (e as linhas de instabilidade associadas) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul. Durante o período chuvoso em Minas Gerais, episódios de chuva intensa são frequentemente atribuídos à atuação da ZCAS, que se caracteriza por uma faixa persistente de nebulosidade e precipitação. Essa faixa se estende de forma contínua no sentido noroeste-sudeste, partindo da região Amazônica, atravessando o Sudeste do Brasil e alcançando o setor sudoeste do oceano Atlântico (Silva, Escobar e Reboita, 2020; Rosa et al., 2020; Ambrizzi e Ferraz, 2015).

Um dos métodos mais utilizados na literatura para delimitar zonas climáticas é a classificação climática de Köppen-Geiger, baseada em dados médios mensais de temperatura e precipitação. Desenvolvida inicialmente pelo biólogo russo Vladimir Köppen e posteriormente aprimorada pelo climatologista e meteorologista alemão Rudolf Geiger, essa classificação tornou-se amplamente conhecida como Köppen-Geiger (ICAT, 2022). De acordo com Reboita (2015), ao analisar o mapa elaborado

com base na classificação climática de Köppen-Geiger para Minas Gerais, considerando o período de 1998 a 2012, observa-se a predominância do clima Aw, caracterizado como tropical com inverno seco. No entanto, devido à influência de áreas de maior altitude, regiões como o extremo sul do estado e aquelas localizadas entre as coordenadas 18°S e 43°W apresentam climas Cwa e, em menor proporção, Cwb. Ambos os climas possuem inverno seco, mas apresentam temperaturas ligeiramente mais amenas em relação ao clima Aw. Além disso, no clima Cwa, o verão é mais quente em comparação ao Cwb.

Martins et al. (2018) realizaram uma análise da classificação climática de Köppen para Minas Gerais, considerando o período de 1981 a 2010, e identificaram cinco tipos climáticos distintos: dois temperados quentes (Cwb e Cwa), um tropical (Aw) e dois áridos (BSh e BWh). De forma semelhante, Sá Junior (2009), em seus estudos, observou a presença de cinco classes climáticas na região: Am, Aw, BSh, Cwa e Cwb. A seguir, apresenta-se o mapa de classificação climática de Minas Gerais com base no estudo de Martins et al. (2018).

Figura 3.1 - Classificação climática de Köppen para Minas Gerais considerando o clima presente (1981-2010).



Fonte: Martins et al. (2018)

Identifica-se que, em estudos voltados à classificação de regiões climáticas ou qualquer outro tipo de análise baseada em dados registrados, é fundamental realizar a validação dos dados de forma rigorosa. Esse processo visa minimizar ou até excluir erros, garantindo que os resultados obtidos sejam precisos e representativos da realidade, o que é essencial para a confiabilidade e a aplicabilidade das conclusões do estudo.

3.3 Análise da qualidade de dados de precipitação

A análise da qualidade de dados refere-se ao processo de avaliação das informações coletadas para identificar, corrigir ou minimizar inconsistências, erros ou lacunas que possam comprometer a precisão, a confiabilidade e a aplicabilidade dos dados. No campo da hidrologia, essa análise é essencial para assegurar que os dados de precipitação obtidos por diferentes métodos e instrumentos, como pluviômetros, pluviógrafos, pluviômetros automáticos e tecnologias de sensoriamento remoto (satélites e radares meteorológicos), sejam representativos e úteis para estudos e aplicações práticas. Essa abordagem permite validar séries temporais, detectar valores atípicos e garantir que as informações sejam adequadas para análises mais complexas e tomada de decisão.

Branisavljević et al. (2009) destacam que a captura de dados de fenômenos como a chuva é um processo complexo, que inclui etapas como a conversão dos dados em sinais elétricos e sua transferência. Durante esse processo, diversos fatores indesejáveis podem interferir no funcionamento dos equipamentos ou na cadeia de medição, comprometendo a qualidade dos dados. Além disso, Chen et al. (2008) apontam que os erros humanos também desempenham um papel significativo na ocorrência de imprecisões nas medições.

No Brasil, as redes de monitoramento são majoritariamente gerenciadas pela Agência Nacional de Águas, com a maior parte dos dados obtidos por meio de pluviômetros (Teodoro et al., 2020). No entanto, as estações pluviométricas existentes frequentemente apresentam lacunas em séries de dados, especialmente em registros mais longos (Brubacher et al., 2020). Além disso, fatores ambientais desempenham um papel crucial na qualidade dos dados pluviométricos. Ventos fortes, obstáculos

físicos no entorno e condições climáticas adversas podem comprometer a precisão das medições, resultando em dados incompletos ou imprecisos (WMO, 2008).

Neste contexto, a validação de dados é fundamental para avaliar sua qualidade, atribuindo notas que refletem sua confiabilidade (Branisavljević et al., 2009). Diversas técnicas foram desenvolvidas para a verificação desses dados. Feng et al. (2004), por exemplo, aplicaram uma série de procedimentos para identificar e remover informações incorretas. Entre as medidas adotadas, destacam-se o controle de qualidade baseado na análise de limites extremos, consistência interna, identificação de valores discrepantes temporais e espaciais.

Chen et al. (2008) descreveram um protocolo automatizado para o controle de qualidade em tempo real das informações diárias dos medidores do Sistema Global de Telecomunicações, que se trata de um sistema internacional coordenado, responsável pela coleta, troca e distribuição rápida de informações meteorológicas observadas e processadas, operando dentro da estrutura do *World Weather Watch*. O procedimento dos autores envolve a comparação de registros históricos de medição, observações atuais em estações próximas, estimativas de satélite e previsões numéricas.

Einfalt et al. (2008) propuseram um procedimento de controle de qualidade que aborda diferentes aspectos, incluindo a completude das séries, a detecção de valores fisicamente impossíveis, a análise da variabilidade de valores consecutivos (grandes variações suspeitas), a identificação de valores constantes (não plausíveis para intervalos de tempo longos), a avaliação da consistência interna por meio da evolução conjunta de diferentes variáveis meteorológicas no mesmo local e a análise da consistência espacial comparando precipitações medidas em locais próximos.

Llabrés-Brustenga et al. (2019) propuseram um método em três etapas para aprimorar a qualidade dos dados pluviométricos. Na primeira etapa, denominada Controle de Qualidade Básico, o objetivo é identificar falhas nos dados, removendo informações fisicamente impossíveis e detectando precipitações repetidas em sequência. Essas repetições podem ocorrer devido a leituras acumuladas distribuídas uniformemente entre os dias anteriores, o que pode afetar os cálculos da precipitação mensal.

Na segunda etapa, Controle de Qualidade Absoluto, busca-se aprimorar a compreensão da qualidade das séries de dados disponíveis por meio de um índice de qualidade. Esse índice considera várias métricas, como a quantidade de dados diários ao longo do ano (P), penalizando sequências diárias com dados em branco (Q_{gaps}), meses com precipitação igual a zero (Q_{mzero}), anos com leituras em falta em dias específicos da semana (Q_{wzero}) e a quantidade de *outliers* (Q_{outlier}). Esses critérios são definidos e aplicados mensalmente para garantir uma análise contínua e detalhada da qualidade dos dados.

Por fim, a terceira etapa, Controle de Qualidade Relativo, compara os valores diários da estação em análise com os valores das estações auxiliares disponíveis. Isso é feito usando um índice R que avalia a representatividade da estação auxiliar em relação à estação em análise. Esse índice é calculado considerando fatores como a distância entre as estações, a diferença de altitude e a correlação de Pearson dos dados diários.

3.4 Critérios de dimensionamento

Órgãos reguladores são entidades responsáveis por estabelecer e supervisionar normas e regulamentos em diversas áreas, garantindo que as atividades e os projetos atendam aos requisitos de segurança, qualidade e sustentabilidade. No caso das estruturas hidráulicas, como barragens e reservatórios, esses órgãos, atuam para garantir que as normas sejam seguidas, alinhando-se à vontade da sociedade, que busca proteção ambiental e segurança para as populações.

Com o objetivo de estabelecer diretrizes e garantir a segurança das barragens e outras estruturas destinadas ao armazenamento de água para diversos usos, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) publicou, em 2016, o Manual do Empreendedor Volume V - Guia para a Elaboração de Projetos de Barragens. Este manual oferece orientações abrangentes sobre os métodos e procedimentos necessários para os empreendedores. Dentre os itens destacados, está a Tabela 3.3, que auxilia na determinação do Tempo de Recorrência para o trânsito de cheias em reservatórios.

O manual estabelece que a Cheia Máxima Provável (CMP) deve ser calculada por modelos chuva-vazão, utilizando a Precipitação Máxima Provável (PMP), estimada

conforme o “Manual de Estimação da PMP” da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2009).

Tabela 3.3 – Tempos de recorrência mínimos (anos) recomendados para as cheias de projeto.

| Altura, h (m) | Volume, V (hm ³) | Tempo de recorrência (anos) |
|------------------|------------------------------|-----------------------------|
| $h \geq 50$ | $V \geq 50$ | CMP |
| $15 \leq h < 30$ | $03 \leq V \leq 50$ | 1000 |
| $h < 15$ | $V < 03$ | 500 |

Fonte: ANA (2016)

No cenário da mineração brasileira nas últimas décadas, testemunhou-se um notável crescimento dessa atividade, gerando uma demanda considerável por investimentos em infraestrutura, muitos dos quais no campo da Engenharia de Recursos Hídricos (ANA; IBRAM, 2024). Com o aumento da dimensão das estruturas construídas nesses empreendimentos, como barragens, a gestão eficiente das vazões que convergem para os reservatórios se torna crucial para assegurar a segurança durante eventos de chuva crítica. Nesse contexto, as regulamentações que supervisionam essas estruturas evoluíram, procurando impor restrições mais rigorosas em relação às vazões de projeto.

De acordo com os critérios de classificação estabelecidos na Resolução ANM nº 95, de 07 de fevereiro de 2022, os sistemas extravasores das barragens brasileiras sob sua supervisão devem ser projetados para lidar com eventos de chuva associados a diferentes tempos de retorno, conforme detalhado na Tabela 3.4. É fundamental ressaltar que, para estruturas classificadas com DPA Alto, o vertedor deve ser dimensionado para o quantil mais restritivo, seja em relação às chuvas com um período de retorno de 10.000 anos ou à precipitação máxima provável.

Tabela 3.4 – Tempo de retorno mínimo a ser considerado para dimensionamento do sistema extravasor durante o período de operação da barragem.

| Dano potencial | TR de projeto (Período Operacional) |
|----------------|-------------------------------------|
| Baixo | 500 anos |
| Médio | 1000 anos |
| Alto | 10.000 anos ou PMP |

Fonte: ANM (2022)

Diante disso, destaca-se a importância da estimativa precisa da PMP como uma atividade fundamental na engenharia, respaldada pelo fato de que a legislação exige

sua utilização como chuva de projeto no desenvolvimento de empreendimentos. Esse requisito a torna um elemento essencial no dimensionamento de obras de infraestrutura hidráulica, especialmente em estruturas de grande porte e com altos riscos associados à sua falha. Portanto, a correta determinação da PMP é crucial para garantir a segurança dessas estruturas, protegendo tanto a sociedade quanto o meio ambiente contra eventos extremos.

3.5 Precipitação máxima provável (PMP)

A quantificação precisa das chuvas extremas é uma tarefa complexa e envolve não apenas dados observacionais, mas também considerações teóricas sobre a natureza das chuvas e seus padrões.

Koutsoyiannis e Papalexiou (2017) destacam a existência de duas abordagens principais para essa quantificação: a determinística e a probabilística. A abordagem determinística busca estabelecer limites físicos para a precipitação máxima, mesmo diante da resistência dos processos de chuva em se encaixarem em descrições determinísticas. Neste contexto, apesar de sua popularidade e uso contínuo, a PMP é frequentemente criticada por sua falta de fundamentação científica sólida.

Ainda de acordo com os autores, durante a abordagem probabilística, qualquer valor não negativo, incluindo qualquer PMP estimada, tem uma certa probabilidade de excedência. Essa abordagem é logicamente consistente, puramente probabilística e baseia-se em observações locais de precipitação, enquanto conceitos teóricos, como o princípio da entropia máxima, auxiliam na formulação da distribuição de probabilidade. Um argumento típico contra o uso de abordagens probabilísticas, em favor da PMP, foi apresentado por Horton (1931, apud Klemeš, 2000), o qual diz que é importante reconhecer a natureza dos processos físicos envolvidos e suas limitações em relação ao uso de métodos estatísticos. O autor ainda usa como exemplo que Rock Creek não pode produzir uma inundação do Rio Mississippi assim como uma ave de quintal não pode botar um ovo de avestruz.

De acordo com a definição da Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2009), a PMP é a precipitação máxima provável teórica para uma determinada duração, levando em consideração as condições meteorológicas atuais, sendo fundamento

para o cálculo da cheia máxima provável. De maneira similar ao apresentado, a WMO indica que a determinação da PMP envolve duas abordagens: os modelos hidrometeorológicos, que se baseiam na maximização dos processos de saturação da massa de ar causadora das chuvas, e os modelos estatísticos, onde a PMP é calculada com base na maximização do fator de frequência, conhecido como K.

O relatório *Modernizing Probable Maximum Precipitation Estimation*, publicado pela National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2024), enfatiza a necessidade de modernizar as metodologias para estimar a Precipitação Máxima Provável. O documento argumenta que os métodos tradicionais, baseados em dados históricos e limites teóricos fixos, são inadequados frente aos avanços tecnológicos e à crescente variabilidade climática causada pelas mudanças globais. Como alternativa, o documento propõe um novo conceito de PMP, fundamentado em alturas de precipitação associadas a probabilidades extremamente baixas de ocorrência. Essa abordagem substitui a ideia de um limite físico fixo por um modelo probabilístico, mais adaptável às mudanças climáticas.

Entre os avanços propostos, destaca-se o uso de tecnologias modernas, como satélites, radares meteorológicos e medições terrestres, além da aplicação de modelos de reconstrução de tempestades. Essas reconstruções simulam eventos extremos com base em condições meteorológicas históricas e atuais, oferecendo maior precisão na estimativa de PMP. O documento também sugere a adoção de modelos climáticos de alta resolução, capazes de simular tempestades de magnitude comparável à PMP em escalas quilométricas. Esses modelos supostamente não apenas aumentam a precisão das estimativas, mas também incorporam projeções climáticas, permitindo que as análises sejam ajustadas para cenários futuros e especificidades regionais.

Outra recomendação crucial é a criação de um Projeto de Avaliação de Modelos, que validará a base científica das novas abordagens e definirá o momento apropriado para a transição às metodologias modernizadas. O relatório destaca ainda a importância de fortalecer a infraestrutura de dados e promover a coordenação entre agências, garantindo a consistência e aceitação ampla das novas práticas. A flexibilidade das abordagens propostas, com a consideração de períodos climáticos específicos e

possibilidade de adaptações ao longo do tempo é apontada como essencial para lidar com eventos climáticos extremos.

Portanto, os benefícios dessa modernização são evidentes. A substituição de metodologias ultrapassadas por ferramentas atualizadas permitirá projetar infraestruturas com maior assertividade. Além disso, a abordagem probabilística evitará superestimações ou subestimações de risco. Assim, o relatório apresenta uma estratégia abrangente para aprimorar as estimativas de PMP, alinhando-se às demandas tecnológicas e climáticas do presente e do futuro.

3.5.1 Método hidrometeorológico

A abordagem hidrometeorológica para estimativa da PMP utiliza registros de temperaturas de ponto de orvalho observadas para estabelecer um limite superior, identificado como o valor máximo observado em uma escala de tempo específica. Esse limite é então empregado na chamada maximização de uma amostra de tempestades observadas, onde o maior valor é designado como PMP.

Este método é aplicável quando há um número significativo de eventos hidrometeorológicos de grande magnitude observados na bacia do projeto. A base de cálculo envolve a seleção das chuvas mais intensas registradas na região, a obtenção da umidade representativa e máxima provável para cada evento selecionado, e o cálculo dos fatores de maximização da umidade, seguidos pela estimativa das chuvas maximizadas (Tucci, 2009).

A abordagem hidrometeorológica se baseia na fórmula geral (Koutsoyiannis e Papalexiou, 2017)

$$h_m = \frac{W_m}{W} h. \quad (1)$$

Em que:

- W_m refere-se à água precipitável maximizada;
- W é a água precipitável na atmosfera durante o dia de chuva, estimada pelo ponto de orvalho correspondente;
- h refere-se à precipitação observada; e

- h_m refere-se à precipitação maximizada.

No entanto, esse método apresenta limitações significativas, uma vez que depende de dados climatológicos detalhados para medição, restringindo sua aplicabilidade, especialmente em áreas remotas onde esses dados podem não estar disponíveis. Além disso, a abordagem suscita questionamentos substanciais devido à sua dependência exclusiva de um valor observado, em detrimento da análise de toda a amostra. Essa fragilidade estatística torna o método altamente sensível a observações específicas, comprometendo sua robustez (Papalexiou e Koutsoyiannis, 2006; Koutsoyiannis, 2007).

3.5.2 Método estatístico

O método estatístico para determinação da PMP tem sua fundamentação nos estudos de Hershfield (1961a, 1961b, 1965) e sua implementação requer a média e o desvio padrão de um registro de máximos anuais de precipitação. Procedimentos estatísticos para a estimativa da PMP podem ser empregados sempre que houver dados de precipitação suficientemente extensos e representativos, destacando-se pela utilização quando a ausência de outros dados meteorológicos, como registros de ponto de orvalho. Esse método também é considerado mais prático em comparação com a abordagem hidrometeorológica, pois demanda significativamente menos tempo para sua aplicação (WMO, 2009).

O método estatístico desenvolvido por Hershfield baseia-se na equação geral de frequência (2), apresentada por Chow (1951), em que X_t corresponde à chuva para um tempo de recorrência T; e \bar{X}_n e S_n são, respectivamente, a média e o desvio padrão da série de n máximas anuais, enquanto K é o fator de frequência.

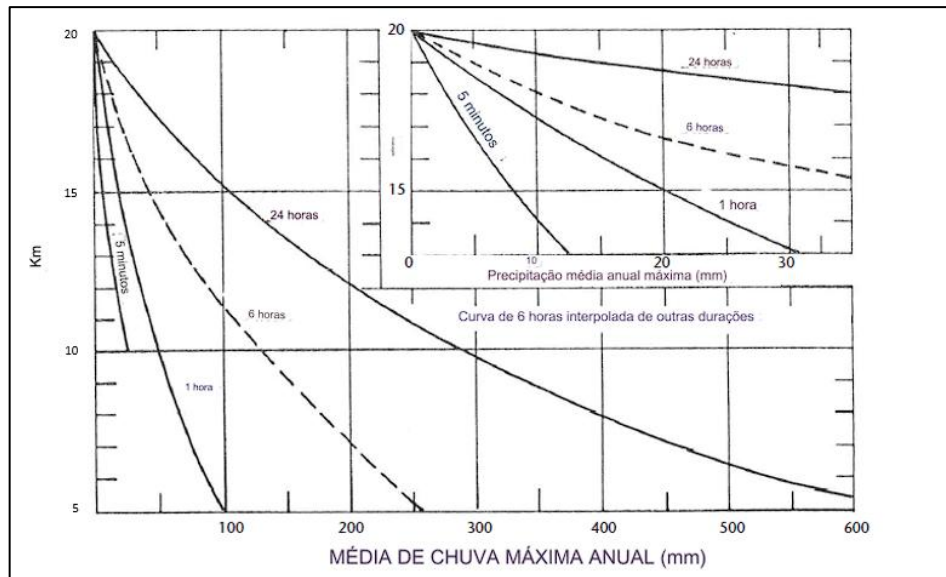
$$X_T = \bar{X}_n + K S_n. \quad (2)$$

Em sua pesquisa inicial conduzida em 1961, Hershfield analisou um conjunto de dados composto por 95.000 anos de observações de precipitação máxima anual, provenientes de 2.645 estações, das quais aproximadamente 90% estavam localizadas nos Estados Unidos. Nessa análise, o autor determinou que o valor

máximo observado para o coeficiente K foi de 15, propondo, assim, a adoção desse valor como fator frequência maximizado (Km) para estimativa da PMP.

Entretanto, em investigações posteriores, em 1965, Hershfield concluiu que o valor de $K_m = 15$ revelou-se excessivamente alto para regiões com elevada pluviosidade e inadequado para áreas áridas. Além disso, observou-se que esse valor era muito alto para durações de chuva inferiores a 24 horas. Em resposta a essas observações, Hershfield refinou suas conclusões, propondo uma envoltória empírica que indicava que o coeficiente K_m variava entre 5 e 20, dependendo tanto da escala de tempo d , quanto da média de precipitações máximas anuais (Figura 3.2).

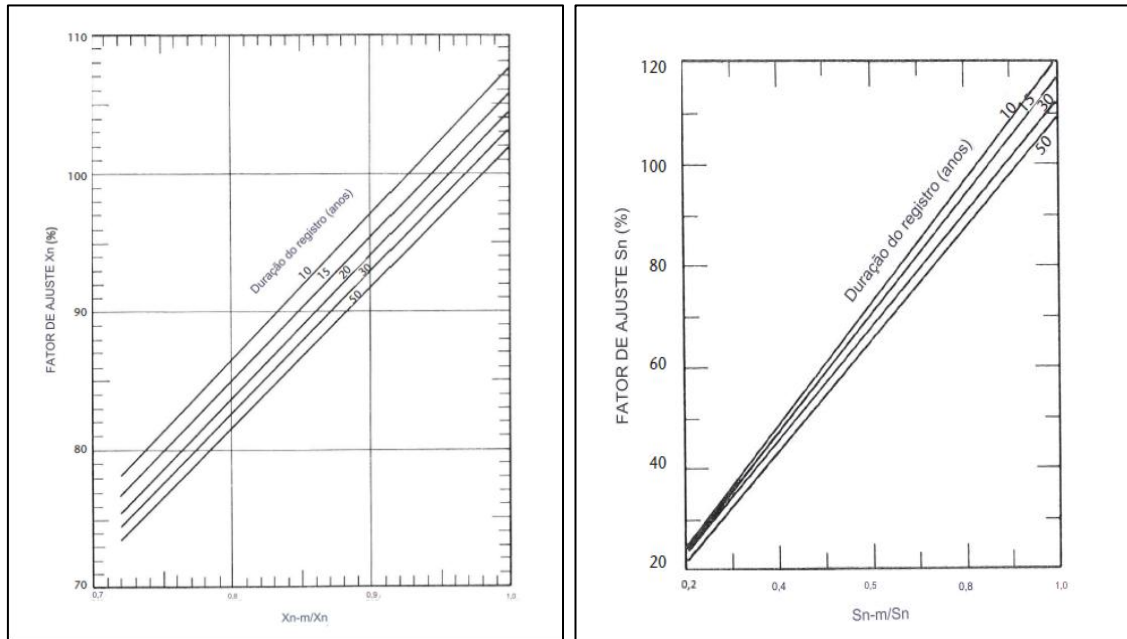
Figura 3.2 – Fator K em função da média de precipitações máximas anuais.



Fonte: Adaptado de Hershfield (1965)

O estudo de Hershfield, em 1961, também abordou a influência de valores atípicos em séries de dados, propondo o uso de ábacos para ajuste da média e desvio padrão. Para obtenção dos coeficientes de ajuste, considera-se a razão entre a série de dados excluindo o valor máximo e a série completa, que inclui o maior valor da amostra (Figura 3.3).

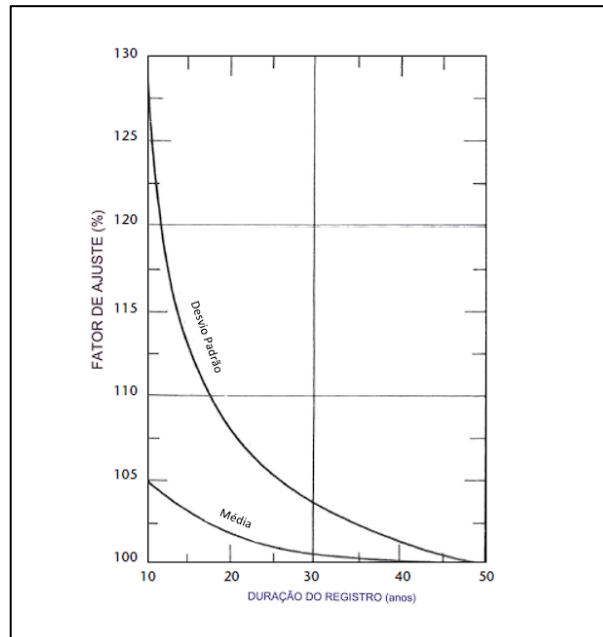
Figura 3.3 – (a) Ajuste da média e (b) desvio padrão da série anual para a precipitação máxima observada



Fonte: Adaptado de Hershfield (1961b)

À medida que o comprimento do registro aumenta, observa-se que tanto a média \bar{X}_n quanto o desvio padrão S_n da série anual apresentam uma tendência de crescimento. Desta forma, o método de Hershfield também sugere um ajuste nas estatísticas da amostra com base no número de anos do registro (Figura 3.4), fornecendo uma abordagem mais refinada para compreender as variações estatísticas ao longo do tempo (WMO, 2009).

Figura 3.4 – Ajuste da média e desvio padrão da série anual para o comprimento do registro



Fonte: Adaptado de Hershfield (1961b)

É importante notar que o método desenvolvido por Hershfield foi amplamente baseado em dados de chuva dos Estados Unidos, que se situam predominantemente em uma zona de clima temperado, expostos a dois oceanos e sujeitos a padrões de precipitação influenciados por fenômenos como furacões e sistemas frontais. Em contraste, o Brasil possui um clima majoritariamente tropical, com precipitações influenciadas pela Zona de Convergência Intertropical, Zona de Convergência do Atlântico Sul e por características orográficas específicas.

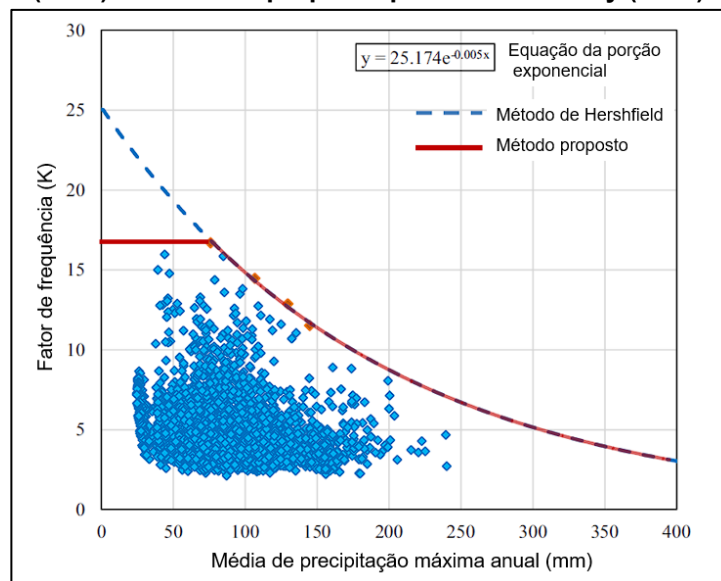
No estudo de Koutsoyiannis e Papalexiou (2017), que analisou dados da Rede Global de Climatologia Histórica, foram reveladas diferenças significativas nos valores recordes de precipitação entre diferentes zonas climáticas (Tabela 3.1). A pesquisa também apontou que o valor de Km pode ser superior aos valores tradicionalmente reportados por Hershfield. Ressaltando a necessidade de ajustar os modelos hidrológicos para refletir as particularidades climáticas de cada região. Nesse contexto, diversos estudos têm se concentrado na identificação de fatores de frequência locais, muitos dos quais propõem envoltórias regionais específicas para determinar o limite superior dos dados, baseando-se nos valores máximos.

Desa e Rakhecha (2007) investigaram as diferenças entre a envoltória tradicional de Hershfield e os dados de chuva observados no estado de Johor, na Malásia. Utilizando

dados de 39 estações pluviométricas a partir de 1948, os autores observaram que a maioria dos valores de K foi inferior a 6,0, com apenas três valores situados na faixa entre 6,0 e 7,5, sendo este último o mais alto. Portanto em seu estudo, os autores identificaram o valor máximo de K para a duração de 1 dia igual 7,5.

Sarkar e Maity (2020) propuseram uma nova abordagem para a construção de envoltórias de fatores de frequência, substituindo a metodologia clássica de Hershfield por um modelo que combina um patamar linear constante com uma curva de decaimento exponencial, como apresentado na Figura 3.5. Em seu trabalho, os autores utilizaram 110 anos de dados diários observados de 4951 pontos de grade com resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, fornecidos pelo Departamento de Meteorologia da Índia (IMD), obtendo na ocasião um fator de frequência local máximo de 16,7.

Figura 3.5 – Curva de envoltória superior para o Fator de Frequência de acordo com Hershfield (1965) e o método proposto por Sarkar e Maity (2020)



Fonte: Adaptado de Sarkar e Maity (2020)

No contexto nacional, destacam-se os trabalhos de Silva Neto et al. (2020), que analisaram dados de 10 estações no Tocantins, referentes ao período de 1989 a 1999, e encontraram um fator de frequência local máximo de 4,81. Já Barbosa et al. (2023) realizaram um estudo de abrangência nacional, utilizando dados de 270 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e obtiveram um fator de frequência local máximo de aproximadamente 9.

Burger (2014) estudou 50 estações convencionais e 37 pluviógrafos no estado do Paraná, desenvolvendo envoltórias regionais para o estado. O trabalho também incluiu simulações sintéticas do fator K, utilizando um modelo autorregressivo multivariado de primeira ordem AR(1), ajustado a uma distribuição lognormal com três parâmetros. Além disso, foi apresentada uma equação de regressão baseada no Ábaco Original de Hershfield. De maneira geral, a autora constatou que o fator K sintético diminui com o aumento da duração da chuva. Para os dados históricos, o valor máximo de K foi de 7,38 em estações automáticas com duração de 24 horas e de 10,17 em estações convencionais com duração de 1 dia.

Sugai (1989) avaliou o tempo de recorrência associado à Precipitação Máxima Provável para durações de 1 e 2 dias no Sul do Brasil. O estudo também buscou determinar o valor do fator K mais adequado para a região, avaliando um total de 130 postos pluviométricos. A partir dos dados, foi definida uma envoltória superior constante, na qual o fator de frequência foi determinado como igual a 9.

Martins (2024) estimou o fator K para o cálculo da PMP em Barcarena/PA, utilizando séries de precipitações máximas anuais simuladas pelo Método de Monte Carlo (MMC) para durações iguais ou superiores a 24 horas. O estudo analisou 52 estações pluviométricas, das quais 42 foram aptas para as simulações sintéticas, realizadas com 5.000 variáveis aleatórias geradas a partir de distribuições de extremos. A metodologia baseou-se na envoltória regionalizada, similar a apresentada por Sarkar e Maity (2020), e apontou um valor de Km de 8,42 para 24 horas na estação VILA DO CONDE (00148011). Já as simulações sintéticas, considerando percentis de 99% e 95%, resultaram em valores de Km iguais a 6,92 e 5,33, respectivamente. De maneira geral, observou-se que os fatores de frequência das envoltórias regionais diminuem conforme aumenta a duração da precipitação, variando entre 24 horas e 30 dias.

3.6 Geração de séries sintéticas

A geração de séries sintéticas é uma técnica utilizada para modelar processos ou fenômenos que possuem elementos de aleatoriedade ou incerteza, diferindo dos eventos determinísticos, que são previsíveis. Essa abordagem permite analisar a evolução temporal dos sistemas e simular futuras ocorrências.

No contexto da teoria das probabilidades, essa técnica surge como uma ferramenta matemática para modelar e analisar sistemas dinâmicos que evoluem de forma aleatória. Nessas situações, as variáveis envolvidas não são determinísticas, ou seja, seus comportamentos futuros não podem ser previstos com total certeza. Em vez disso, as mudanças ao longo do tempo são descritas em termos de probabilidades, refletindo a natureza incerta e probabilística dos eventos estocásticos (Aguilar, 2019).

Essa abordagem é crucial em diversas áreas, incluindo finanças, meteorologia, física, engenharia e muitos outros campos, nos quais a aleatoriedade e a incerteza desempenham papéis significativos. A análise de processos estocásticos envolve compreender como a trajetória de um sistema se desenvolve, com a finalidade de realizar previsões sobre as realizações futuras desse sistema (Gontijo, 2007). Neste contexto, o uso da estocástica para previsão de variáveis hidrológicas revela-se de suma importância, permitindo vislumbrar diversas situações que extrapolam o comportamento da série puramente histórica. Essa amplitude na consideração de cenários promove uma maior robustez ao estudo, permitindo, de certa forma, a incorporação de incertezas inerentes aos fenômenos hidrológicos.

Na geração de séries sintéticas dentro da hidrologia, vários modelos são utilizados para descrever a evolução temporal das variáveis hidrológicas, incluindo processos puramente aleatórios, também denominados ruído branco. Nestes, as variáveis aleatórias formam uma sequência de variáveis mutuamente independentes e identicamente distribuídas.

Box e Jenkins (1970) descrevem os processos de média móvel (MA) e autorregressivos (AR) como ferramentas essenciais na modelagem de processos estacionários lineares. Os modelos MA são caracterizados pelo fato de que as realizações do processo estocástico dependem apenas dos termos aleatórios dos períodos anteriores, ponderados por um coeficiente. Em contraste, os processos AR baseiam-se na ideia de que a realização do processo no instante t é uma função dos valores observados nos instantes anteriores.

A combinação dos modelos AR e MA resulta no modelo ARMA, incorporando características de ambos. Dado que esses modelos são inicialmente concebidos para aplicação em séries temporais estacionárias, a consideração de modelos não

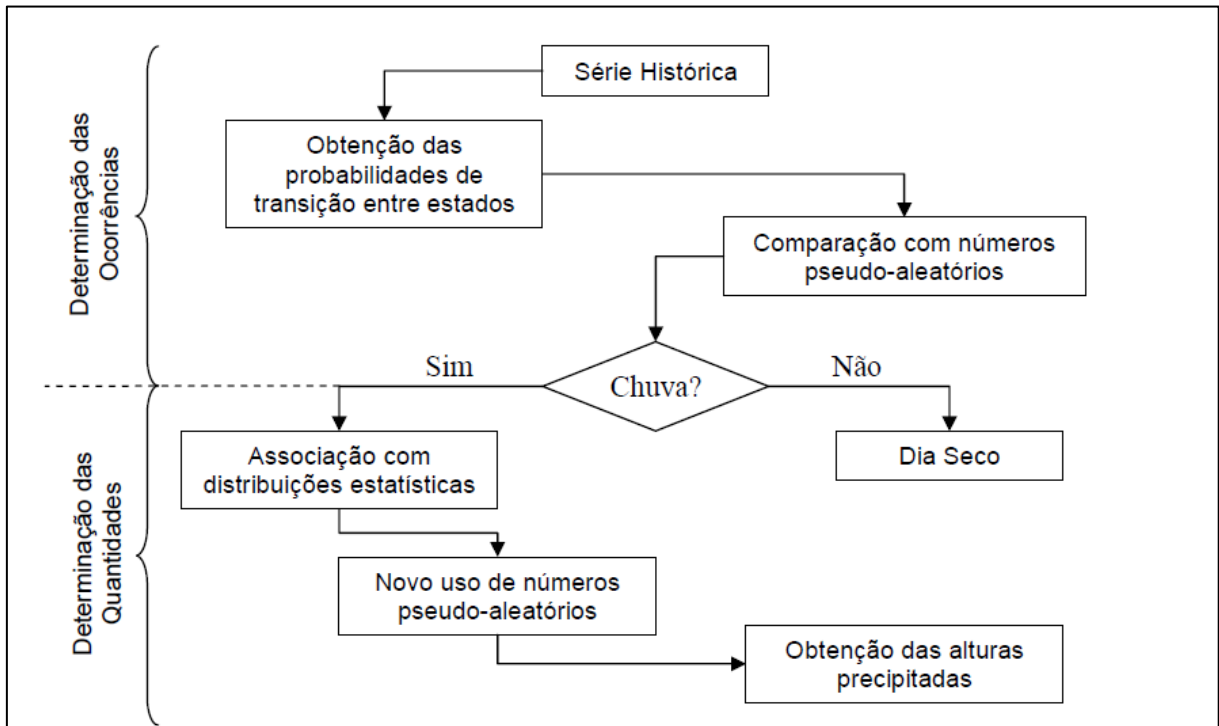
estacionários ao processo leva à definição do modelo de média móvel integrado autorregressivo (ARIMA), uma extensão que incorpora um componente de diferenciação para tornar a série temporal estacionária. Essa abordagem foi popularizada no trabalho de Box e Jenkins (1970).

Outra abordagem amplamente utilizada na literatura consiste no emprego de geradores de series diárias, no contexto deste trabalho, aplicados especificamente à geração de séries de precipitação. Esses modelos visam replicar as propriedades estatísticas dos registros observados, incluindo características como a média, a variância, o número de dias secos e chuvosos, e o comportamento em condições extremas, como detalham Wilks e Wilby (1999). Na literatura, os modelos de precipitação diários são categorizados de várias formas, portanto, para este estudo, adotou-se a classificação sugerida por Costa (2015) e Aguilar (2019), que dividem os modelos em bipartidos, não paramétricos, baseados em matriz de probabilidade de transição e híbridos.

3.6.1 Modelos bipartidos

Os modelos bipartidos compreendem duas etapas de simulação distintas. Na primeira etapa, ocorre a modelagem da ocorrência de dias chuvosos, em que o modelo adotado é bifásico, classificando os dias em dois estados: chuvosos e não chuvosos. Na segunda parte do modelo, o foco está na estimativa da quantidade de chuva nos dias considerados chuvosos, para tanto utiliza-se determinada distribuição de probabilidade que descreva adequadamente os valores de chuva. A Figura 3.6 ilustra a estrutura genérica de um modelo paramétrico bipartido, conforme apresentado por Detzel (2009).

Figura 3.6 - Estrutura genérica de um modelo paramétrico bipartido.



Fonte: Detzel (2009)

Na modelagem da primeira etapa, que determina a ocorrência de precipitação, a literatura destaca duas abordagens principais: os processos de alternância com renovação e as cadeias de Markov com dois estados.

Ross (2007) descreve os processos de alternância com renovação como sistemas de dois estados ao longo do tempo, que são independentes e sucessivos. Nessa técnica, a incidência de chuvas é modelada alternando entre intervalos de estados, os quais são caracterizados por distribuições de probabilidade. Ao invés de simular as ocorrências do estado de forma diária, esses processos ajustam distribuições de probabilidade que representam a frequência relativa de períodos de chuva e seca (Wilby et al., 1998; Wilks, 1999; Wilks e Wilby, 1999).

Portanto, nos modelos de alternância com renovação aplicados à precipitação, os dois estados sequenciais representam os estados chuvoso e seco. Srikanthan e McMahon (2000) observam que ao modelar a ocorrência de precipitação usando processos de renovação, é comum adotar diferentes distribuições para os períodos chuvosos e secos. Além disso, é comum empregar distribuições de probabilidade paramétricas, como Geométrica, Binomial Negativa e Geométrica Mista, na modelagem de processos de alternância com renovação (Wilks, 1999).

Outra técnica relevante são as cadeias de Markov, nas quais a modelagem se fundamenta nas probabilidades de transição entre os estados de precipitação em dias consecutivos. Este processo é representado por uma matriz de transição que descreve as probabilidades de transição entre os estados específicos, juntamente com um estado inicial no espaço de estados.

Gabriel e Neumann (1962) são frequentemente reconhecidos por introduzirem o primeiro modelo estatístico para prever a ocorrência diária de chuvas. Em seu estudo seminal com dados de precipitação em Tel Aviv, Israel, os autores propuseram a aplicação de uma cadeia de Markov de primeira ordem para prever a ocorrência de precipitação, partindo do pressuposto de que a probabilidade de chuva em qualquer dia é determinada unicamente pelo estado de umidade do dia anterior, isto é, se estava úmido ou seco.

A dependência de Markov de primeira ordem é frequentemente empregada para representar a ocorrência diária de precipitação (Wilks, 1998). No entanto, o uso de Cadeias de Markov de níveis superiores é benéfico para capturar características mais refinadas de variabilidade, embora isso demande a estimativa de muitos parâmetros (Wilks e Wilby, 1999).

As Cadeias de Markov podem ser estratificadas em diferentes níveis, associando cada um deles ao número de dias consecutivos para o cálculo das probabilidades de transição. Segundo Wilks e Wilby (1999), em contextos climáticos singulares, marcados por períodos prolongados de seca ou chuvas extremas, as cadeias de Markov de primeira ordem conseguem replicar satisfatoriamente a média de dias chuvosos, porém falham em reproduzir toda a gama de intervalos de dias secos e chuvosos observados. Diante disso, opta-se por cadeias de ordem superior. No entanto, essa abordagem, conforme apontam os autores, enfrenta desafios significativos de modelagem, decorrentes do aumento no número de parâmetros a serem estimados à medida que a ordem da cadeia cresce. Além disso, Gregory et al. (1993) destacam que a estimação paramétrica para cadeias de ordem superior é pouco confiável, especialmente em amostras de tamanho reduzido.

Em termos gerais, o modelo de primeira ordem pode ser caracterizado por meio de duas probabilidades condicionais: a transição do estado não chuvoso para o chuvoso,

denominada p_{01} e a condição de não transição, ou seja, a ocorrência de dias chuvosos consecutivos, representada por p_{11} . Além disso, existem as condições complementares para cada um dos estados, onde p_{00} representa a probabilidade de não haver mudança de estado durante um dia não chuvoso, e p_{10} denota a alternância de um dia chuvoso para um dia não chuvoso. As condições complementares são dadas por (Wilks e Wilby, 1999)

$$p_{00} = 1 - p_{01}, \quad (3)$$

$$p_{10} = 1 - p_{11}. \quad (4)$$

Na sequência, elaborase a matriz de transição da Cadeia de Markov

$$\mathbf{P} = p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Outras importantes propriedades da série de ocorrência podem ser derivadas das duas probabilidades de transição, probabilidade de dias com “chuva” (π) e a autocorrelação de primeira ordem da ocorrência de precipitação, denominado parâmetro de persistência (d), dados por (Wilks e Wilby, 1999)

$$\pi = \frac{p_{01}}{1-d}, \quad (6)$$

$$d = p_{11} - p_{01}. \quad (7)$$

Na sequência, a abordagem estocástica empregando cadeias de Markov de dois estados é executada através da comparação de números pseudoaleatórios com a probabilidade crítica, sendo

$$Pc = \begin{cases} X_{t-1} = 0 \rightarrow Pc = p_{01} \\ X_{t-1} = 1 \rightarrow Pc = p_{11} \end{cases}, \quad (8)$$

$$X_t = \begin{cases} 1, & \text{se } u_t \leq Pc \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}. \quad (9)$$

Na segunda fase dos modelos bipartidos, que envolve a estimativa da quantidade de precipitação, geralmente é adotada uma abordagem paramétrica. Nessa etapa do

modelo, são empregados números pseudoaleatórios para gerar uma variável aleatória de acordo com uma distribuição teórica de probabilidades selecionada, com o intuito de representar a quantidade de precipitação em cada intervalo de tempo da série sintética.

Após revisar diversos modelos discutidos na literatura, Chen e Brissette (2014) afirmam que as distribuições mais utilizadas são a Exponencial, a Gama e a Lognormal. Detzel (2009) observa que as distribuições de probabilidades frequentemente aplicadas incluem a Gama, a Exponencial e a Exponencial Mista.

3.6.1.1 Distribuição Gama

A distribuição gama é reconhecida como uma das distribuições contínuas mais versáteis e amplamente empregadas em modelagem probabilística. Originária no âmbito da teoria das probabilidades e estatística, essa distribuição desempenha um papel crucial em diversas áreas, incluindo a engenharia de recursos hídricos. Conforme destacado por Wilks e Wilby (1999), na literatura científica existem diversos modelos elaborados para a distribuição das quantidades diárias de precipitação, levando em consideração a presença de dias chuvosos. Entre essas abordagens, a distribuição gama tem se destacado como a escolha predominante devido à sua flexibilidade e capacidade de representar uma ampla gama de situações.

Conforme exposto por Naghettini e Pinto (2007), a função densidade da distribuição gama pode ser expressa da seguinte forma:

$$f_x(x) = \frac{\left(\frac{x}{\theta}\right)^{\eta-1} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)}{\theta \Gamma(\eta)} \text{ para } x, \theta \text{ e } \eta > 0. \quad (10)$$

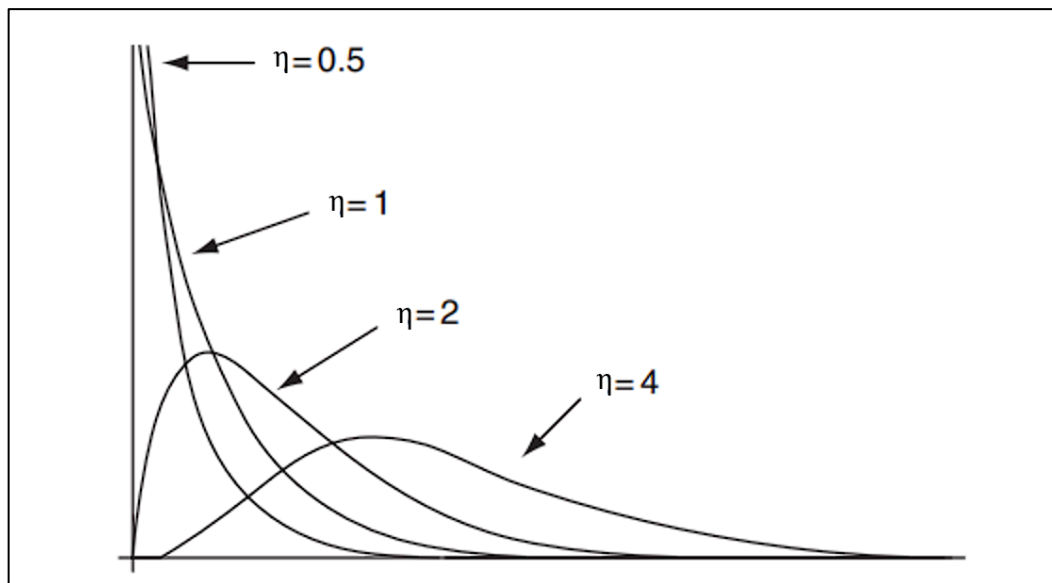
Em que:

- x é uma variável aleatória;
- θ representa o parâmetro de escala;
- η representa o parâmetro de forma; e
- Γ é a função gama, definida por:

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{z-1} dx, \quad z > 0. \quad (11)$$

A função densidade de probabilidade da distribuição gama, conforme discutido por Wilks (2006), apresenta diferentes formas, cuja variabilidade é determinada pelo valor do parâmetro de forma. Por outro lado, o parâmetro de escala desempenha o papel de esticar ou comprimir a função de densidade gama para a direita ou esquerda, dependendo das magnitudes dos valores de dados em questão. Essa flexibilidade na forma da distribuição gama a torna uma escolha atraente para modelar dados de precipitação, sendo amplamente empregada para essa finalidade. Na Figura 3.7, é possível observar as funções de densidade de distribuição gama para quatro valores do parâmetro de forma.

Figura 3.7 - Funções de densidade da distribuição gama para quatro valores do parâmetro de forma.



Fonte: Adaptado de Wilks (2006)

A função de probabilidades acumuladas da distribuição Gama é expressa por (Naghattini e Pinto, 2007)

$$F_x(x) = \int_0^y \frac{\left(\frac{x}{\theta}\right)^{\eta-1} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)}{\theta \Gamma(\eta)} dy. \quad (12)$$

Nota-se que a função acumulada de probabilidades da distribuição gama não pode ser expressa em termos de funções elementares e, portanto, não pode ser integrada

analiticamente. Conseqüentemente, para calcular probabilidades específicas associadas à distribuição gama, normalmente são utilizadas aproximações numéricas ou tabelas encontradas em livros de estatística. Uma das aproximações comuns para lidar com essa distribuição envolve a normalização da variável gama pelo parâmetro de escala. Isso pode facilitar o cálculo de probabilidades e simplificar a análise, especialmente para valores elevados do parâmetro de forma. Essa técnica é útil para simplificar os cálculos quando a distribuição gama é usada em práticas estatísticas.

No contexto da análise das quantidades de precipitação, Detzel (2009) revisou várias pesquisas relevantes nessa área dentre as quais observa-se os estudos de Katz (1977) que propôs um modelo probabilístico para estimar as quantidades de precipitação em dias consecutivos de chuva, utilizando uma distribuição gama para calcular o máximo acumulado diário de chuva. Embora o autor tenha obtido uma boa aproximação ao aplicar essa distribuição em uma amostra de 20 dias, os resultados para a estimativa do total de precipitação não foram satisfatórios, devido ao tamanho limitado da amostra utilizada. Por outro lado, Liao et al. (2004) aplicaram um modelo de geração de precipitações diárias baseado na distribuição gama a 672 estações pluviométricas na China, e embora tenham tido sucesso geral com esse modelo, não conseguiram representar adequadamente episódios extremos, como as chuvas máximas mensais.

Por sua vez, Krüger, Kaviski e Müller (1998) ajustaram distribuições gama às séries históricas de dias chuvosos no Estado do Paraná, com o objetivo de identificar tendências na precipitação diária. É importante notar que, neste estudo, o foco não estava na eficácia da distribuição gama em representar as precipitações, mas sim em analisar as frequências de dias secos e úmidos ao longo dos anos. A escolha da distribuição gama foi baseada no sucesso de estudos anteriores.

3.6.1.2 Distribuição Exponencial

Na criação de modelos que replicam fenômenos naturais, é crucial realizar simplificações para tornar a matemática mais acessível e viável. Um recurso comum utilizado por pesquisadores é a adoção da distribuição exponencial para as variáveis aleatórias envolvidas. Essa escolha é motivada pela facilidade de manipulação

matemática que essa distribuição oferece, além de proporcionar boas aproximações da distribuição real em questão (Detzel, 2009).

A distribuição exponencial compreende um dos modelos mais simples para quantidades diárias de precipitação, pois requer a especificação de apenas um parâmetro, mas reproduz qualitativamente, a forte assimetria positiva exibida pelos dados diários de precipitação (Wilks e Wilby, 1999). Conforme afirmado por Wilks (2006), a distribuição exponencial trata-se de um caso especial da função gama, em que o parâmetro de forma é igual a 1 e a função intercepta o eixo vertical no inverso do parâmetro de escala.

Conforme exposto por Naghettini e Pinto (2007), a função densidade da distribuição exponencial e a função acumulada de probabilidades podem ser expressas da seguinte forma

$$f_x(x) = \frac{1}{\theta} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right) \text{ ou } f_x(x) = \lambda \exp(-\lambda x), \text{ para } x \geq 0 \text{ e } \theta \geq 0, \quad (13)$$

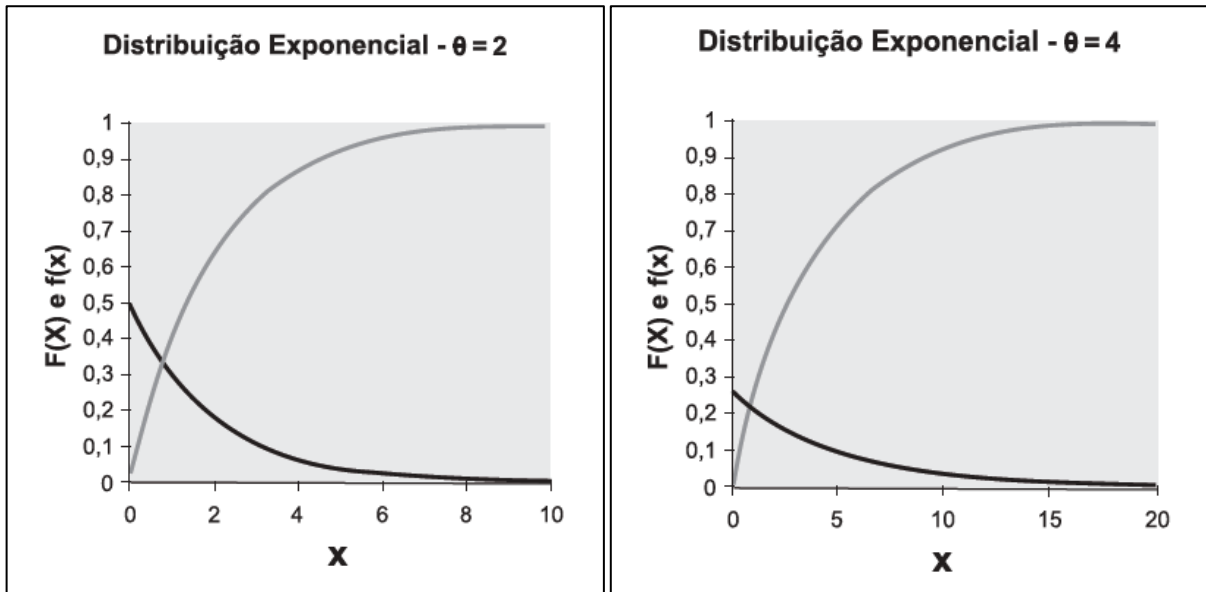
$$F_x(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right) \text{ ou } F_x(x) = 1 - \exp(-\lambda x). \quad (14)$$

Em que:

- x é uma variável aleatória,
- θ representa o parâmetro de escala, e
- $\lambda = \frac{1}{\theta}$

A Figura 3.8 ilustra a função densidade de probabilidade e a função acumulada de probabilidade dessa distribuição.

Figura 3.8 - Função densidade de probabilidades e função acumulada de probabilidades – Exponencial.



Fonte: Naghettini e Pinto (2007)

No contexto da análise das quantidades de precipitação, Todorovic e Woolhiser (1975) destacaram-se como pioneiros na criação de um modelo diário para geração de precipitação estocástica. Este modelo combinava o modelo de Markov de primeira ordem para a ocorrência de precipitação com um modelo estatístico para quantidades diárias de precipitação distintas de zero. Notavelmente, eles optaram por modelar esses valores utilizando a distribuição exponencial.

No estudo de Wilks (1998), a análise das ocorrências é conduzida mediante o uso de Cadeias de Markov de primeira ordem, com dois estados, enquanto para as quantidades é empregada uma distribuição exponencial mista. Uma função de distribuição mista é uma ferramenta que combina características de diferentes distribuições de probabilidade em uma única expressão matemática. Na hidrologia, essas distribuições mistas são aplicadas no estudo probabilístico de variáveis aleatórias cujas ocorrências são influenciadas por diferentes fatores causais. Por exemplo, no caso das precipitações de curta duração, em uma determinada região, essas podem ser classificadas como do tipo frontal ou convectivo, dependendo do mecanismo de ascensão das massas de ar úmido. Se forem do tipo frontal, o comportamento probabilístico das intensidades pode ser descrito por uma densidade $f_1(x)$. No entanto, se forem do tipo convectivo, as intensidades tenderão a ser maiores

do que as primeiras e serão descritas por uma densidade $f_2(x)$ (Naghattini e Pinto, 2007).

Foufoula-Georgiou e Lettenmaier (1987) combinaram o modelo de ocorrências baseado em processo de alternância de eventos com uma distribuição exponencial mista. Esta abordagem foi aplicada na região de Washington, Estados Unidos. Os dados de médias e variâncias das séries históricas foram reproduzidos com sucesso pela estrutura probabilística adotada.

3.6.2 Modelos de matriz de probabilidade de transição

Quando incorporam um maior número de estados nas cadeias de Markov, esses modelos são referidos como Modelos de Matriz de Probabilidade de Transição (MPT). Desse modo, os modelos MPT são essencialmente Cadeias de Markov de primeiro grau com vários estados, caracterizados por um estado não chuvoso e os demais estados como chuvosos (Sharma e Mehrotra, 2010). Essas estruturas possibilitam a preservação mais efetiva da correlação entre os volumes precipitados em dias consecutivos ao longo da simulação (Wilks e Wilby, 1999)

Neste contexto, Wilks e Wilby (1999) definem que esses modelos de Markov simulam a ocorrência e a quantidade de precipitação, definindo diferentes faixas de quantidades de precipitação constituindo estados distintos, enquanto as probabilidades de transição entre todos os pares possíveis de estados são estimadas a partir de dados e usados em simulação.

Gregory et al. (1993), investigaram a eficácia de diferentes modelos de cadeias de Markov de séries diárias de precipitação na reprodução das características das precipitações médias em uma área da Grã-Bretanha. Inicialmente, foi considerado o modelo padrão de primeira ordem com dois estados, observou-se que a variabilidade dos totais sazonais e a autocorrelação dos montantes diários eram inadequadas neste modelo em comparação com as observações. Em seguida, foram explorados modelos envolvendo cadeias de Markov de ordem superior e muitos estados, com o objetivo de aumentar a autocorrelação. Um modelo de segunda ordem com dois estados não apresentou melhora significativa em relação ao modelo de primeira ordem, mas um modelo de muitos estados de primeira ordem capturou uma parcela significativa da

variabilidade sazonal. Entretanto, o modelo de muitos estados de segunda ordem demonstrou uma melhora ainda maior na representação da variabilidade sazonal.

Thompson, Thompson e Zheng (2007), estudaram um modelo de precipitação diária para Nova Zelândia utilizando três estados de ocorrências: seco, pouco úmido e muito úmido. Os autores reconhecem que a divisão entre mais de um estado de precipitação traz, intrinsecamente, a interpretação de diferentes mecanismos físicos que geram as chuvas. Contudo, neste estudo não é dada importância ao aspecto físico do problema, mas sim à estatística envolvida. Os resultados indicam que o modelo teve um bom desempenho, especialmente ao modelar as distribuições observadas de precipitação, as distribuições de duração dos períodos chuvosos e secos, e a estrutura de correlação das quantidades diárias de precipitação e das ocorrências.

Jale et al (2018), analisou o comportamento das precipitações diárias no estado da Paraíba, utilizando dados de cinco estações meteorológicas distribuídas pelas mesorregiões do estado. Foi empregado o modelo de Cadeia de Markov de três estados, onde os estados são definidos como seco, úmido e chuvoso. Foram calculadas as probabilidades de transição entre os estados, as probabilidades de equilíbrio dos estados e os comprimentos esperados dos estados definidos para todas as estações e estações do ano para investigar a variabilidade espacial/sazonal. Os resultados do teste de aderência indicam que a cadeia de Markov é um modelo apropriado para a dinâmica de precipitação na Paraíba.

3.6.3 Modelos não paramétricos

Conforme descrito por Lall et al. (1996), uma função de aproximação é classificada como não paramétrica quando possui a capacidade de aproximar um amplo conjunto de funções alvo. Além disso, caracteriza-se por adotar uma abordagem "local", na qual as estimativas da função alvo em um determinado ponto são derivadas exclusivamente de observações localizadas em uma pequena vizinhança desse ponto. Um aspecto importante é que nenhuma suposição é feita antecipadamente sobre a forma funcional geral da função alvo.

Conforme descrito por Lall e Sharma (1996), os modelos não paramétricos simulam as alturas de chuva principalmente com base nos dados observados. Isso é realizado

por meio de técnicas de reamostragem, como o *bootstrap*, e modelos de estimação de densidades utilizando o *kernel* (KDE), também denominados de estimadores de núcleo.

De maneira geral, os estimadores de núcleo são uma forma não paramétrica para estimar funções de densidade de probabilidade a partir de dados relacionados ao histograma (Lall et al, 1996). No trabalho de Lall et al. (1996), esses estimadores foram empregados tanto para modelar a incidência de precipitações quanto para estimar as alturas das precipitações correspondentes.

Nos modelos de reamostragem, além dos estimadores de núcleo, encontramos os geradores que empregam a técnica do k-ésimo vizinho mais próximo. Conforme apresentado por Aguilar (2019), uma outra abordagem não paramétrica é o uso do k-ésimo vizinho mais próximo (KNN) em conjunto com a estimação de densidades via *kernel*. Nesse método, emprega-se um algoritmo de reamostragem com reposição baseado na técnica de *bootstrap*. A seleção dos vizinhos mais próximos é feita com base em uma métrica que considera um vetor “D” de distâncias entre os pontos no espaço. Em seguida, um dos vizinhos mais próximos é escolhido aleatoriamente para reamostragem e composição da série da estação de interesse.

Um exemplo é o trabalho de Sharma e Lall (1999), onde utilizaram o k-ésimo vizinho mais próximo para desenvolver um modelo de processos de alternância com renovação. Esse modelo foi utilizado para gerar séries sintéticas, onde as sequências de dias secos ou chuvosos eram condicionadas às sequências anteriores de dias chuvosos ou secos. Na reamostragem da quantidade de precipitação, as condições consideradas incluíam o tamanho da sequência atual de dias chuvosos, o número de dias precedentes e a quantidade de precipitação no dia anterior. Além disso, para incorporar a variabilidade anual, a reamostragem era baseada em janelas móveis de 60 dias.

Por sua vez, Rajagoplan e Lall (1999) também utilizaram a abordagem do k-ésimo vizinho mais próximo com o conceito das janelas móveis. No entanto, ao contrário do estudo anterior, eles simularam outras variáveis além da precipitação, como temperatura máxima e mínima, radiação solar, temperatura média de ponto de orvalho e velocidade média do vento.

De maneira geral, os modelos não paramétricos tendem a apresentar uma eficiência superior em reproduzir as características das alturas de chuva observadas em comparação com outros tipos de modelos. No entanto, é importante observar que, em geral, esses modelos não são capazes de simular adequadamente os eventos extremos devido à sua limitada capacidade de extrapolação (Chen e Brissette, 2014).

No estudo conduzido por Boulanger et al. (2007), foi apresentado um gerador de precipitações diárias fundamentado em redes neurais artificiais (RNA). A abordagem central desse trabalho consistiu em capacitar o sistema para aprimorar a reprodução de padrões de dias secos e chuvosos, assim como para a determinação das quantidades de precipitação. A estrutura principal do modelo desenvolvido foi articulada em torno da identificação das ocorrências e das magnitudes das precipitações. Essa abordagem possibilitou aos pesquisadores compararem o desempenho do modelo proposto com os modelos paramétricos convencionais.

Segundo os autores, em relação às quantidades de precipitação, a aplicação das redes neurais artificiais demonstrou uma melhoria significativa em comparação com os métodos tradicionais. Os autores justificaram que, embora os modelos paramétricos convencionais possam apresentar adequações satisfatórias em determinadas regiões e épocas específicas, as redes neurais artificiais produziram resultados notáveis independentemente da área de aplicação.

Gomes (2022) realizou uma investigação sobre métodos de estimativa de precipitações na região amazônica, levando em conta as limitações dos dados disponíveis, especialmente em termos de resolução diária. Para contornar esses desafios, foram desenvolvidos modelos híbridos que combinam redes neurais artificiais com sistemas de inferência neuro-fuzzy adaptativos (ANFIS), integrados com wavelet discreta de máxima sobreposição (MODWT). O estudo abrangeu seis estações pluviométricas, utilizando também dados de satélite, e os resultados foram analisados de forma sazonal. O modelo MODWT-ANFIS se destacou, revelando uma notável capacidade de simulação mesmo durante períodos de menor precipitação.

3.6.4 Modelos híbridos

Os modelos híbridos partem do pressuposto de que eventos ordinários e extremos são distintos, provenientes de diferentes populações amostrais. Esta abordagem explícita assume que chuvas de intensidade moderada e extremas são regidas por processos físicos diferentes, e, portanto, as quantidades de precipitação associadas a cada um desses processos são extraídas de conjuntos populacionais distintos (Furrer e Katz, 2008). Dentro desse contexto, uma estratégia comum consiste em utilizar uma distribuição assimétrica com cauda superior exponencial para representar as chuvas moderadas, enquanto uma distribuição com cauda mais pesada é adotada para modelar os eventos extremos (Costa, 2015).

Para construir o modelo híbrido, é essencial estabelecer um limiar que distinga entre chuvas moderadas e extremas. Diversos autores propuseram métodos para determinar esse limiar. Wilson e Toumi (2005), por exemplo, em seu estudo, definiram que eventos extremos seriam as precipitações diárias com probabilidade de excedência inferior a 5%. Outros autores sugerem que, em vez de fixar limiares, a estrutura do modelo híbrido deve ser baseada em uma mistura de distribuições (Hundecha et al., 2009). Os modelos de distribuições mistas eliminam a necessidade de estabelecer um ponto de corte específico, pois sua estrutura se baseia em uma função de ponderação que prioriza o modelo com uma cauda mais pesada à medida que as alturas de precipitação aumentam. No entanto, enfrentam dificuldades na estimativa das proporções de mistura e na garantia de continuidade entre as diversas distribuições (Bouguila et al., 2006).

Embora os modelos híbridos surjam na literatura como uma opção propícia para a simulação de precipitações extremas, eles enfrentam alguns desafios importantes. Um dos principais é a dificuldade em estabelecer um limite claro entre chuvas moderadas e extremas. Na prática, é complexo determinar um valor preciso devido à complexidade dos processos físicos envolvidos. Além disso, ao adotar limites variáveis no tempo, há o risco de instabilidades numéricas, introduzindo descontinuidades nos modelos matemáticos e tornando difícil a estimativa de parâmetros por métodos convencionais, como a máxima verossimilhança (Furrer e Katz, 2008). Outro desafio ocorre ao tentar utilizar o modelo para obter valores associados a quantis com uma probabilidade de ocorrência extremamente baixa, ou

seja, valores muito extremos. Conforme evidenciado por Li et al. (2013) e Chen e Brissette (2014), o uso de distribuições com caudas excessivamente pesadas pode gerar frequentemente valores que não são plausíveis fisicamente, comprometendo severamente as estimativas de eventos de cheias extremas na modelagem hidrológica. Uma solução encontrada para o peso excessivo da cauda superior, gerando volumes de precipitação implausíveis, foi a utilização de distribuições de probabilidade que apresentam em sua formulação um limite superior explícito.

Modelos híbridos estritamente paramétricos são considerados uma alternativa conveniente para a construção de geradores estocásticos. Esses modelos são facilmente ajustáveis aos conjuntos de dados e frequentemente oferecem uma descrição precisa de eventos extremos, especialmente ao empregar uma distribuição com cauda superior apropriada. Todavia, a necessidade de especificar as distribuições teóricas subjacentes, das quais se presume que as amostras foram retiradas, introduz uma ampla gama de incertezas na análise. Em contraste, modelos não paramétricos são menos restritivos quanto à forma das distribuições empíricas. Eles demonstram maior habilidade em reproduzir estatísticas de longo prazo, ao mesmo tempo em que eliminam a necessidade de especificação de um modelo probabilístico teórico. No entanto, sua capacidade de extrapolação além do valor máximo observado é limitada (Costa, 2015).

Nesse contexto, Costa (2015) emprega um modelo híbrido que integra abordagens não paramétricas e probabilísticas, visando simular diferentes padrões de chuva. As chuvas de alturas moderadas são geradas através de um modelo de reamostragem, enquanto as chuvas extremas são modeladas por distribuições probabilísticas com limites superiores, incorporando a Precipitação Máxima Possível à estrutura do gerador estocástico. De maneira similar, Aguilar (2019) utiliza um gerador estocástico híbrido similar para simular a precipitação diária, contudo, neste caso, o modelo está conectado a um gerador subdiário. Por sua vez, Furrer e Katz (2008) utilizaram do modelo híbrido, combinando uma distribuição gama para intensidades baixas a moderadas e uma distribuição Pareto generalizada para altas intensidades.

3.7 Curvas envoltórias

Uma curva envoltória de dados é uma representação gráfica que forma um limite superior para um conjunto específico de observações, garantindo que todas permaneçam abaixo dela. Essa curva estabelece uma relação abrangente entre os dados, proporcionando uma representação visual e matemática que facilita a identificação de padrões, comportamentos ou variações ao longo do tempo. Em essência, seu propósito é delimitar um envelope que abarca todas as observações, permitindo uma análise mais eficiente e a detecção de tendências significativas.

O método das curvas envoltórias possui diversas aplicações, especialmente em física e matemática. Na hidrologia, seu uso também é amplo, sendo uma de suas principais aplicações o traçado de curvas envoltórias regionais. Segundo Castellarin et al. (2005), essas curvas representam graficamente as máximas vazões registradas por unidade de área em diferentes estações fluviométricas de uma bacia hidrográfica. A representação ocorre em escala bilogarítmica, onde a curva envoltória é definida como a linha mais contínua que circunscreve todos os pontos, relacionando a área de drenagem das bacias hidrográficas.

England (2005), por sua vez, destaca várias aplicações relativas à construção das curvas envoltórias de cheias. Essas incluem estudos de cheias máximas em bacias não monitoradas, pesquisas que buscam comparar estimativas probabilísticas de vazões de projeto e investigações que visam avaliar a pertinência dos valores obtidos pela estimativa da enchente máxima provável. Essas aplicações destacam a utilidade das curvas envoltórias como ferramentas valiosas em diversos cenários, proporcionando resultados significativos em estudos hidrológicos e de gestão de recursos hídricos.

No contexto deste trabalho, é relevante mencionar o estudo de Hershfield (1965), já citado anteriormente, que estabeleceu envoltórias superiores para diversas durações de chuva nos Estados Unidos. Nesse estudo, o uso de curvas envoltórias está associado à determinação do fator K , obtido a partir da média das precipitações máximas anuais.

Ainda no traçado de curvas envoltórias para o fator K, destacam-se os estudos já mencionados de Burguer (2014), que desenvolveu seu estudo com foco no estado do Paraná, Martins (2024), que realizou uma pesquisa em Barcarena/PA, e Barbosa et al. (2023), que conduziram um estudo de abrangência nacional.

Neste ponto do texto, é importante retomar os comentários sobre o estudo de Sarkar e Maity (2020), desenvolvido no contexto da Índia, conforme discutido anteriormente no capítulo 3.5.2. Nesse trabalho, os autores propuseram uma nova abordagem para a construção das envoltórias dos fatores de frequência, oferecendo uma alternativa ao modelo tradicional de Hershfield (1965). Enquanto o modelo clássico de Hershfield baseia a curva envoltória em um decaimento exponencial simples, a proposta de Sarkar e Maity introduz um patamar linear até o valor máximo K local, seguido de um decaimento exponencial.

Essa modificação foi fundamentada na percepção de que a utilização exclusiva de uma curva exponencial poderia resultar em uma atribuição excessiva de peso a eventos de precipitação com médias diárias máximas anuais mais baixas. Em outras palavras, ao adotar um modelo puramente exponencial, a curva envoltória poderia gerar estimativas de PMP exageradas para essas regiões, o que não refletiria adequadamente a realidade dos dados observados. Ao incluir um patamar linear até o valor máximo observado para K, o modelo se torna mais equilibrado, englobando de forma mais fiel todos os dados observados, ao mesmo tempo em que evita que a estimativa de PMP para locais de menor pluviometria seja distorcida por valores excessivamente elevados.

4 ÁREA EM ESTUDO

Para a aplicação da metodologia descrita a seguir, foi escolhido o estado de Minas Gerais, conhecido por sua diversidade topográfica e climática. O nome do estado tem origem na atividade mineradora, que remonta ao período colonial do Brasil, entre o final do século XVII e o início do século XVIII, durante o ciclo do ouro. Até os dias atuais, Minas Gerais destaca-se pela riqueza mineral, sendo, segundo o Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM, 2024), o estado com o maior número de barragens de mineração cadastradas e, conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB, 2024), o terceiro estado com o maior número de barragens em geral.

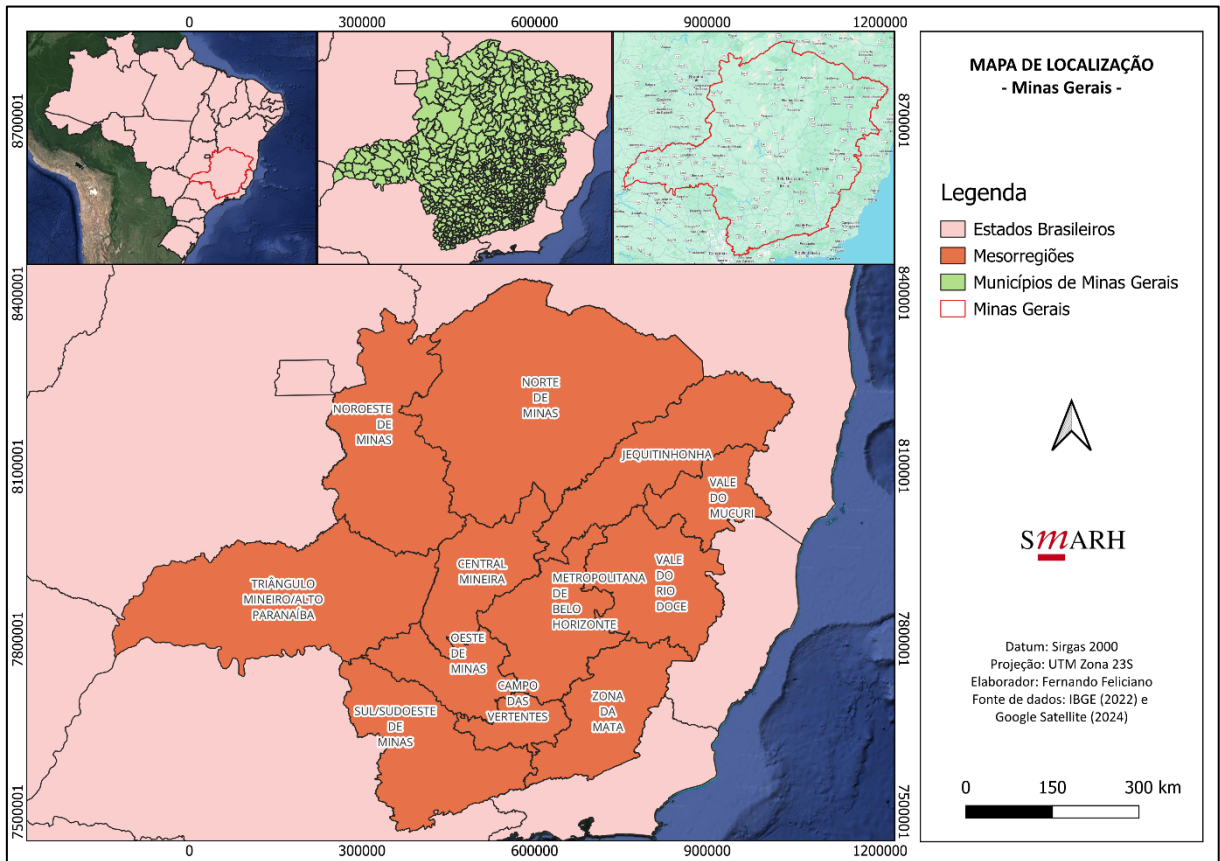
Neste capítulo, será apresentada a contextualização da área de investigação, abordando suas características geográficas e outras informações relevantes que possam influenciar o desenvolvimento e os resultados desta pesquisa.

4.1 Localização Geográfica

O estado de Minas Gerais está situado na região Sudeste do Brasil, abrangendo uma área de 586.513,983 km² (IBGE, 2022) e localiza-se entre as latitudes 14°13'57" e 22°55'47" sul e as longitudes 39°51'24" e 51°02'56" oeste. Minas Gerais faz fronteira com os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul e com o Distrito Federal. A posição central de Minas Gerais na região sudeste facilita a integração com diversas outras regiões do país, tornando-a um ponto de convergência importante para o tráfego rodoviário.

O estado é dividido em 853 municípios (IBGE, 2022) e 12 mesorregiões: Noroeste de Minas, Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte, Vale do Rio Doce, Oeste de Minas, Sul/Sudoeste de Minas (incluindo Campo das Vertentes e Zona da Mata). Cada uma dessas regiões possui características distintas que contribuem para a diversidade cultural e econômica do estado. A Figura 4.1 apresenta a localização da área em estudo.

Figura 4.1 – Mapa de localização de Minas Gerais



Fonte: Autoria própria

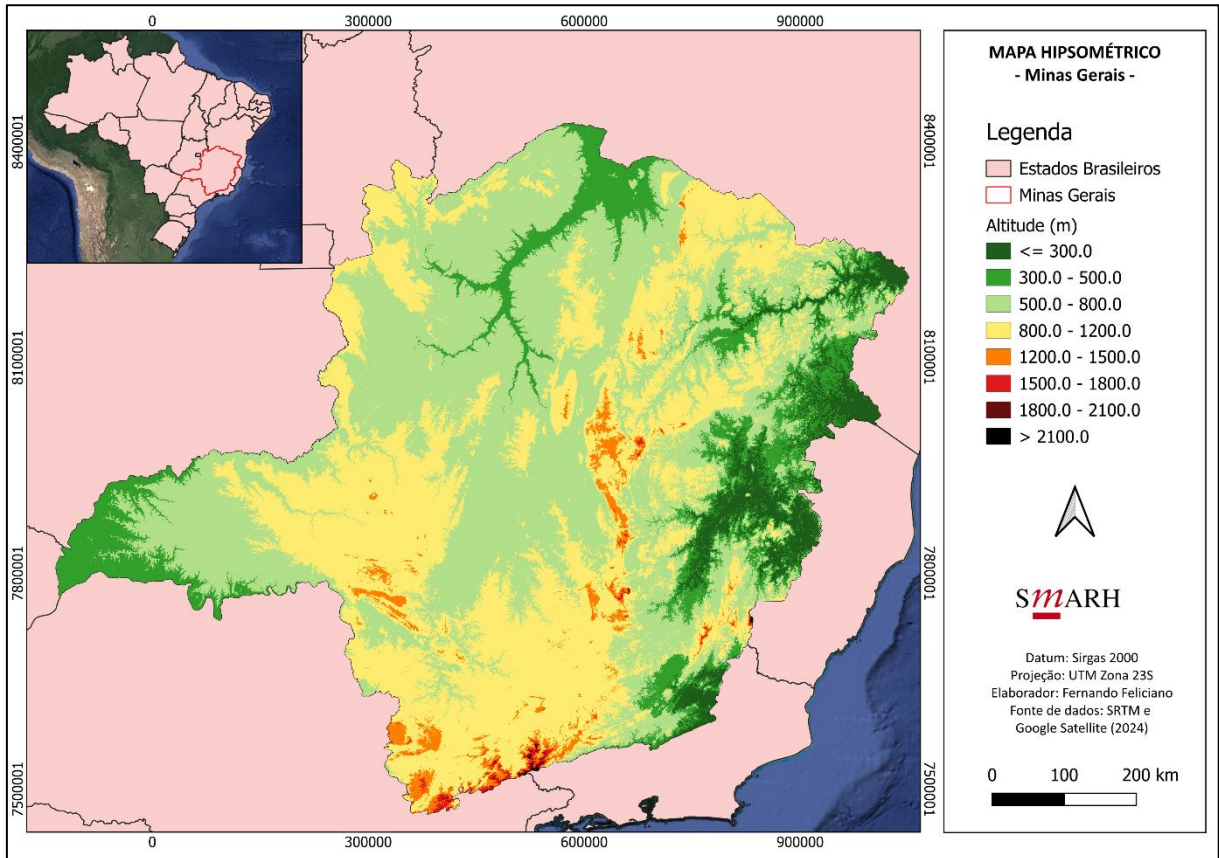
4.2 Orografia

O relevo de Minas Gerais é caracterizado por uma grande diversidade de formas. Segundo Valadão et al. (2008), o território mineiro pode ser dividido em regiões de planalto, chapadas e depressões. Esses autores propõem a divisão do estado em dez regiões distintas, com base em suas características geológicas e geomorfológicas: Serra do Espinhaço, Quadrilátero Ferrífero, Chapadas do Jequitinhonha, Chapadas do São Francisco, Planaltos do Leste e Sul de Minas, Planaltos da Bacia do Paraná, Depressão do São Francisco, Depressão do Jequitinhonha, Depressão do Rio Doce e Depressão do Paraíba do Sul.

A Figura 4.2 mostra o mapa hipsométrico de Minas Gerais, evidenciando as principais formações de relevo do estado. No sul de Minas Gerais, localiza-se a Serra da Mantiqueira, que forma a divisa natural entre Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, esta serra abriga o Parque Nacional do Itatiaia, na fronteira com o Rio de Janeiro, onde se encontra o Pico das Agulhas Negras. Indo do centro para o norte de Minas Gerais, encontra-se a Serra do Espinhaço, que se estende por uma vasta área.

Outra importante formação é a Serra do Caparaó, situada na divisa sudoeste do Espírito Santo com Minas Gerais, onde se localiza o Pico da Bandeira, o ponto mais alto do estado.

Figura 4.2 – Mapa hipsométrico de Minas Gerais

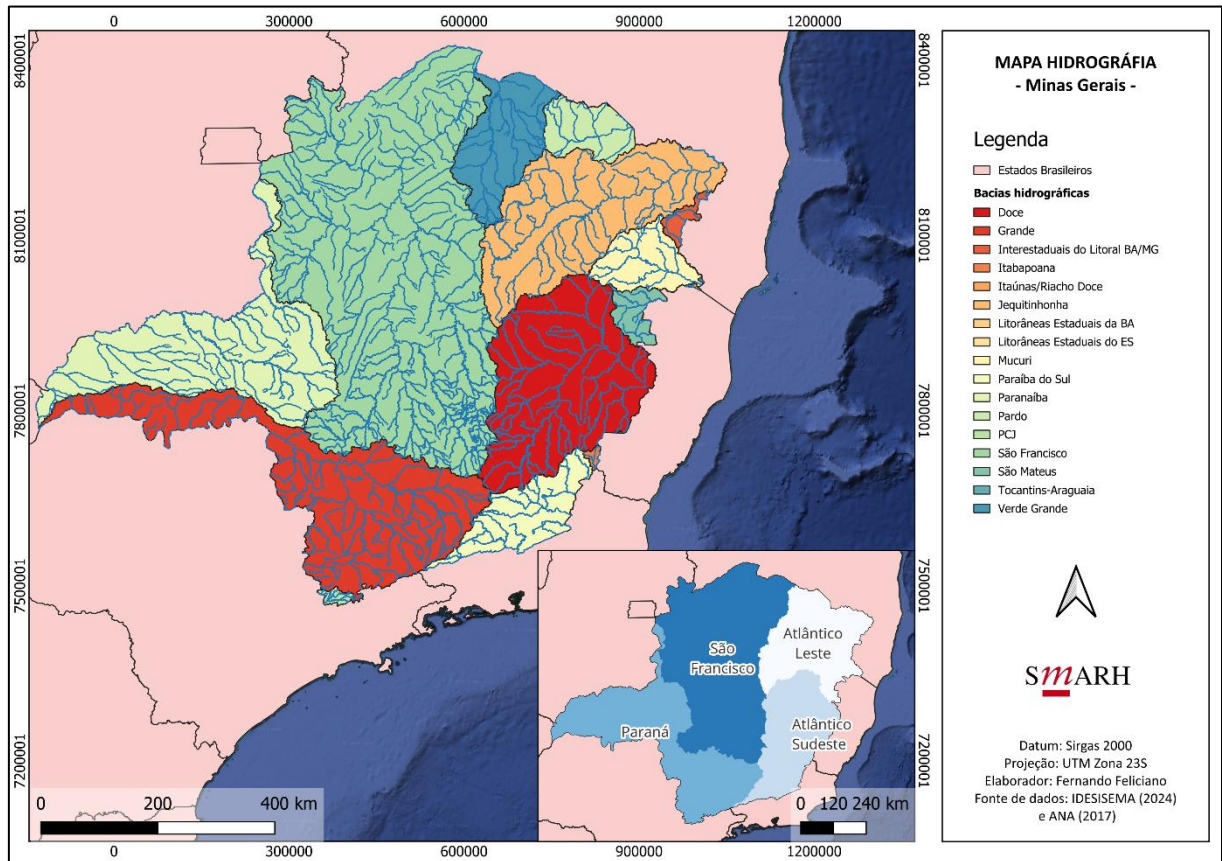


Fonte: Autoria própria

4.3 Hidrografia

Conforme o IGAM (2006), Minas Gerais integra áreas de quatro Regiões Hidrográficas Nacionais, divididas da seguinte maneira: a Região Hidrográfica do São Francisco (RHSF) cobre 40% do estado; a Região Hidrográfica do Paraná (RHPR) abrange 27%; a Região Hidrográfica do Atlântico Leste (RHAL) ocupa 17%; e a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste (RHAS) cobre 16%. O estado possui aproximadamente 10.000 cursos d'água, distribuídos em 17 bacias hidrográficas identificadas pelo IGAM. Esses cursos d'água nascem majoritariamente em Minas Gerais e atravessam fronteiras estaduais, sendo considerados rios de domínio da União. A Figura 4.3 apresenta o contexto hidrográfico estadual.

Figura 4.3 – Bacias hidrográficas de Minas Gerais



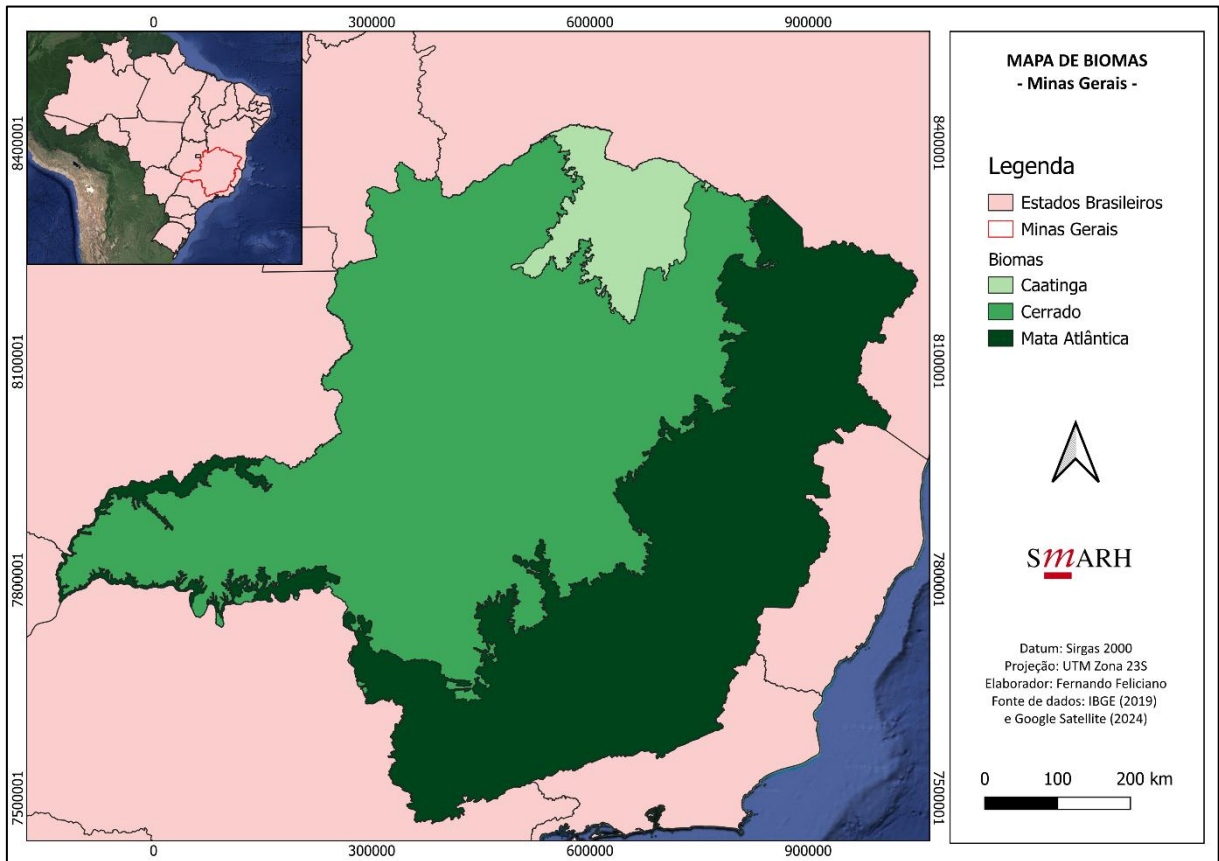
Fonte: Autoria própria

4.4 Vegetação

Minas Gerais é um estado brasileiro com uma vasta diversidade de biomas, devido à sua grande extensão territorial e variedade de climas e altitudes. Conforme classificado pelo IGBE (2019), os principais biomas encontrados no estado são a Mata Atlântica, o Cerrado e a Caatinga.

Segundo Poletto (2017), a Mata Atlântica, localizada no leste de Minas Gerais, é uma floresta tropical de alta biodiversidade, com vegetação densa e árvores de grande porte. No centro-oeste e norte do estado, predomina o Cerrado, cuja vegetação varia de campos abertos a áreas com arbustos e árvores esparsas. As espécies desse bioma são adaptadas à seca e ao fogo, apresentando cascas grossas e raízes profundas para suportar a estiagem. Já a Caatinga, restrita ao norte do estado, possui vegetação adaptada ao clima semiárido. A Figura 4.4 apresenta a distribuição espacial desses biomas no estado.

Figura 4.4 – Mapa de biomas de Minas Gerais

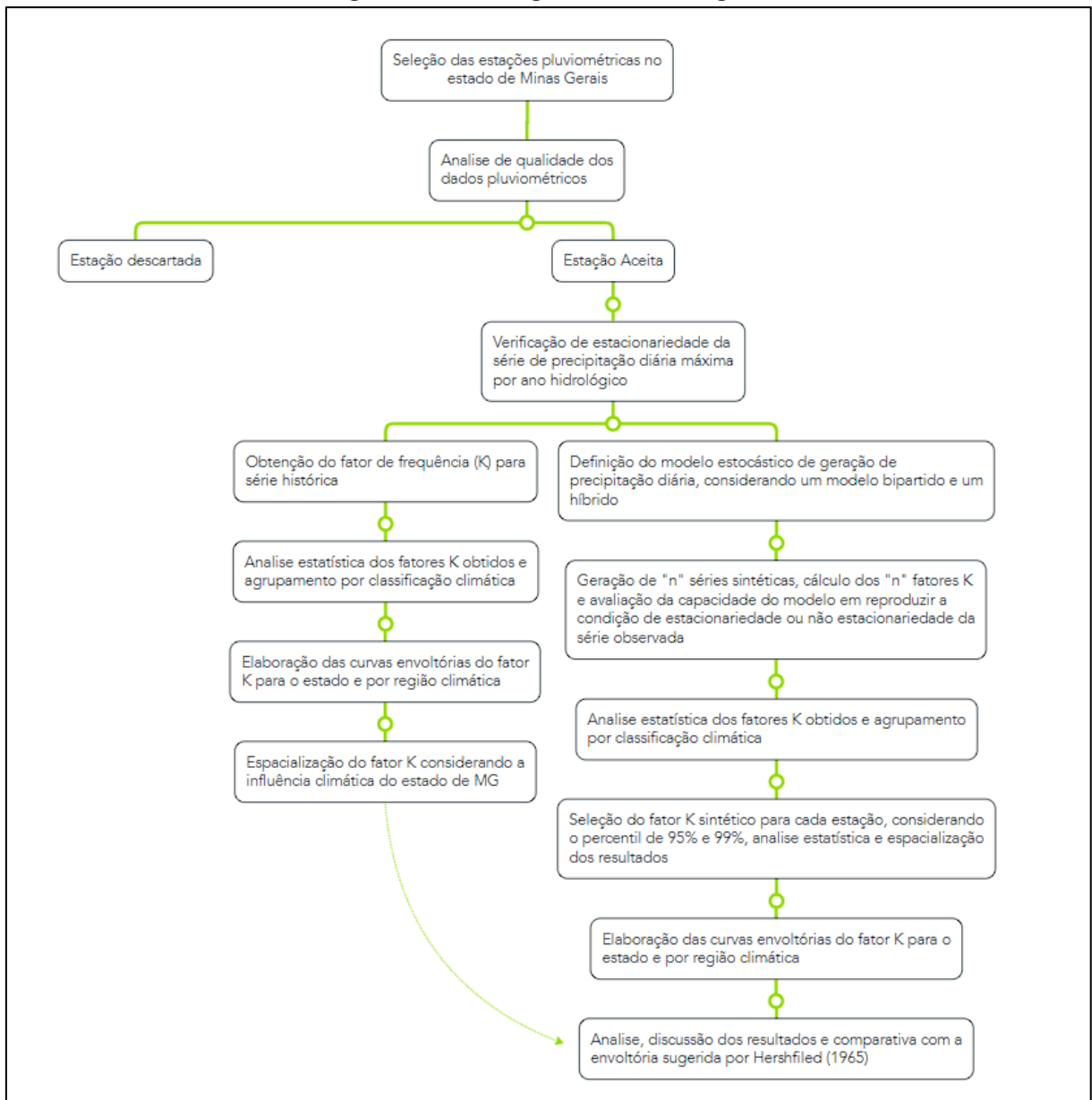


Fonte: Autoria própria

5 METODOLOGIA

Os procedimentos aplicados para realização deste estudo são estruturados em três etapas principais. A primeira etapa envolve a seleção dos dados, conforme detalhado no item 5.1, onde são descritos os critérios e procedimentos utilizados para a escolha dos dados pluviométricos adequados ao estudo. A segunda etapa, denominada "Envoltórias dos Fatores de Frequência para Séries Históricas" é abordada no item 5.2, onde são discutidos os métodos aplicados para a construção das envoltórias com base nas séries temporais históricas. A terceira etapa trata da obtenção das envoltórias dos fatores de frequência para séries sintéticas, sendo essa etapa explorada no item 5.3, onde são explicadas as técnicas empregadas para gerar e analisar as séries sintéticas, visando a complementação dos resultados obtidos com as séries históricas. A metodologia completa é ilustrada na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Fluxograma metodológico



5.1 Seleção dos dados

A primeira etapa do estudo consistiu na seleção das estações pluviométricas que cobrem a área de interesse. Para isso, optou-se por utilizar os dados disponibilizados pelo HidroWeb, uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). O HidroWeb fornece acesso a um extenso banco de dados que compila todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Esse sistema abrange as estações localizadas na área de estudo, que estão sob a responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), e do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM/MG).

Inicialmente, a filtragem dos dados correspondentes ao estado de Minas Gerais revelou um total de 2.415 estações pluviométricas distribuídas pela região de abrangência do estado. No entanto, constatou-se que muitas dessas estações estão desativadas ou apresentam registros limitados e de baixa qualidade. Para assegurar a representatividade e a confiabilidade dos dados utilizados, foram adotados critérios na seleção das estações pluviométricas. Um dos principais critérios estabelecidos foi a exigência de um período mínimo de 30 anos de registros para as estações selecionadas. Além disso, a qualidade dos dados foi garantida através da aderência a padrões básicos de controle de qualidade, conforme proposto por Llabrés-Brustenga et al. (2019).

O controle de qualidade adotado envolve duas etapas, sendo:

- A verificação da plausibilidade física dos registros é uma etapa que visa garantir que os dados analisados sejam fisicamente possíveis de ocorrer. Esta verificação é realizada através da comparação dos dados com um limiar superior estabelecido para identificar valores anômalos ou fora da realidade esperada. No contexto deste estudo, optou-se por definir o limite superior com base em um dos maiores eventos pluviométricos documentados na literatura em Minas Gerais, especificamente o ocorrido em Passa Quatro/MG, em 3 de janeiro de 2000. Durante este evento, foi registrado uma altura de precipitação diária de 322,6 mm, conforme descrito por Pinheiro (2011).
- A segunda etapa da análise incluiu a identificação de padrões de precipitações sequenciais repetidas, um problema frequentemente causado pela ausência de leituras diárias das estações manuais, especialmente durante feriados, resultando na distribuição dos valores acumulados de maneira igual nos dias subsequentes. Para mitigar esse erro, estabelece-se um critério que verifica séries com mais de três leituras consecutivas iguais e superiores a 0,2 mm.

As séries consideradas inconsistentes, com base nos critérios estabelecidos, foram analisadas de forma detalhada por meio da comparação com registros de estações pluviométricas próximas nas mesmas datas, além da consulta a noticiários locais para validação das informações. As séries com erros que comprometessem a análise foram excluídas.

Para verificar a estacionariedade das séries de precipitação diária máxima por ano hidrológico, foi aplicado o teste KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin, 1992), baseado no conceito de raiz unitária. Esse conceito avalia a persistência temporal da série, ou seja, até que ponto os valores presentes são influenciados pelos passados. O teste verifica a hipótese nula de que a série é estacionária em torno de uma tendência determinística (indicando que ela se desenvolve ao redor de uma tendência fixa ao longo do tempo). Já a hipótese alternativa, por sua vez, postula que a série apresenta raiz unitária, caracterizando um comportamento não estacionário.

Neste contexto, o teste assume que a série pode ser decomposta pelos termos de tendência determinística, ruído aleatório e erro estacionário, conforme apresentado pela expressão a seguir

$$y_t = d_t + r_t + \varepsilon_t. \quad (15)$$

Em que:

- d_t é uma tendência determinística;
- r_t é um ruído aleatório;
- ε_t é um processo de erro estacionário.

5.2 Envoltória dos fatores de frequência para séries históricas

A seguinte etapa da metodologia envolveu a elaboração das envoltórias dos fatores de frequência, aplicada às séries históricas. Primeiramente, os fatores K foram calculados para cada estação selecionada, seguindo a metodologia proposta por Hershfield (1961). De acordo com essa abordagem, o fator de frequência K é determinado utilizando a equação (16)

$$K = \frac{X_m - \bar{X}_{n-1}}{S_{n-1}}. \quad (16)$$

Em que:

- X_m máximo valor da série de n máximas anuais de duração diária por ano hidrológico;

- \bar{X}_{n-1} média da série de n máximas anuais de duração diária por ano hidrológico, excluindo o máximo valor da série;
- S_{n-1} desvio padrão da série de n máximas anuais de duração diária por ano hidrológico, excluindo o máximo valor da série.

Com base nos resultados obtidos, foi realizada uma análise descritiva abrangente dos dados para todo o estado. Esta análise incluiu a avaliação de medidas de tendência central e medidas de dispersão. Além disso, foram elaborados gráficos para visualizar a distribuição e os padrões dos dados.

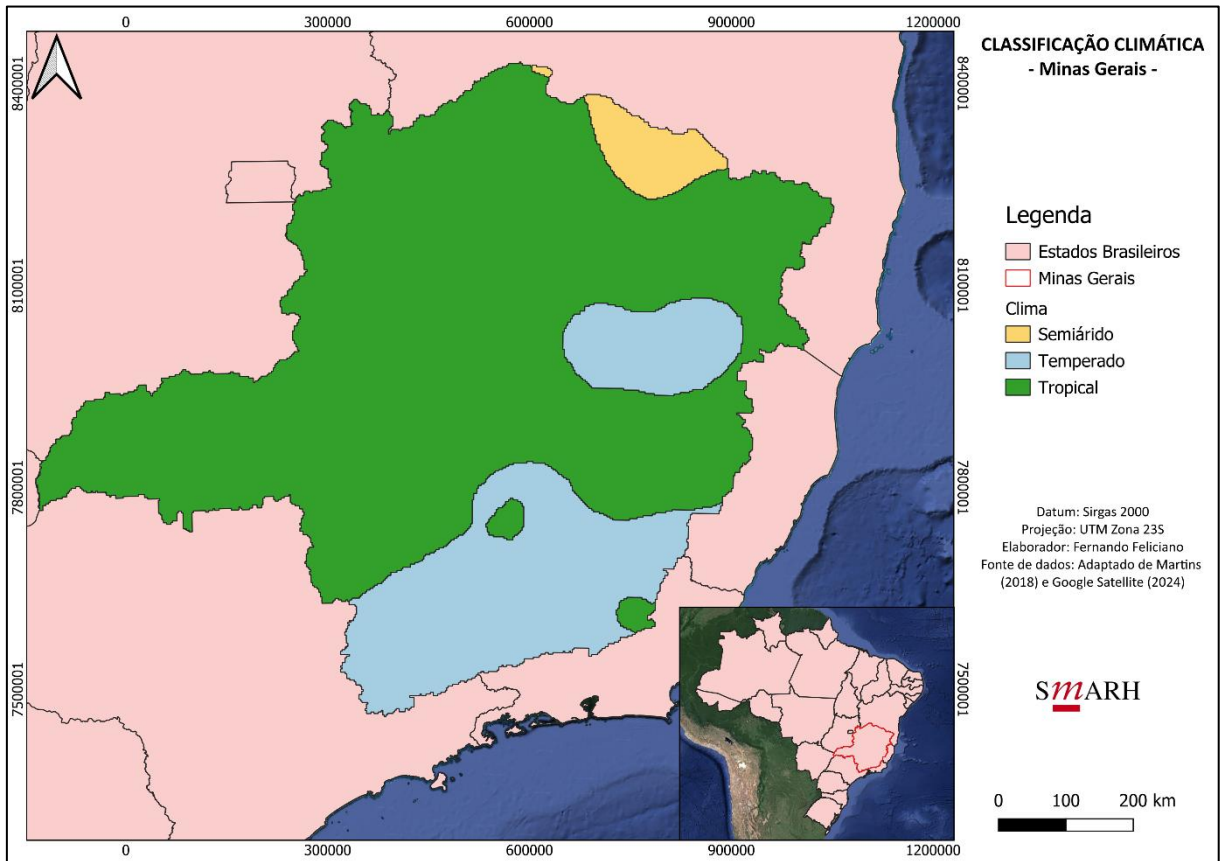
Em seguida, os dados foram agrupados de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger para a área em estudo, conforme proposta por Martins et al. (2018) e apresentada na Figura 5.2. A partir dessa classificação, os dados foram analisados de forma descritiva, considerando as características específicas de cada região climática do estado.

Para assegurar uma representatividade adequada dos dados, optou-se por agrupar zonas climáticas com características semelhantes para simplificar a análise e a interpretação dos resultados. As zonas de clima árido, classificadas como BSh e BWh, foram combinadas em uma única categoria, denominada semiárido. O clima BSh é típico de regiões semiáridas de baixa latitude e altitude. Já o clima BWh, embora também árido, é encontrado em desertos quentes e apresenta temperaturas ainda mais elevadas.

De forma similar, as zonas subtropicais Cwa e Cwb foram unificadas. A zona Cwa é caracterizada por verões quentes e úmidos, com invernos secos, enquanto a zona Cwb tem verões temperados e uma maior amplitude térmica anual, com invernos secos e mais frios.

Por fim, após esses agrupamentos, foram definidas três principais zonas climáticas para o desenvolvimento deste estudo: semiárida, tropical e temperada (subtropical). A Figura 5.2 ilustra essa divisão climática, que constitui a base para a análise das variáveis em cada uma das regiões estudadas.

Figura 5.2 – Classificação Climática de Minas Gerais



Fonte: Autoria própria

Com base nos resultados obtidos, foram desenvolvidas curvas envoltórias para o fator de frequência no estado e por região climática, utilizando uma adaptação da metodologia proposta por Sarkar e Maity (2020). Essa abordagem difere da tradicional sugerida por Hershfield, que emprega apenas uma curva de decaimento exponencial. A metodologia dos autores combina um patamar constante com uma curva exponencial, o que permite envelopar todos os fatores de frequência observados e, ao mesmo tempo, evita a atribuição de valores excessivamente altos em regiões com baixa precipitação. A equação (17), a seguir, apresenta as equações dos autores para a curva exponencial e o patamar.

$$K = \begin{cases} K_m & \text{para } 0 \leq \bar{X}_n \leq \bar{X}_n^t \\ K_m e^{-b(\bar{X}_n - \bar{X}_n^t)} & \text{para } \bar{X}_n > \bar{X}_n^t \end{cases} \quad (17)$$

Em que:

- K_m fator de frequência máximo ajustado;

- b é o coeficiente de ajuste que determina a inclinação da porção exponencialmente decrescente
- \bar{X}_n média ajustada da série de n valores de chuvas máximas anuais; e
- \bar{X}_n^t média ajustada da transição entre o patamar e a curva exponencial.

Neste estudo, entretanto, foi adotada uma modificação da metodologia original: o intervalo utilizado para o traçado das curvas foi ajustado com base nos valores mínimo e máximo das médias das precipitações máximas anuais observadas. O valor inferior do patamar constante foi definido a partir da menor média, enquanto o ponto de transição para a curva de decaimento exponencial foi vinculado à maior média, de forma a restringir a envoltória ao intervalo efetivamente representado pelos dados. Essa adaptação se justifica pela baixa representatividade de estações tanto em regiões mais áridas quanto em áreas com elevada precipitação em Minas Gerais, o que reforça a necessidade de limitar a análise ao intervalo observado. Além disso, verificou-se que a amplitude das médias utilizadas por Sarkar e Maity é significativamente superior àquela observada nos dados de Minas Gerais, o que também contribuiu para a adequação da metodologia ao contexto local.

Por fim, a análise inclui a avaliação da distribuição espacial dos fatores K na área de estudo, realizada através da interpolação pelo método do Inverso da Distância Ponderado (IDW). O método de interpolação pelo Inverso da Distância Ponderado trata-se de uma técnica utilizada para estimar valores em pontos não amostrados com base em valores conhecidos em pontos amostrados, atribuindo maior influência aos pontos mais próximos do que aos mais distantes. No IDW, o valor interpolado em um ponto é calculado como uma média ponderada, onde o peso de cada ponto conhecido é inversamente proporcional ao quadrado da distância até o ponto estimado. O método de interpolação é dado pela equação (18) (Mello et al, 2003):

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} X_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)}. \quad (18)$$

Em que:

- X_p é a variável interpolada;

- X_i é o valor da variável da i -ésima localidade vizinha;
- d_i é a distância euclidiana entre o i -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

5.3 Envoltória dos fatores de frequência para séries sintéticas

A terceira etapa metodológica do estudo consiste na geração de séries sintéticas de precipitação diária para a área em análise, com o objetivo de incorporar um caráter probabilístico à estimativa da PMP. Essa abordagem utiliza a seleção de percentis correspondentes às probabilidades de excedência de 5% e 1%

5.3.1 Seleção do modelo para geração de series sintéticas

Para identificar o modelo de geração sintética mais adequado, ou seja, aquele que melhor simula as precipitações diárias na região, foi realizada uma análise comparativa que incluiu uma avaliação estatística descritiva. Nesta análise, as séries de dados geradas pelos diferentes modelos foram comparadas com os registros históricos de precipitação. Os critérios de comparação abrangeram a precipitação média anual e mensal, além dos valores máximos diários registrados. A eficácia de cada modelo foi avaliada com base na sua capacidade de replicar esses indicadores estatísticos de forma consistente com os dados históricos.

Neste contexto, inicialmente foi realizada uma contagem simples do número de vezes em que cada modelo apresentou resultados mais próximos dos registros históricos. Em seguida, de forma complementar, aplicaram-se as métricas RMSE (Erro Quadrático Médio) e MAE (Erro Absoluto Médio), com o objetivo de corroborar os resultados preliminares e fornecer uma avaliação quantitativa mais robusta do desempenho dos modelos utilizados na geração das séries de precipitação.

O RMSE é uma medida que avalia a magnitude média dos erros entre os valores estimados e observados, levando em consideração as diferenças quadráticas, o que significa que valores de erro maiores são mais penalizados. O MAE mede a média das diferenças absolutas entre os valores estimados e observados, sem considerar a direção do erro. Em outras palavras, o MAE indica o tamanho médio do erro e é menos sensível a grandes desvios em relação ao RMSE (Carmo e Silva, 2023). Essas

métricas complementam a análise descritiva, fornecendo uma base quantitativa para a escolha do modelo mais adequado.

5.3.2 Modelos para geração de series sintéticas considerados

Os modelos de geração diária considerados para essa avaliação incluem:

Modelo Bipartido: Este modelo, adaptado do modelo proposto por Wilks (1998), emprega uma cadeia de Markov de primeira ordem com dois estados para simular a ocorrência de dias secos e chuvosos. O método segue a sequência apresentada na Figura 3.6. Inicialmente, calcula-se as probabilidades de transição entre os estados, ou seja, a probabilidade de um dia seco ser seguido por um dia chuvoso e vice-versa, além das probabilidades de continuidade nos estados seco ou chuvoso, sendo construída a matriz de transição:

$$\mathbf{P} = p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{bmatrix} \quad (5)$$

O cálculo das probabilidades de transição é realizado a partir da análise dos dados históricos de precipitação. Para cada cenário (seco ou chuvoso), determina-se a razão entre o número de transições observadas do estado atual para o próximo estado e o número total de transições associadas a esse evento. Matematicamente, as probabilidades de transição são expressas da seguinte forma:

$$P(\text{chuva}|\text{seco}) = p_{01} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de transições seco para chuva}}{\text{n}^\circ \text{ de transições partir de seco}}, \quad (19)$$

$$P(\text{seco}|\text{chuva}) = p_{10} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de transições chuva para seco}}{\text{n}^\circ \text{ de transições partir de chuva}}, \quad (20)$$

$$P(\text{chuva}|\text{chuva}) = p_{11} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de transições chuva para chuva}}{\text{n}^\circ \text{ de transições partir de chuva}}, \quad (21)$$

$$P(\text{seco}|\text{seco}) = p_{00} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de transições seco para seco}}{\text{n}^\circ \text{ de transições partir de seco}}. \quad (22)$$

Na sequência, calcula-se a probabilidade de dias com “chuva” (π) e do parâmetro de persistência (d), dados por:

$$\pi = \frac{p_{01}}{1 - d}, \quad (6)$$

$$d = p_{11} - p_{01}. \quad (7)$$

A geração das séries sintéticas de precipitação foi realizada utilizando cadeias de Markov de primeira ordem e dois estados. Este processo envolveu a comparação de números pseudoaleatórios com uma probabilidade crítica previamente definida, o que permitiu determinar a ocorrência de dias chuvosos e secos ao longo da série temporal.

Para especificar a quantidade de precipitação nos dias identificados como chuvosos, foi adotada uma abordagem paramétrica. Nesse contexto, foram avaliadas as distribuições de probabilidade gama e exponencial (detalhadas nos itens 3.6.1.1 e 3.6.1.2) para identificar qual delas proporcionava o melhor ajuste aos dados históricos da área de estudo. Após essa verificação, foi escolhida a distribuição que apresentou o melhor desempenho entre ambas através do teste de Kolmogorov-Smirnov (Naghetini e Pinto, 2007). O ajuste dos parâmetros foi realizado individualmente para cada mês, assegurando a modelagem precisa das variações sazonais da precipitação.

Nesta etapa, números pseudoaleatórios foram novamente utilizados para gerar variáveis aleatórias de acordo com a distribuição de probabilidade selecionada. Isso permitiu a simulação da quantidade de precipitação para cada dia classificado como chuvoso na série sintética.

Modelo Híbrido: Este modelo, baseado na adaptação do modelo proposto por Costa (2015), diferencia chuvas moderadas de chuvas extremas, utilizando como limiar o percentil de 95% calculado individualmente para cada mês. Assim, dados abaixo desse limite são usados para modelar chuvas moderadas, enquanto dados acima do limite são destinados à modelagem de chuvas extremas. A modelagem é realizada utilizando uma cadeia de Markov de primeira ordem com três estados (equação (23)), que correspondem à ausência de chuva, chuva moderada ($0 < P \leq P95\%$), e chuva extrema ($P > P95\%$).

$$\mathbf{P} = p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \quad (23)$$

O cálculo das probabilidades de transição é realizado da seguinte maneira

$$p_{ij} = \frac{n^\circ \text{ de transições do estado } i \text{ para o estado } j}{n^\circ \text{ de transições partir do estado } i}, \quad i, j = 0, 1, 2. \quad (24)$$

A geração das séries sintéticas de dias com ausência de chuva, chuva moderada e chuva extrema foi realizada através da comparação de números pseudoaleatórios com probabilidades críticas previamente definidas. Essa abordagem permitiu determinar a ocorrência de dias chuvosos e secos ao longo da série temporal. Para determinar o estado do primeiro dia, foi realizado um sorteio pseudoaleatório, onde o número obtido foi comparado com as probabilidades associadas a um dia ser não chuvoso, chuvoso ou de chuva extrema dentro da série histórica.

Após a definição da série de ocorrências de chuva, a quantificação da precipitação foi realizada de acordo com o estado identificado. Para chuvas moderadas ($0 < P \leq P95\%$), utiliza-se uma abordagem não paramétrica, especificamente o método de reamostragem *bootstrap*, aplicando-o aos dados dentro deste intervalo. Já para chuvas extremas ($P > P95\%$), adota-se uma abordagem paramétrica sem limite superior. Nesse contexto, foram avaliadas as distribuições de probabilidade gama e exponencial (detalhadas nos itens 3.6.1.1 e 3.6.1.2) para determinar qual delas oferecia o melhor ajuste aos dados históricos da área de estudo. A distribuição com melhor desempenho foi selecionada, e o ajuste dos parâmetros foi realizado individualmente para cada mês, garantindo uma modelagem precisa das variações sazonais da precipitação.

5.3.3 Geração de series sintéticas e traçado de curvas envoltórias

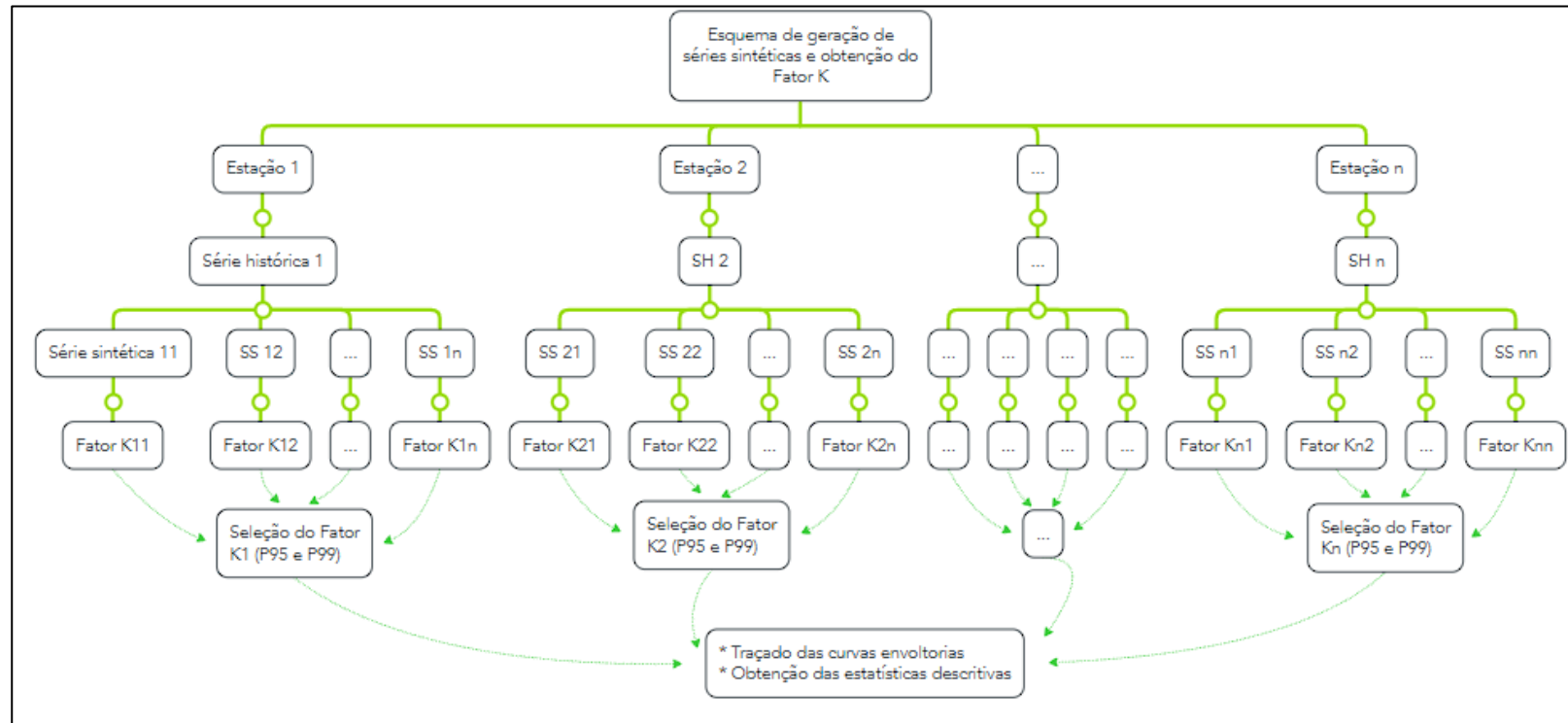
Após a seleção do modelo que apresentou melhor desempenho para a área em estudo, foram simuladas 1.000 séries de precipitação para cada estação pluviométrica, respeitando o comprimento da série histórica original. A partir dessas simulações, foram calculados 1.000 valores do fator K para cada estação.

Posteriormente, foram determinados os valores de K correspondentes aos percentis 95% e 99% para cada estação. Esses valores foram analisados separadamente, permitindo a obtenção de resultados específicos para cada percentil.

De forma semelhante à etapa anterior, foram desenvolvidas curvas envoltórias para o estado e para cada região climática, conforme as regiões apresentadas na Figura 5.2. Essas curvas foram geradas para cada percentil analisado, e também foi realizada uma análise da distribuição espacial dos fatores “K” na área em estudo, garantindo uma compreensão abrangente das variações regionais.

A Figura 5.3 apresenta o esquema de geração de series sintéticas e seleção do fator de frequência.

Figura 5.3 – Esquema de geração de séries sintéticas e seleção do fator K



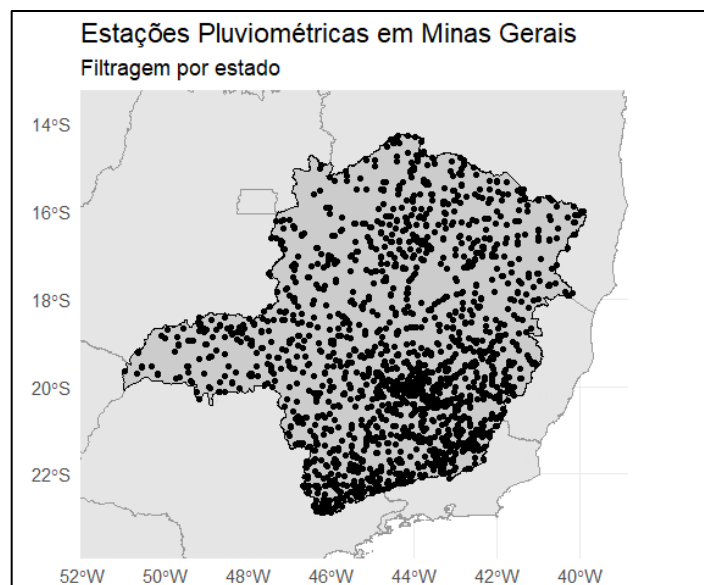
Fonte: Autoria própria

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Seleção dos dados

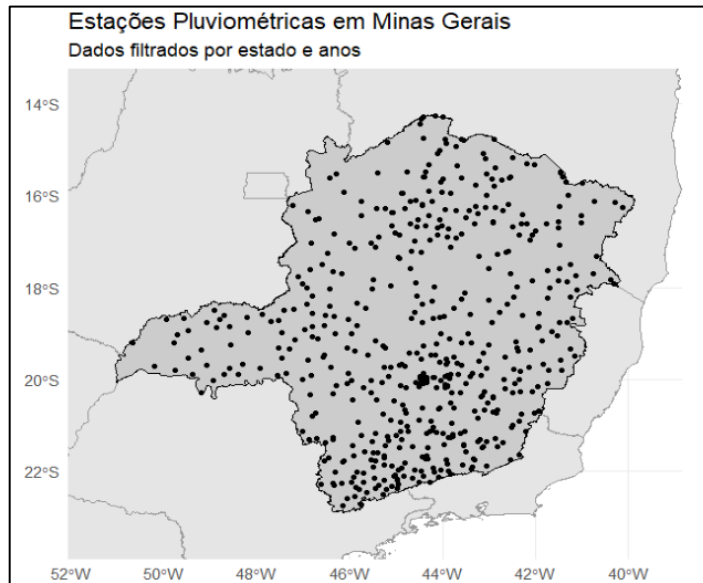
Para definir a base de dados utilizada no desenvolvimento deste estudo, foram selecionados dados pluviométricos de Minas Gerais a partir do sistema HidroWeb. Em uma primeira etapa, foi realizada uma filtragem geográfica para identificar as estações localizadas dentro dos limites administrativos de Minas Gerais, resultando em um conjunto inicial de 2.415 estações pluviométricas. Essa distribuição inicial das estações no estado é apresentada na Figura 6.1, a qual ilustra a abrangência espacial dos pontos de monitoramento considerados antes das etapas subsequentes de filtragem e controle de qualidade dos dados.

Figura 6.1 – Filtragem de estações por estado



Fonte: Autoria própria

No entanto, muitas dessas estações estão desativadas ou possuem registros limitados e de baixa qualidade. Para garantir a consistência dos dados neste estudo, foi estabelecido um critério de seleção que considerou apenas as estações com, no mínimo, 30 anos de registros. Esse processo de qualificação resultou na seleção de 539 estações, cuja distribuição espacial é apresentada na Figura 6.2.

Figura 6.2 – Filtragem de estações por estado e comprimento de registro

Fonte: Autoria própria

Para avaliar a plausibilidade física dos eventos extremos, foi estabelecido um limiar baseado em um dos maiores registros pluviométricos documentados em Minas Gerais, conforme descrito por Pinheiro (2011). Esse evento, ocorrido em Passa Quatro em 3 de janeiro de 2000, registrou uma precipitação diária de 322,6 mm. Com base nesse critério, identificou-se que dezesseis estações apresentaram precipitações superiores a esse valor, conforme indicado na Tabela 6.1.

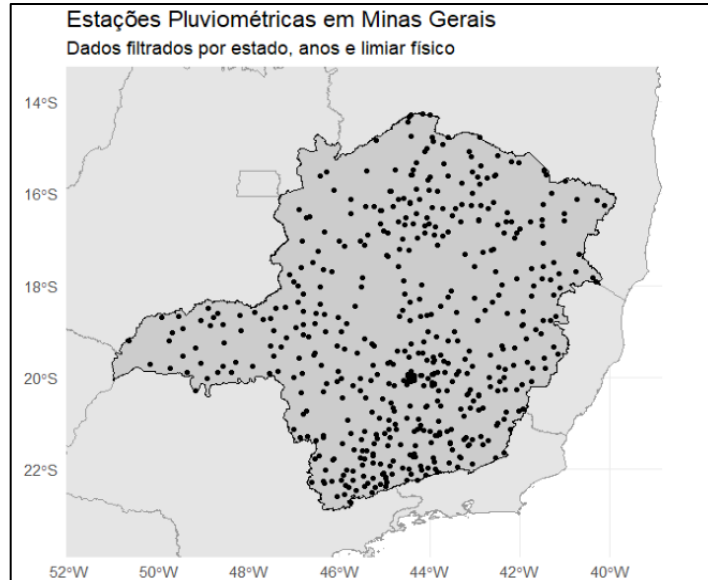
Tabela 6.1 – Estações sinalizadas pelo limiar de detecção

| Estação | Código | Data | Precipitação (mm) |
|----------------------------|----------|------------|-------------------|
| BOCA DA CAATINGA | 01443000 | 17/11/1970 | 888,0 |
| DIVISA ALEGRE | 01541002 | 27/04/1978 | 666,3 |
| BARROÇÃO | 01643001 | 03/01/1975 | 406,5 |
| FAZENDA LIMEIRA | 01647008 | 15/11/1996 | 408,5 |
| SÃO GONÇALO DO ABAETÉ | 01845013 | 27/12/1966 | 334,8 |
| BARRA DO RIO DE JANEIRO | 01845027 | 31/01/1992 | 485,8 |
| NAQUE VELHO | 01942032 | 14/06/1989 | 932,5 |
| MINERAÇÃO MORRO VELHO | 01943000 | 31/01/1858 | 825,5 |
| FERROS | 01943003 | 07/10/1949 | 501,0 |
| ESTAÇÃO ALVARO DA SILVEIRA | 01945004 | 31/01/1964 | 342,1 |
| VIÇOSA | 02042024 | 31/12/1928 | 461,1 |
| FAZENDA SÃO JOSÉ | 02143015 | 21/12/1943 | 534,0 |
| CAXAMBU | 02144003 | 23/09/1950 | 998,4 |
| MACHADO | 02145033 | 11/04/1977 | 400,0 |
| ALAGOA | 02244065 | 25/04/1961 | 751,9 |
| CAMANDUCAIA | 02246057 | 03/01/2011 | 607,2 |

Após a detecção de registros que ultrapassaram o limiar estabelecido, cada um foi submetido a uma verificação detalhada. Essa análise revelou que todas as discrepâncias nas estações eram causadas por erros de leitura ou, mais frequentemente, por acúmulos de precipitação referentes a dias sem registros, cujos

valores foram indevidamente lançados em uma única data, com base nesses ajustes o número de estações válidas foi reduzido para 523, como ilustrado na Figura 6.3.

Figura 6.3 – Filtragem de estações por estado, comprimento de registro e limiar físico

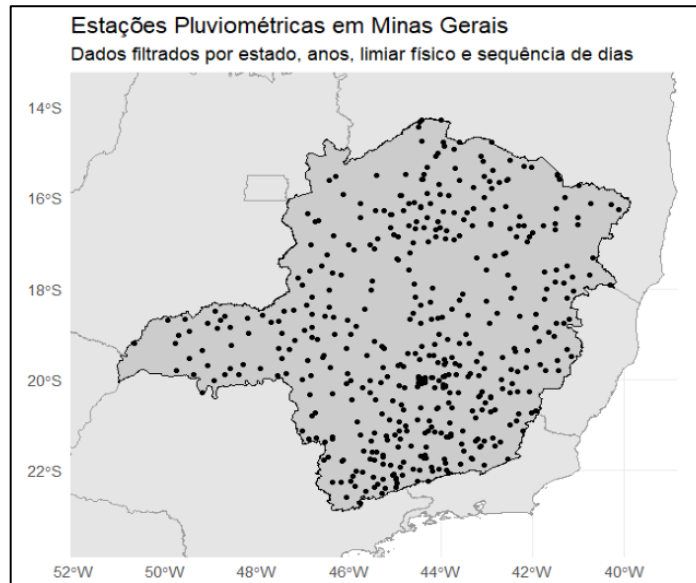


Fonte: Autoria própria

Adicionalmente, realizou-se uma análise para identificar padrões de precipitações sequenciais, aplicando um critério que considera séries com mais de três leituras consecutivas iguais e superiores a 0,2 mm. Esse controle visou garantir a consistência dos dados e eliminar registros possivelmente incorretos. Como resultado, foram selecionadas 481 estações pluviométricas qualificadas para o desenvolvimento do estudo, abrangendo um total acumulado de 26.321 anos de dados históricos entre essas estações.

A Figura 6.4 ilustra a distribuição espacial das estações selecionadas, representando a base de dados final considerada. No Apêndice A, são listadas as estações com seus respectivos códigos e coordenadas geográficas.

Figura 6.4 – Filtragem de estações por estado, comprimento de registro, limiar físico e padrões de precipitações sequenciais



Fonte: Autoria própria

6.2 Resultados séries históricas

Esta seção apresenta os resultados do estudo para as séries históricas, abordando a classificação climática dos dados e o traçado das curvas envoltórias dos fatores de frequência, que são utilizadas para a estimativa da PMP.

6.2.1 Dados históricos contexto estadual

Para analisar os resultados de forma geral para o estado de Minas Gerais, foram determinados os fatores de frequência para cada estação selecionada, com os resultados apresentados no Apêndice B. Para resumir os dados, foram calculadas as principais estatísticas descritivas, conforme mostrado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K dados históricos - Minas Gerais

| Dados | n | Mínimo | P25% | Média | Mediana | Desvio padrão | Coef. Variação | P75% | Máximo | Coef. Assimetria |
|--------------|-----|--------|------|-------|---------|---------------|----------------|------|--------|------------------|
| Minas Gerais | 481 | 1,68 | 2,75 | 3,65 | 3,41 | 1,29 | 0,35 | 4,14 | 8,98 | 1,41 |

Com o objetivo de identificar a distribuição espacial dos fatores K na área de estudo, foi aplicada a interpolação utilizando o método do Inverso da Distância Ponderado (IDW). A Figura 6.5 apresenta o mapa resultante, que mostra a variação dos fatores K em todo o estado. A Figura 6.6 e a Figura 6.7 apresentam, respectivamente, o histograma e o *box plot* dos dados.

Figura 6.5 – Interpolação IDW do Fator K em Minas Gerais – Dados históricos

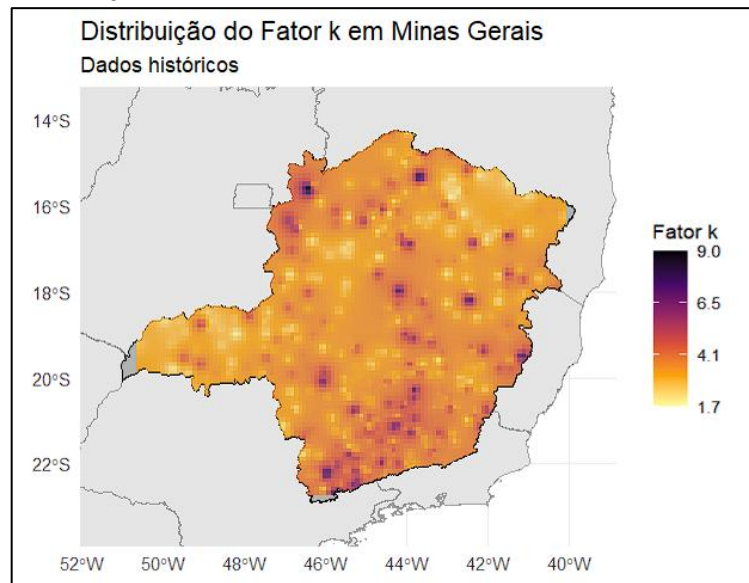


Figura 6.6 – Histograma do fator K para Minas Gerais – Dados históricos

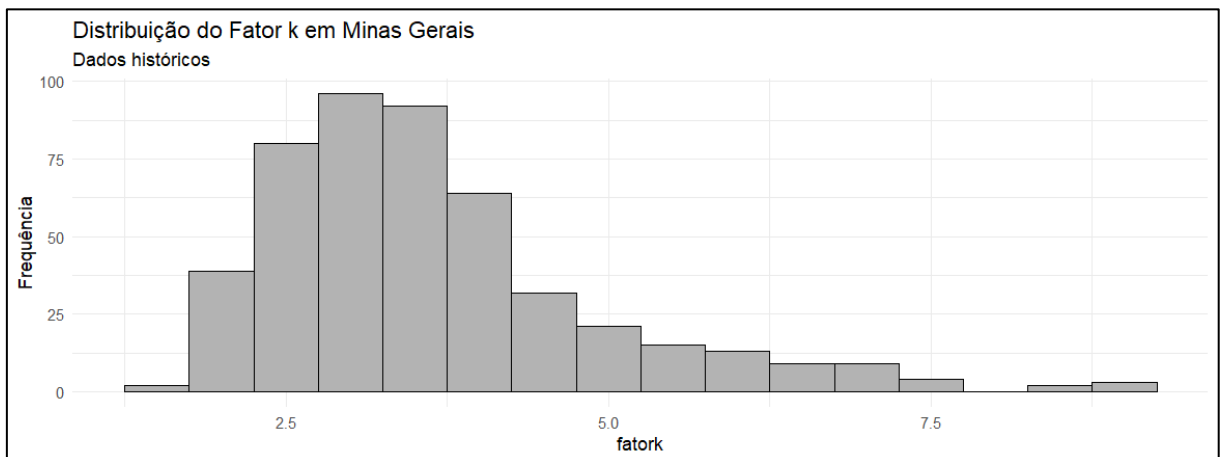
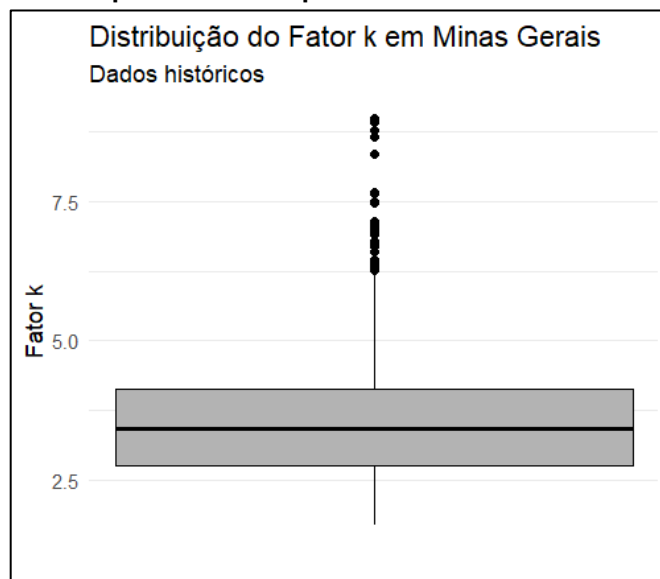


Figura 6.7 – Boxplot do fator K para Minas Gerais – Dados históricos



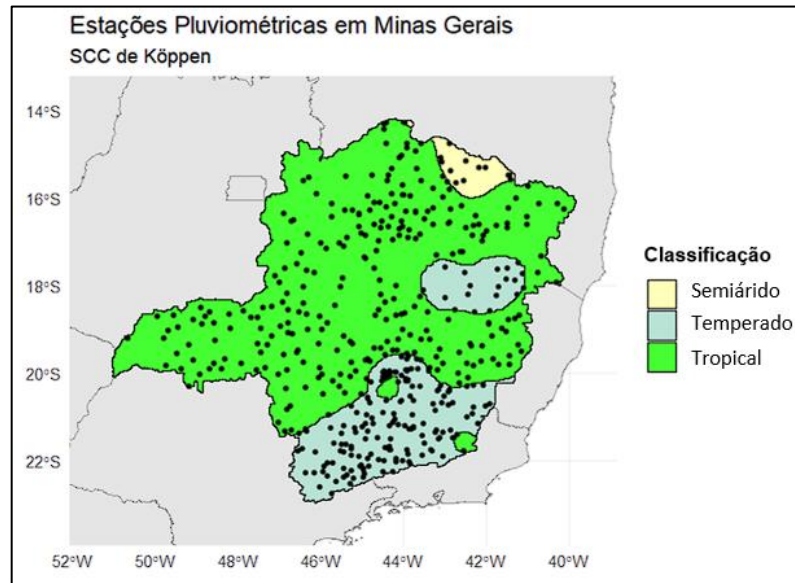
A análise dos fatores de frequência baseados em dados históricos para Minas Gerais revelou uma amostra de 481 estações pluviométricas, representativa do estado. Os valores do fator K variaram de 1,68 a 8,98, indicando diferenças significativas entre as estações. O primeiro quartil (P25%) foi 2,75, enquanto o terceiro quartil (P75%) alcançou 4,14, indicando que metade das estações possui valores entre esses limites. A média calculada foi 3,65, próxima da mediana de 3,41. O desvio-padrão de 1,29 reflete uma dispersão moderada, enquanto o coeficiente de variação (CV) de 0,35 aponta para uma variabilidade relativa de 35% em relação à média.

As distribuições podem ser visualizadas no histograma e no box plot apresentados. O histograma evidencia que a maioria das estações possui fatores de frequência entre 2,5 e 4,5, com uma frequência gradualmente decrescente em valores mais altos, reforçando a assimetria positiva. O box plot, por sua vez, confirma a concentração dos valores próximos à mediana, mas também destaca a presença de outliers em níveis superiores a 7,5. Esses resultados são corroborados pelo coeficiente de assimetria de 1,41, indicando que há maior concentração de valores menores, com uma cauda mais alongada para valores maiores.

6.2.2 Classificação climática dos dados históricos

Com base nas estações selecionadas no item 5.1, realizou-se sua classificação climática conforme o sistema de Köppen-Geiger, apresentado na Figura 5.2. O resultado indicou 15 estações em regiões semiáridas, 186 em clima temperado e 280 em clima tropical. A classificação está detalhada na Figura 6.8.

Figura 6.8 – Distribuição das estações SCC Köppen-Geiger – Dados históricos



Em seguida, foram determinados os fatores de frequência para cada estação. Para sumarizar os dados por tipo climático, calcularam-se as principais estatísticas descritivas, conforme apresentado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K por região climática - Dados históricos

| Class. Climática | n | Mínimo | P25% | Média | Mediana | Desvio padrão | Coef. Variação | P75% | Máximo | Coef. Assimetria |
|------------------|-----|--------|------|-------|---------|---------------|----------------|------|--------|------------------|
| Semiárido | 15 | 1,99 | 2,35 | 2,98 | 2,62 | 0,94 | 0,31 | 3,25 | 5,11 | 1,05 |
| Temperado | 186 | 1,97 | 2,93 | 3,97 | 3,67 | 1,41 | 0,36 | 4,63 | 8,98 | 1,11 |
| Tropical | 280 | 1,68 | 2,71 | 3,47 | 3,21 | 1,18 | 0,34 | 3,89 | 8,92 | 1,66 |

Na Figura 6.9 e Figura 6.10 são apresentados respectivamente os histogramas e *box plot* por região climática.

Figura 6.9 – Histogramas por classificação climática – Dados históricos

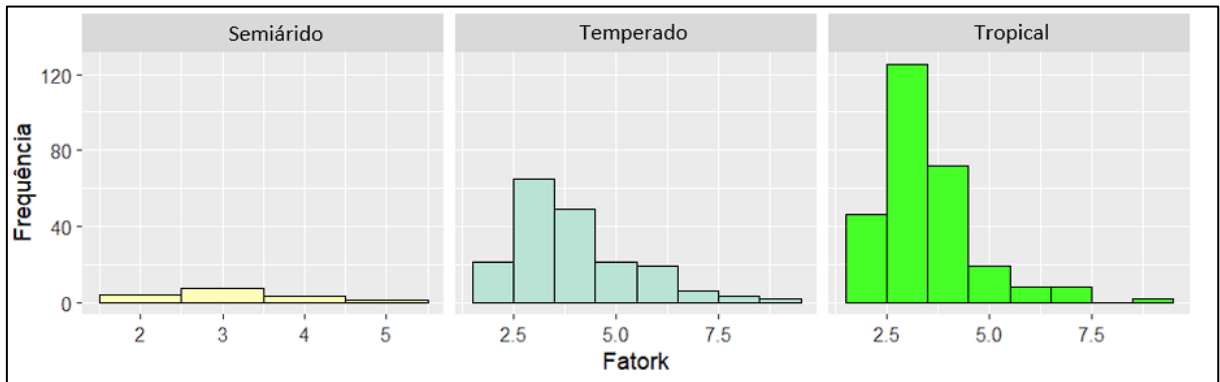
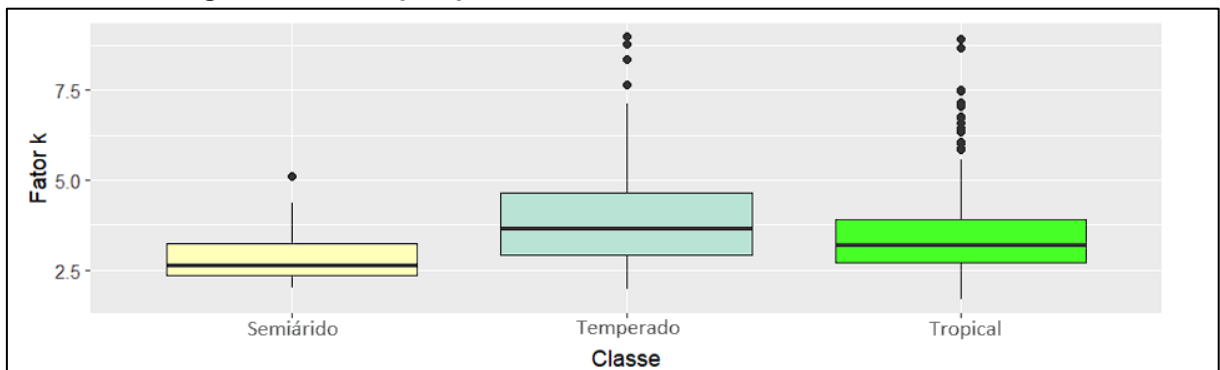


Figura 6.10 – Boxplot por classificação climática – Dados históricos



6.2.3 Envoltória dos fatores de frequência para séries históricas

A partir das estações pluviométricas selecionadas e de sua classificação climática, foram elaboradas envoltórias regionais dos fatores de frequência locais, seguindo a modificação da metodologia proposta por Sarkar e Maity (2020), que combina um patamar linear constante com um trecho de decaimento exponencial. Assim, da Figura 6.11 a Figura 6.14 são apresentadas as envoltórias obtidas para cada região climática e para o estado de Minas Gerais como um todo.

Figura 6.11 – Gráfico do fator K pela média – Minas Gerais – Dados históricos

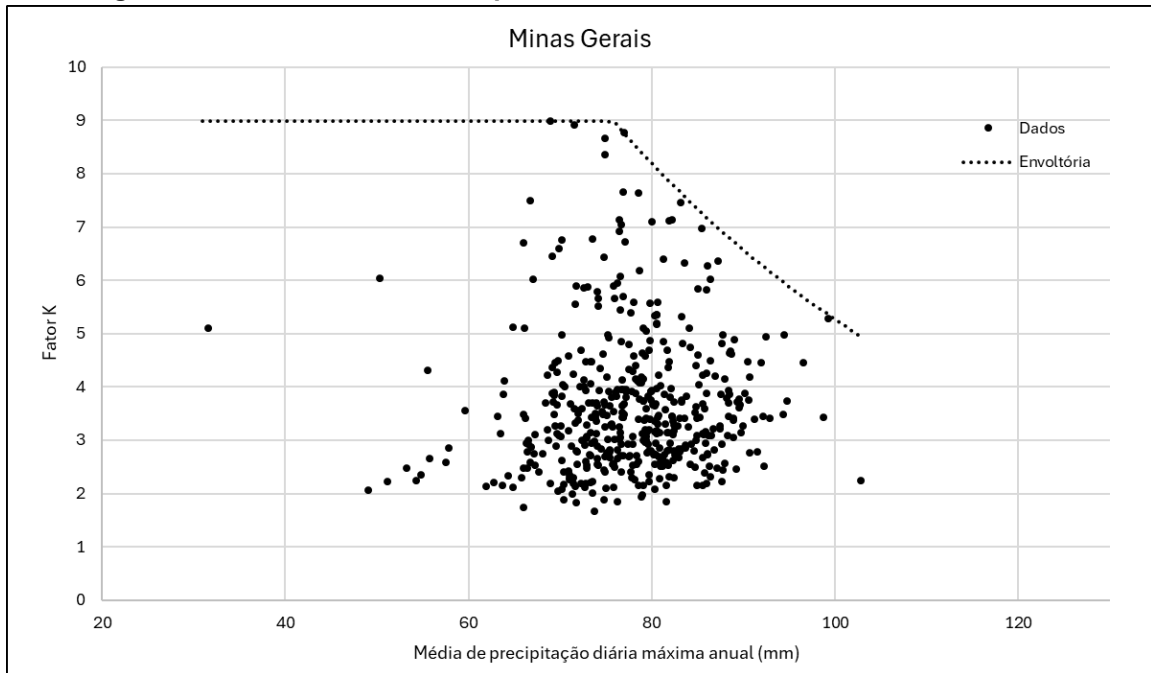


Figura 6.12 – Gráfico do fator K pela média – Clima Semiárido – Dados históricos

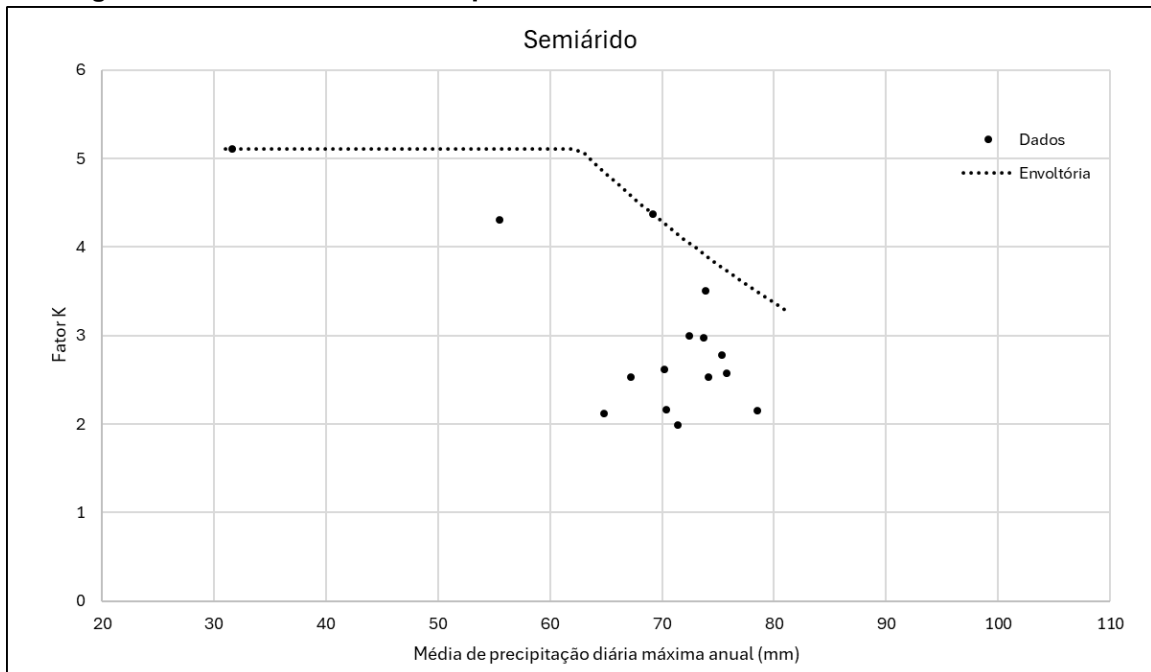


Figura 6.13 – Gráfico do fator K pela média – Clima Temperado – Dados históricos

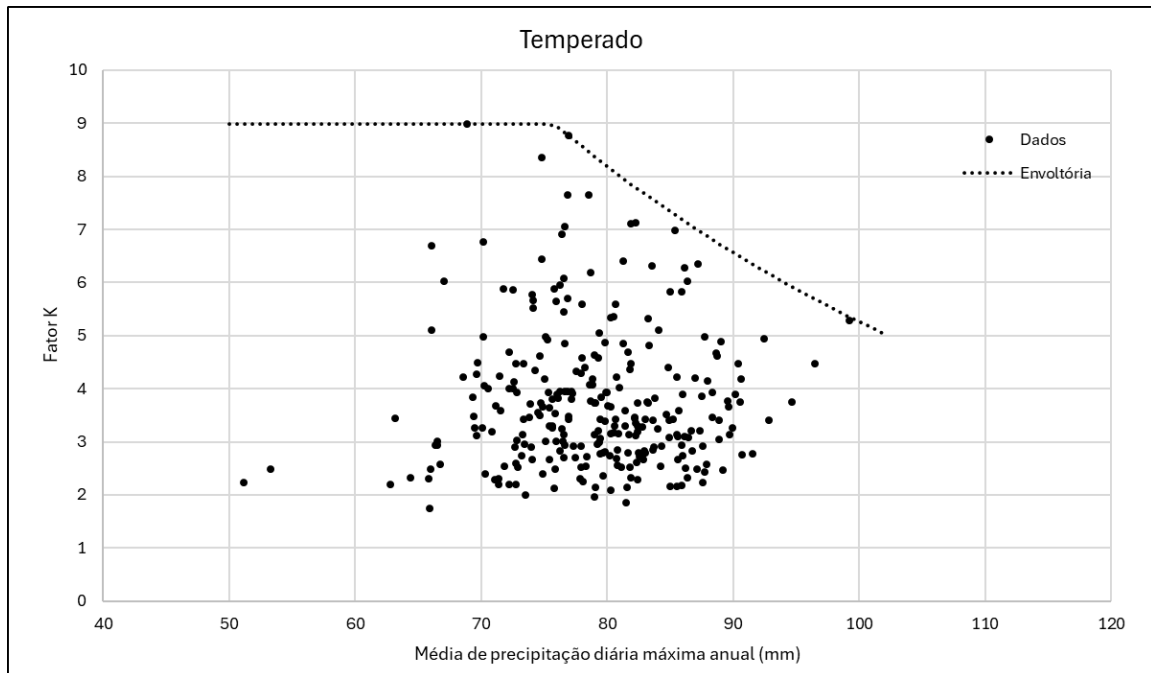
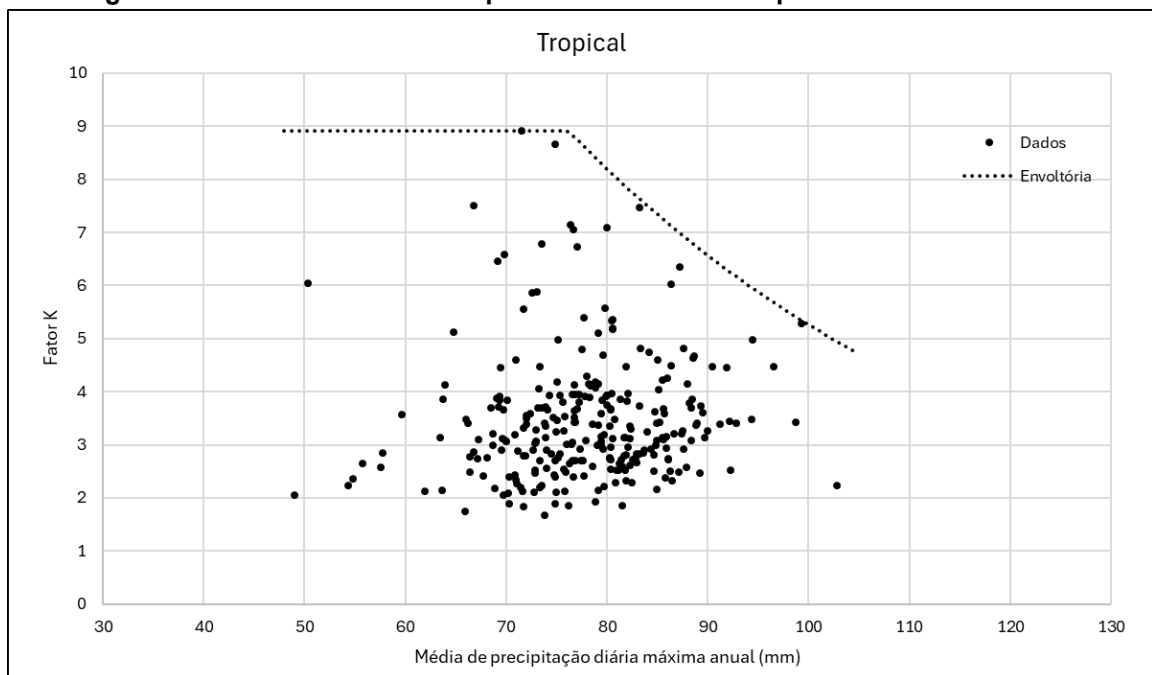


Figura 6.14 – Gráfico do fator K pela média – Clima Tropical – Dados históricos



A análise dos resultados obtidos revela variações significativas nos valores do fator K entre as diversas estações incluídas no estudo, classificadas por suas características climáticas. De modo geral, a maior parte das estações apresenta médias de precipitação máxima anual situadas entre 31 e 103 mm (Figura 6.11), enquanto o fator K varia de 1,68 a 8,98, evidenciando a heterogeneidade das condições pluviométricas na região.

No caso do clima semiárido, os fatores de frequência são mais baixos, com o valor máximo observado sendo de 5,11 e médias de precipitação máxima anual variando entre aproximadamente 31 e 78 mm (Figura 6.12). Além disso, o clima semiárido apresenta a menor média do fator K, que é de 2,98. É importante ressaltar que, devido à sua limitada extensão territorial, essa classificação climática abrange um número reduzido de estações analisadas.

Em contraste, o clima temperado apresenta o maior valor para o fator de frequência, que atinge 8,98, embora o clima tropical tenha um valor máximo muito próximo, de 8,92. A média do fator K para o clima temperado é de 3,97, a maior entre as três classificações climáticas, com médias de precipitação máxima anual variando entre 51 e 99 mm (Figura 6.13). Por outro lado, o clima tropical possui uma média do fator de frequência de 3,47, com médias de precipitação máxima anual variando de 49 a 103 mm (Figura 6.14). Este clima se destaca por ter o maior número de estações pluviométricas entre as classificações analisadas.

De forma geral, os resultados indicam que os fatores K têm menor magnitude nas áreas classificadas como semiáridas, enquanto os climas temperado e tropical apresentam resultados mais semelhantes, com o clima temperado ligeiramente superior ao tropical. Os histogramas dos fatores K para os climas temperado e tropical exibem uma distribuição assimétrica à direita, com coeficientes de assimetria de 1,11 e 1,66, respectivamente. Isso sugere uma maior frequência de valores entre 2,5 e 4,5, indicando que, embora a maioria das estações mostre valores moderados do fator K, existem valores mais elevados que ocorrem com menor frequência.

6.3 Resultados séries sintéticas

Esta seção apresenta os resultados do estudo para as séries sintéticas, abordando a seleção do modelo mais adequado para a geração de séries diárias de precipitação em Minas Gerais, além das simulações das séries e a seleção dos dados baseada nos percentis definidos. Inclui-se também a classificação climática dos dados e, finalmente, o traçado das curvas envoltórias, que são utilizadas para a estimativa da PMP.

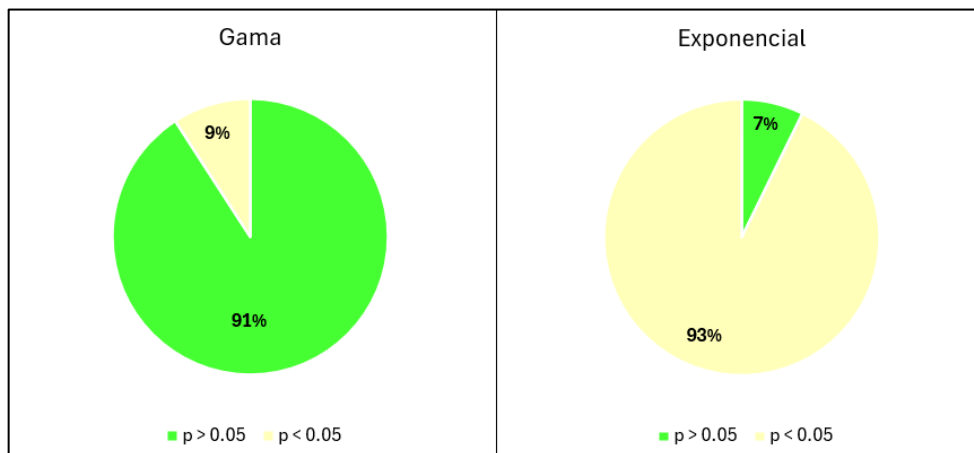
6.3.1 Seleção do modelo para geração de séries sintéticas

A obtenção dos fatores de frequência para os dados sintéticos começou com a escolha do modelo mais adequado para geração séries de precipitação nas estações pluviométricas analisadas. Conforme detalhado no item 5.3, foram avaliados dois modelos para a geração de séries de precipitação em escala diária em Minas Gerais.

O modelo bipartido utiliza uma cadeia de Markov de primeira ordem com dois estados para determinar a ocorrência de dias secos ou chuvosos, modelando os dias chuvosos por meio do ajuste de uma distribuição de probabilidades. Já o modelo híbrido emprega uma cadeia de Markov de primeira ordem com três estados: ausência de chuva, chuva moderada ($0 < P \leq P95\%$) e chuva extrema ($P > P95\%$). Para chuvas moderadas, aplicou-se o método de reamostragem *bootstrap* (abordagem não paramétrica), enquanto para chuvas extremas utiliza-se o ajuste de uma distribuição de probabilidades sem limite superior.

Neste contexto, inicialmente, foi necessário identificar a distribuição de probabilidades que melhor se ajustava aos dados históricos de precipitação do estado. Para isso, foram avaliadas as distribuições Exponencial e Gama, amplamente utilizadas na literatura por apresentarem bons resultados em estudos semelhantes. A aderência dessas distribuições aos dados foi verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (Naghettini e Pinto, 2007). A Figura 6.15 apresentada a seguir, ilustra os resultados do teste. Para a análise, foi adotado um nível de significância de 5%, determinando o critério para aceitação ou rejeição das hipóteses nulas

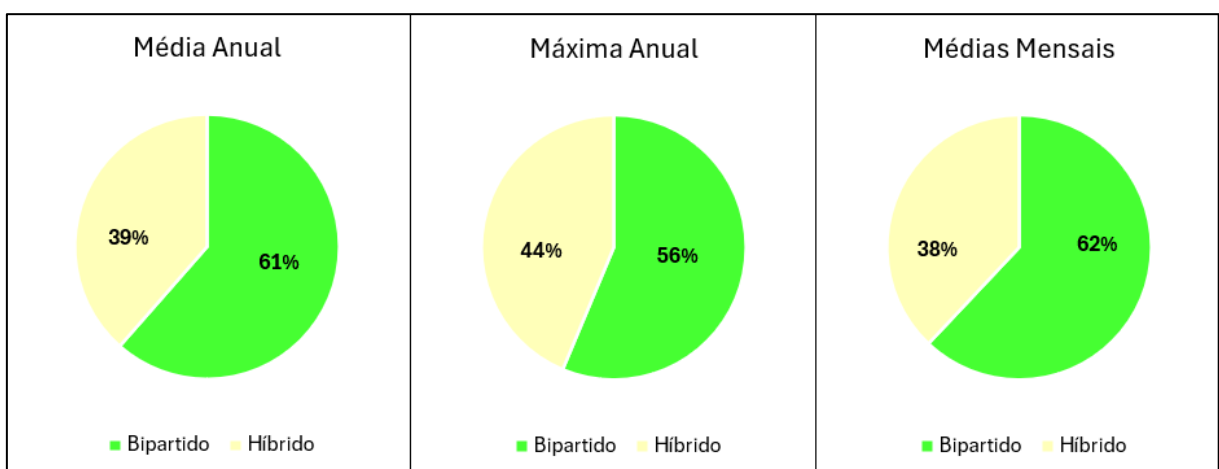
Figura 6.15 – Aderência das distribuições aos dados - Teste de Kolmogorov-Smirnov



Verificou-se que a distribuição de probabilidades Gama apresentou o melhor ajuste aos dados de precipitação diária em Minas Gerais, sendo, portanto, escolhida para a continuidade do estudo.

Em seguida, foram geradas séries sintéticas utilizando os modelos Bipartido e Híbrido, que foram comparadas aos dados históricos para determinar o modelo mais adequado. A avaliação considerou métricas como a média pluviométrica anual, a precipitação máxima anual em um único dia e as médias mensais, comparando os valores obtidos pelas séries sintéticas com os das séries históricas. A Figura 6.16 apresentada a seguir, ilustra as situações em que cada modelo apresentou maior proximidade com as estatísticas das séries históricas.

Figura 6.16 – Modelos de geração de séries diárias que melhor aderiram as estatísticas das séries históricas.



Através das métricas RMSE (Erro Quadrático Médio) e MAE (Erro Absoluto Médio), buscou-se corroborar com os resultados apresentados anteriormente, fornecendo

uma avaliação quantitativa do desempenho dos modelos utilizados na geração das séries de precipitação. A Tabela 6.4 apresenta-se os resultados obtidos.

Tabela 6.4 – Avaliação dos modelos – MAE e RMSE

| Métrica | MAE | | RMSE | |
|--------------------------|-----------|---------|-----------|---------|
| | Bipartido | Híbrido | Bipartido | Híbrido |
| Média Anual (mm) | 67,55 | 81,86 | 86,48 | 102,02 |
| Máxima Diária Anual (mm) | 30,54 | 33,98 | 46,55 | 45,57 |
| Média Mensal (mm) | 8,08 | 8,17 | 12,11 | 12,41 |

Por fim, o modelo bipartido foi escolhido para a continuidade dos estudos, devido ao seu melhor desempenho e menor esforço computacional na geração de séries, graças à sua menor complexidade algorítmica. Assim, as estações foram classificadas conforme sua classificação climática e, para cada uma, foram geradas 1.000 séries sintéticas de precipitação diária, com o mesmo comprimento da série histórica original.

6.3.1.1 Estacionariedade das séries

Conforme apresentado no item 5.1, a não estacionariedade em séries temporais de precipitação ocorre quando suas características estatísticas, como média, variância ou outros momentos, mudam ao longo do tempo. Essas variações podem ser influenciadas por fatores como mudanças climáticas.

Para avaliar a estacionariedade das séries de precipitação diária máxima por ano hidrológico, foi aplicado o teste KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin), baseado no conceito de raiz unitária. No teste KPSS, a hipótese nula considera que a série é estacionária em torno de uma tendência determinística, enquanto a hipótese alternativa sugere a presença de não estacionariedade.

Para a análise, foi adotado um nível de significância de 5%, determinando o critério para aceitação ou rejeição das hipóteses nulas. Os resultados obtidos para as séries são apresentados na Tabela 6.5, evidenciando o comportamento das séries em relação à estacionariedade.

Tabela 6.5 – Teste de estacionariedade – Series históricas

| TESTE | Nível de significância de 5% | |
|-------|------------------------------|----------|
| | P ≤ 0,05 | P > 0,05 |
| KPSS | 67 | 414 |

Observa-se que apenas 14% das séries históricas analisadas foram classificadas como não estacionárias pelo teste KPSS, considerando um nível de significância de 5%. Esse resultado indica que a grande maioria das séries apresenta comportamento estacionário, o que sugere a ausência de um fator de larga escala atuando de forma consistente sobre o estado que possa estar provocando tendências sistemáticas ou mudanças estruturais nas séries de precipitação ao longo do tempo.

Em seguida, foi realizada uma análise das séries sintéticas geradas pelos modelos, com o objetivo de identificar a presença de estacionariedade ou não estacionariedade nas séries geradas. Os resultados dessa avaliação estão apresentados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Teste de estacionariedade – Series sintéticas

| MODELO | TESTE | Nível de significância de 5% | |
|-----------|-------|------------------------------|----------|
| | | P ≤ 0,05 | P > 0,05 |
| Bipartido | KPSS | 17 | 464 |
| Híbrido | KPSS | 20 | 461 |

Os resultados indicam que ambos os modelos avaliados apresentam limitações significativas na captura de condições de não estacionariedade em séries temporais de precipitação, uma vez que assumem distribuições e parâmetros fixos ao longo do tempo, desconsiderando as variações nas características estatísticas que podem ocorrer devido a mudanças climáticas, padrões de precipitação ou outras alterações de longo prazo. Ambos os modelos também não conseguem capturar a dependência temporal variável, ou seja, as mudanças nas relações entre os dias consecutivos de precipitação ou entre as estações do ano. Isso ocorre porque ambos os modelos se baseiam em uma cadeia de Markov de primeira ordem, na qual a condição de precipitação de um dia depende apenas do dia anterior, sem considerar dinâmicas mais complexas que possam ocorrer ao longo do tempo.

Consequentemente, esses modelos não conseguem modelar explicitamente tendências de longo prazo, como o aumento ou diminuição da média anual de precipitação devido a mudanças climáticas. Além disso, assumem certa independência entre os anos ou períodos, o que limita a capacidade de refletir correlações temporais influenciadas por fenômenos climáticos de longo prazo.

A utilização de uma cadeia de Markov de primeira ordem em conjunto com distribuições e parâmetros fixos ao longo do tempo nos modelos avaliados foi uma

escolha metodológica com o objetivo de simplificar a modelagem da precipitação, especialmente considerando a grande base de dados de diversas estações utilizada neste estudo. No entanto, reconhece-se que essa abordagem apresenta limitações para capturar a não estacionariedade das séries temporais de precipitação. Optou-se, contudo, por dar continuidade ao estudo com esse método, uma vez que 86% das séries históricas analisadas foram consideradas estacionárias pelo teste. Ainda assim, vislumbra-se que, para estudos futuros, seja necessária a concepção de modelos mais complexos que possam reproduzir de forma mais adequada as características dinâmicas e não estacionárias dessas séries.

6.3.2 Dados sintéticos contexto estadual

De forma similar ao apresentado no item 6.2.1, com base nas estações selecionadas no item 5.1, para analisar os resultados de forma geral para o estado de Minas Gerais, foram determinados os fatores de frequência para cada estação, com os resultados apresentados nos Apêndice C para o percentil 95% e Apêndice D para o percentil 99%.

6.3.2.1 Percentil 95%

Após a geração das 1.000 séries sintéticas para cada estação pluviométrica, foi selecionado o fator K da estação com base no percentil 95%, que representa o valor abaixo do qual 95% dos dados estão situados, indicando que apenas 5% são superiores. No contexto dos fatores de frequência, isso corresponde a fatores com 5% de chance de serem excedidos, caracterizando eventos raros com baixa probabilidade de ocorrência.

Para resumir os dados, foram calculadas as principais estatísticas descritivas, conforme mostrado na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K obtido pelos dados sintéticos - Minas Gerais – P95

| Dados | n | Mínimo | P25% | Média | Mediana | Desvio padrão | Coef. Variação | P75% | Máximo | Coef. Assimetria |
|--------------|-----|--------|------|-------|---------|---------------|----------------|------|--------|------------------|
| Minas Gerais | 481 | 4,16 | 5,70 | 6,42 | 6,12 | 1,19 | 0,19 | 6,89 | 14,04 | 1,97 |

Com o objetivo de identificar a distribuição espacial dos fatores K na área de estudo, foi aplicada a interpolação utilizando o método do Inverso da Distância Ponderado (IDW). A Figura 6.17 apresenta o mapa resultante, que mostra a variação dos fatores

K em todo o estado. A Figura 6.18 e a Figura 6.19 apresentam, respectivamente, o histograma e o *box plot* dos dados.

Figura 6.17 – Distribuição do Fator K em Minas Gerais – Séries Sintéticas P95

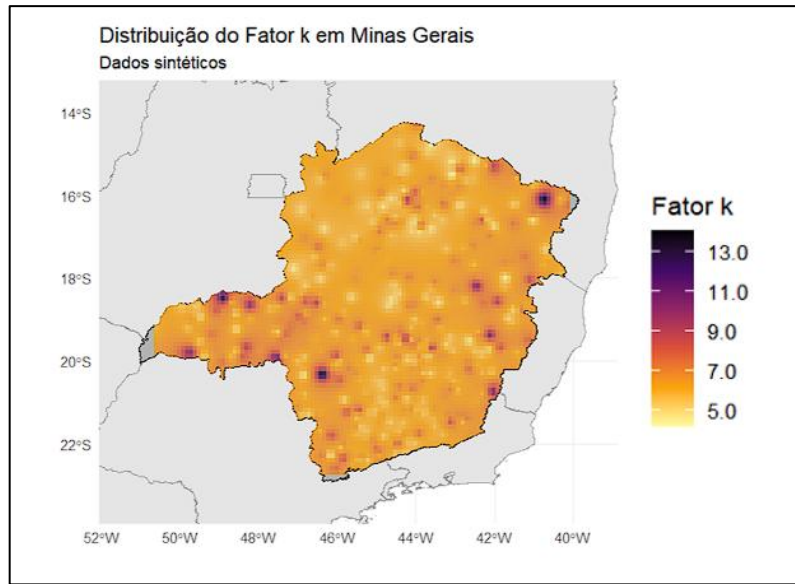


Figura 6.18 – Histograma do fator K para Minas Gerais – Séries Sintéticas P95

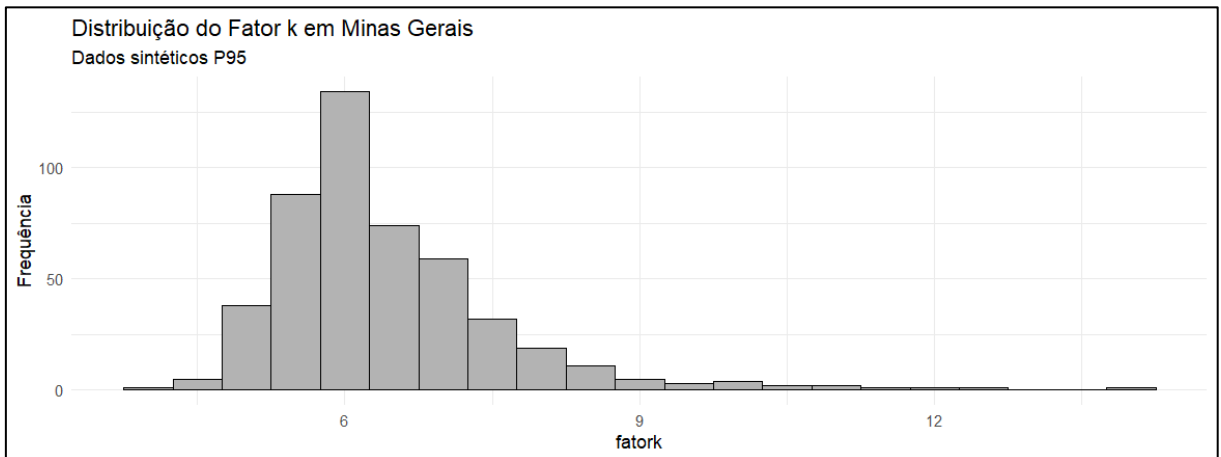
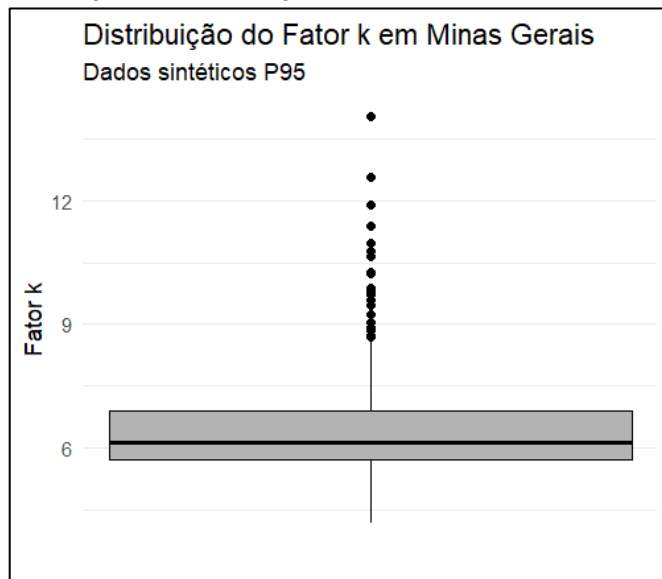


Figura 6.19 – Boxplot do fator K para Minas Gerais – Séries Sintéticas P95



A análise dos fatores de frequência baseados no percentil 95% dos dados históricos para Minas Gerais também foi realizada, utilizando a mesma amostra de 481 estações pluviométricas. Os valores do fator K variaram de 4,16 a 14,04, indicando uma maior amplitude em comparação com os dados históricos. O primeiro quartil (P25%) foi 5,70, enquanto o terceiro quartil (P75%) alcançou 6,89, mostrando que metade das estações possui valores de fatores K entre esses limites. A média dos valores foi de 6,42, valor este um pouco maior que a mediana de 6,12, sugerindo uma assimetria positiva. O desvio-padrão de 1,19 reflete uma dispersão moderada, enquanto o coeficiente de variação de 0,19 aponta para uma menor variabilidade relativa em relação à média, quando comparado aos dados históricos.

Os gráficos do histograma e do *box plot* confirmam essas observações. O histograma evidencia que a maior concentração de valores está entre 5,5 e 7,0, com uma frequência decrescente para valores superiores. Já o *box plot* reforça a concentração dos valores centrais, destacando a presença de outliers que ultrapassam 9,0, indicando fatores K extremos associados a algumas estações específicas. O coeficiente de assimetria de 1,97 confirma a assimetria positiva mais acentuada nessa análise, refletindo uma cauda mais longa para os valores mais altos.

6.3.2.2 Percentil 99%

De forma complementar, o fator K da estação foi selecionado com base no percentil 99, que representa o valor abaixo do qual 99% dos dados se encontram, indicando que apenas 1% é superior. No contexto dos fatores de frequência, esse percentil corresponde a fatores com 1% de chance de serem excedidos, caracterizando eventos ainda mais raros e com menor probabilidade de ocorrência em comparação aos descritos no item 6.3.2.1.

Para resumir os dados, foram calculadas as principais estatísticas descritivas, conforme mostrado na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K obtido pelos dados sintéticos - Minas Gerais – P99

| Dados | n | Mínimo | P25% | Média | Mediana | Desvio padrão | Coef. Variação | P75% | Máximo | Coef. Assimetria |
|--------------|-----|--------|------|-------|---------|---------------|----------------|------|--------|------------------|
| Minas Gerais | 481 | 4,95 | 6,76 | 7,71 | 7,49 | 1,38 | 0,18 | 8,36 | 14,62 | 1,25 |

Com o objetivo de identificar a distribuição espacial dos fatores K na área de estudo, foi aplicada a interpolação utilizando o método do IDW. A Figura 6.20 apresenta o mapa resultante, que mostra a variação dos fatores K em todo o estado. A Figura 6.21 e a Figura 6.22 apresentam, respectivamente, o histograma e o box plot dos dados.

Figura 6.20 – Distribuição do Fator K em Minas Gerais – Séries Sintéticas P99

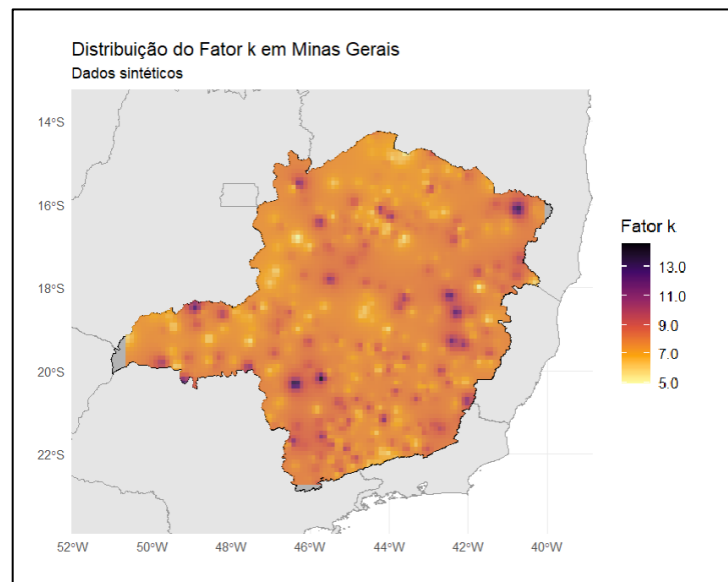


Figura 6.21 – Histograma do fator K para Minas Gerais – Séries Sintéticas P99

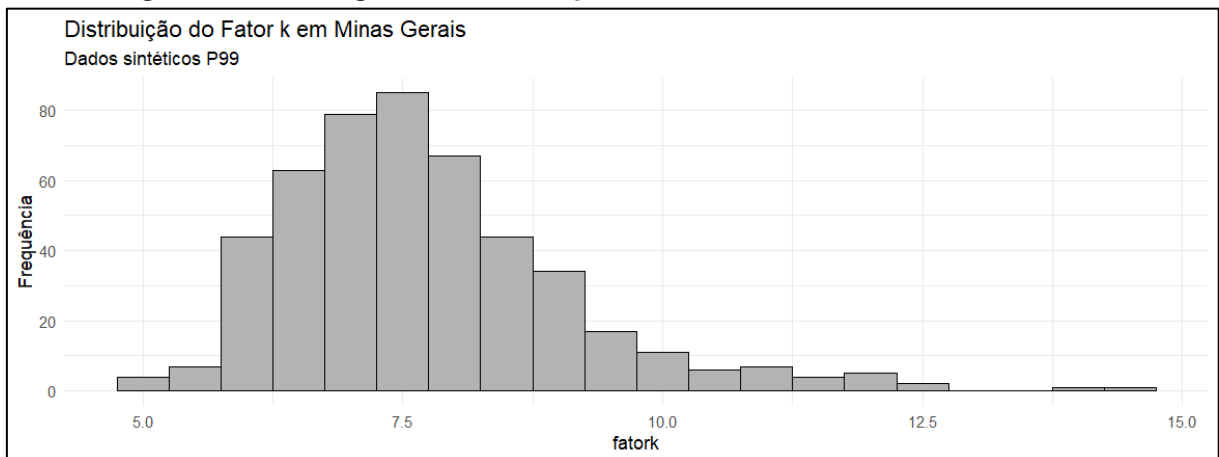
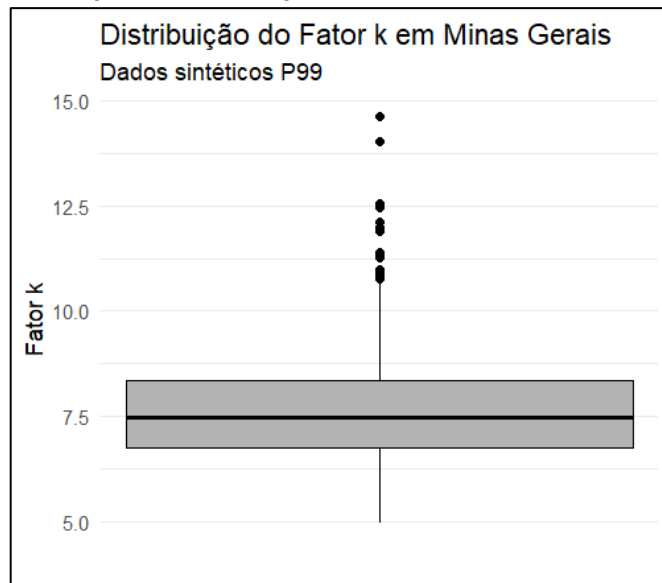


Figura 6.22 – Boxplot do fator K para Minas Gerais – Séries Sintéticas P99



A análise dos fatores de frequência para o percentil 99% dos dados sintéticos de Minas Gerais foi realizada com a amostra de 481 estações pluviométricas. Os fatores K apresentaram uma amplitude de 4,95 a 14,62, evidenciando valores mais altos em relação aos dados gerais e ao percentil 95%. Os valores do primeiro quartil (P25%) e do terceiro quartil (P75%) foram 6,76 e 8,36, respectivamente, indicando que metade das estações possui fatores K concentrados nessa faixa. A média foi calculada em 7,71, pouco maior que a mediana de 7,49, sugerindo uma assimetria positiva. O desvio-padrão de 1,38 apontou uma dispersão moderada, enquanto o coeficiente de variação de 0,18 revelou uma variabilidade relativa menor em relação à média quando comparado aos dados históricos.

Os gráficos histograma e *box plot* gerados corroboram essas tendências. O histograma mostra que a maioria dos valores está concentrada entre 6,0 e 8,5, com uma redução gradual nas frequências para valores mais altos. O *box plot* destaca a presença de outliers que ultrapassam a marca de 10,0, evidenciando fatores K excepcionais em algumas estações específicas. O coeficiente de assimetria, calculado em 1,25, confirma uma assimetria positiva, caracterizada por uma cauda mais longa em direção aos valores mais elevados.

6.3.2.3 Comparativo entre dados históricos e sintéticos

A Tabela 6.9 apresenta uma comparação entre as principais estatísticas descritivas obtidas a partir dos dados históricos e dos dados sintéticos para o estado de Minas Gerais.

Tabela 6.9 – Comparativo entre resultados históricos e sintéticos – Minas Gerais

| Dados | Mínimo | Média | Máximo |
|------------|--------|-------|--------|
| Históricos | 1,68 | 3,65 | 8,98 |
| P95 | 4,16 | 6,42 | 14,04 |
| P99 | 4,95 | 7,71 | 14,62 |

Observa-se que os dados sintéticos, por serem baseados em percentis elevados, resultam em valores significativamente superiores em relação aos dados históricos em todas as estatísticas descritivas. O valor mínimo, por exemplo, passa de 1,68 nos dados históricos para 4,16 e 4,95 nos cenários P95 e P99, respectivamente. A média também apresenta um aumento considerável, de 3,65 (históricos) para 6,42 (P95) e 7,71 (P99). Da mesma forma, o valor máximo cresce de 8,98 nos dados históricos para 14,04 (P95) e 14,62 (P99). Esses resultados indicam que os dados sintéticos gerados com base nos percentis 95% e 99% representam cenários mais extremos.

6.3.3 Classificação climática dos dados sintéticos

De forma similar ao apresentado no item 6.2.2, com base nas estações selecionadas no item 6.1, realizou-se sua classificação climática conforme o sistema de Köppen-Geiger, apresentado na Figura 5.2.

6.3.3.1 Percentil 95%

Assim como no item 6.3.2.1 esse item baseou-se na geração das 1.000 séries sintéticas para cada estação pluviométrica e a posterior seleção do fator K da estação com base no percentil 95%. A Tabela 6.10 apresenta as estatísticas descritivas obtidas para cada uma das regiões climáticas analisadas.

Tabela 6.10 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K por região climática - Dados sintéticos P95

| Class. Climática | n | Mínimo | P25% | Média | Mediana | Desvio padrão | Coef, Variação | P75% | Máximo | Coef, Assimetria |
|------------------|-----|--------|------|-------|---------|---------------|----------------|------|--------|------------------|
| Semiárido | 15 | 4,76 | 5,80 | 6,50 | 5,96 | 1,27 | 0,20 | 7,65 | 8,68 | 0,44 |
| Temperado | 186 | 4,31 | 5,74 | 6,42 | 6,15 | 1,06 | 0,16 | 6,89 | 10,98 | 1,37 |
| Tropical | 280 | 4,16 | 5,67 | 6,42 | 6,11 | 1,28 | 0,20 | 6,87 | 14,04 | 2,24 |

Na Figura 6.23 e Figura 6.24 são apresentados respectivamente os histogramas e *box plot* por região climática.

Figura 6.23 – Histogramas do fator K por classificação climática – Dados sintéticos P95

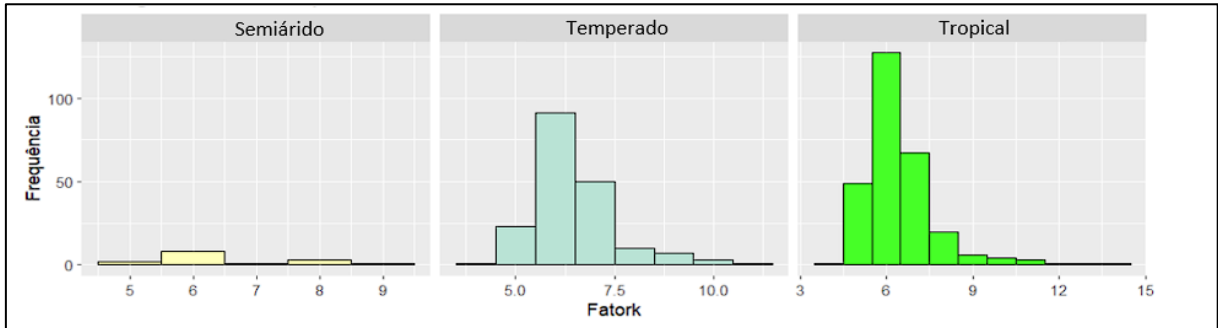
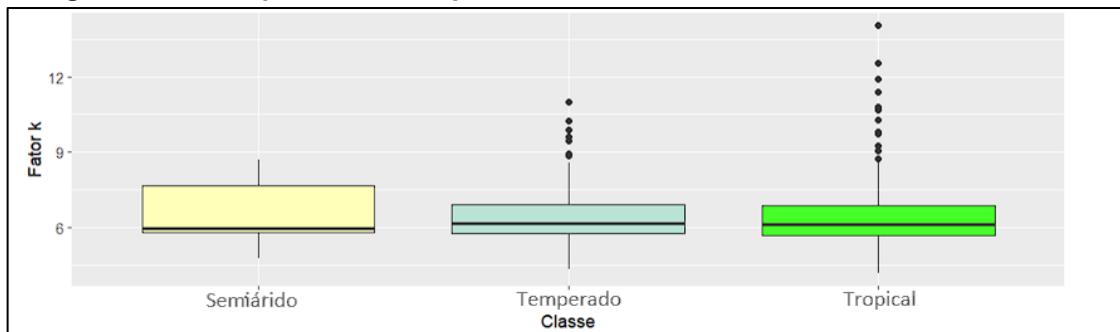


Figura 6.24 – Boxplot do fator K por classificação climática – Dados sintéticos P95



6.3.3.2 Percentil 99%

De forma complementar, o fator K da estação foi também selecionado com base no percentil 99, de maneira similar ao item 6.3.2.2. A Tabela 6.10 apresenta as estatísticas descritivas obtidas para cada uma das regiões climáticas analisadas.

Tabela 6.11 – Estatísticas descritivas estimadas com fator K por região climática - Dados sintéticos P99

| Class. Climática | n | Mínimo | P25% | Média | Mediana | Desvio padrão | Coef, Variação | P75% | Máximo | Coef, Assimetria |
|------------------|-----|--------|------|-------|---------|---------------|----------------|------|--------|------------------|
| Semiárido | 15 | 6,03 | 6,73 | 7,47 | 7,35 | 0,93 | 0,12 | 8,25 | 8,85 | 0,08 |
| Temperado | 186 | 4,95 | 6,87 | 7,82 | 7,62 | 1,37 | 0,18 | 8,66 | 12,47 | 0,71 |
| Tropical | 280 | 5,15 | 6,71 | 7,64 | 7,42 | 1,40 | 0,18 | 8,14 | 14,62 | 1,60 |

Na Figura 6.25 e Figura 6.26 são apresentados respectivamente os histogramas e *box plot* por região climática.

Figura 6.25 – Histogramas do fator K por classificação climática – Dados sintéticos P99

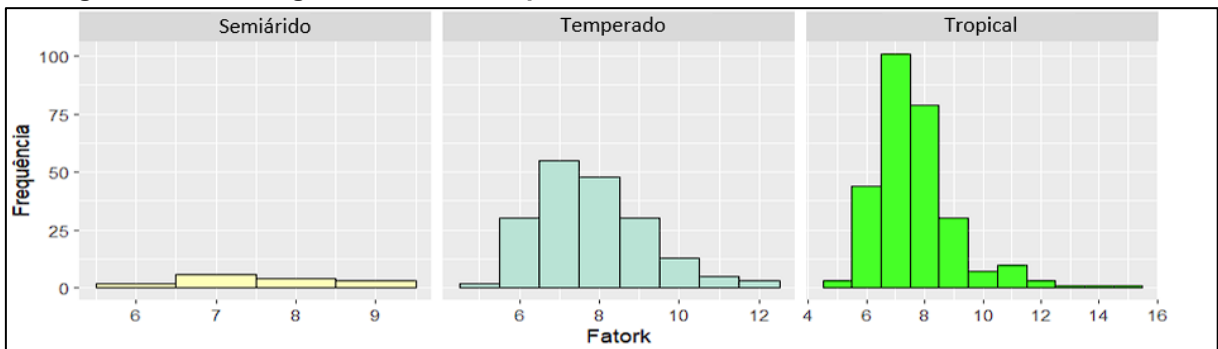
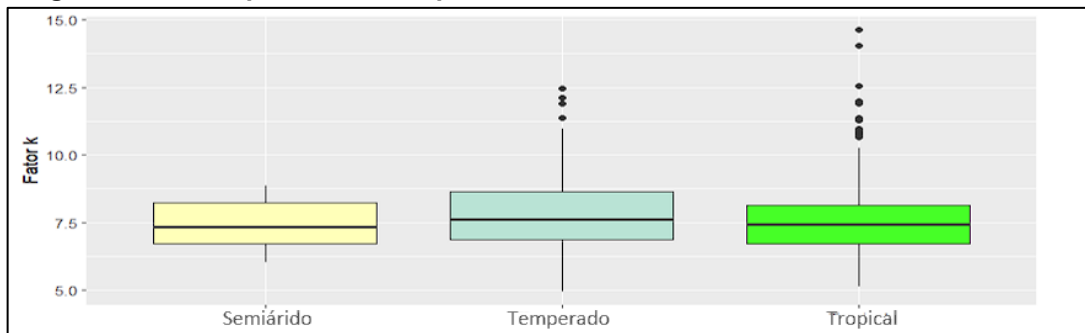


Figura 6.26 – Boxplot do fator K por classificação climática – Dados sintéticos P99



6.3.3.3 Comparativo entre dados históricos e sintéticos por classificação climática

A Tabela 6.12 apresenta uma comparação entre as principais estatísticas descritivas obtidas a partir dos dados históricos e dos dados sintéticos por classificação climática.

Tabela 6.12 – Comparativo entre resultados históricos e sintéticos – Classificação climática

| Classificação | Dados | Mínimo | Média | Máximo |
|---------------|------------|--------|-------|--------|
| Semiárido | Históricos | 1,99 | 2,98 | 5,11 |
| | P95 | 4,76 | 6,50 | 8,68 |
| | P99 | 6,03 | 7,47 | 8,85 |
| Temperado | Históricos | 1,97 | 3,97 | 8,98 |
| | P95 | 4,31 | 6,42 | 10,98 |
| | P99 | 4,95 | 7,82 | 12,47 |
| Tropical | Históricos | 1,68 | 3,47 | 8,92 |
| | P95 | 4,16 | 6,42 | 14,04 |
| | P99 | 5,15 | 7,64 | 14,62 |

Observa-se, de forma consistente entre os três tipos climáticos (semiárido, temperado e tropical), que os dados sintéticos apresentam valores superiores aos históricos, refletindo cenários mais extremos.

Para a classificação semiárido, a média dos dados históricos é de 2,98, aumentando para 6,50 (P95) e 7,47 (P99). O mesmo comportamento é verificado nos valores

mínimo (de 1,99 para 6,03) e máximo (de 5,11 para 8,85). No clima temperado, a média histórica é de 3,97, enquanto os cenários P95 e P99 apresentam médias de 6,42 e 7,82, respectivamente, com máximos chegando a 12,47. Já no clima tropical, os valores médios aumentam de 3,47 (históricos) para 6,42 (P95) e 7,64 (P99), e os máximos vão de 8,92 para até 14,62. Esses resultados reforçam a tendência de que a adoção dos fatores K baseados nos percentis 95% e 99% geram resultados mais extremos.

6.3.4 Envoltória dos fatores de frequência para séries sintéticas

A seguir, são apresentadas as curvas envoltórias dos fatores K selecionados com base nos percentis associados a probabilidade de excedência de 5% e 1%.

6.3.4.1 Percentil 95%

Da Figura 6.27 à Figura 6.30 são apresentadas as curvas envoltórias por região climática e para todo o estado de Minas Gerais, considerando a seleção do fator K com base no percentil de 95%, que corresponde a uma probabilidade de excedência de 5%.

Figura 6.27 – Gráfico do fator K pela média – Minas Gerais – Dados sintéticos P95

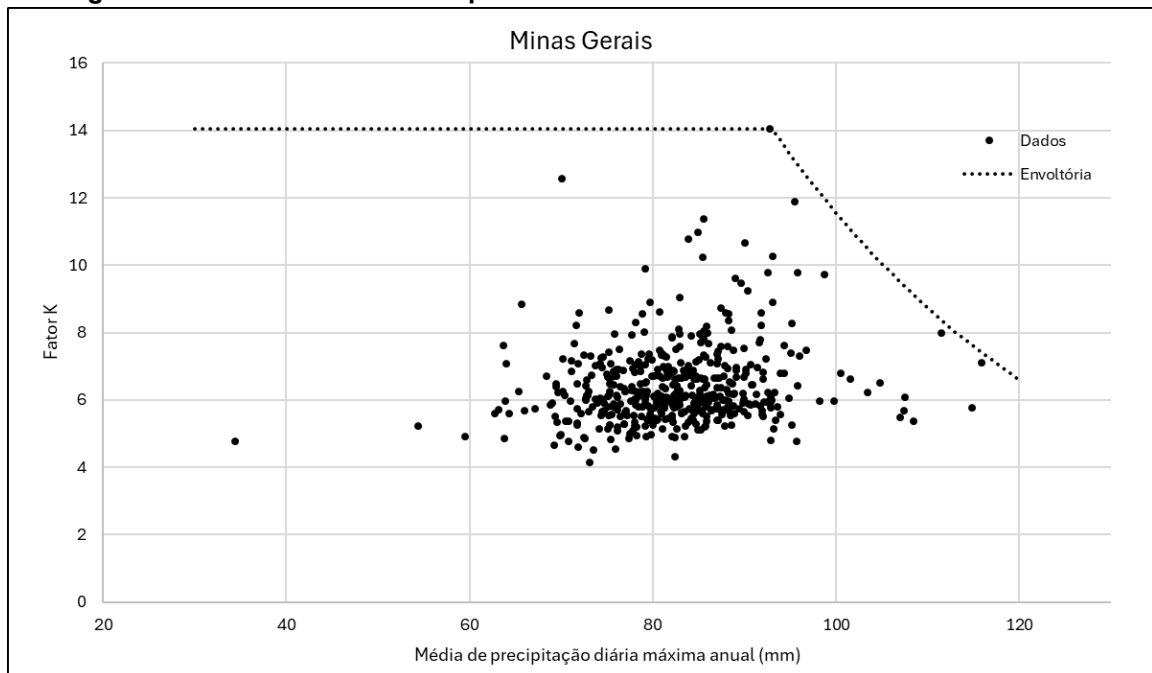


Figura 6.28 – Gráfico do fator K pela média – Clima Semiárido – Dados Sintéticos P95

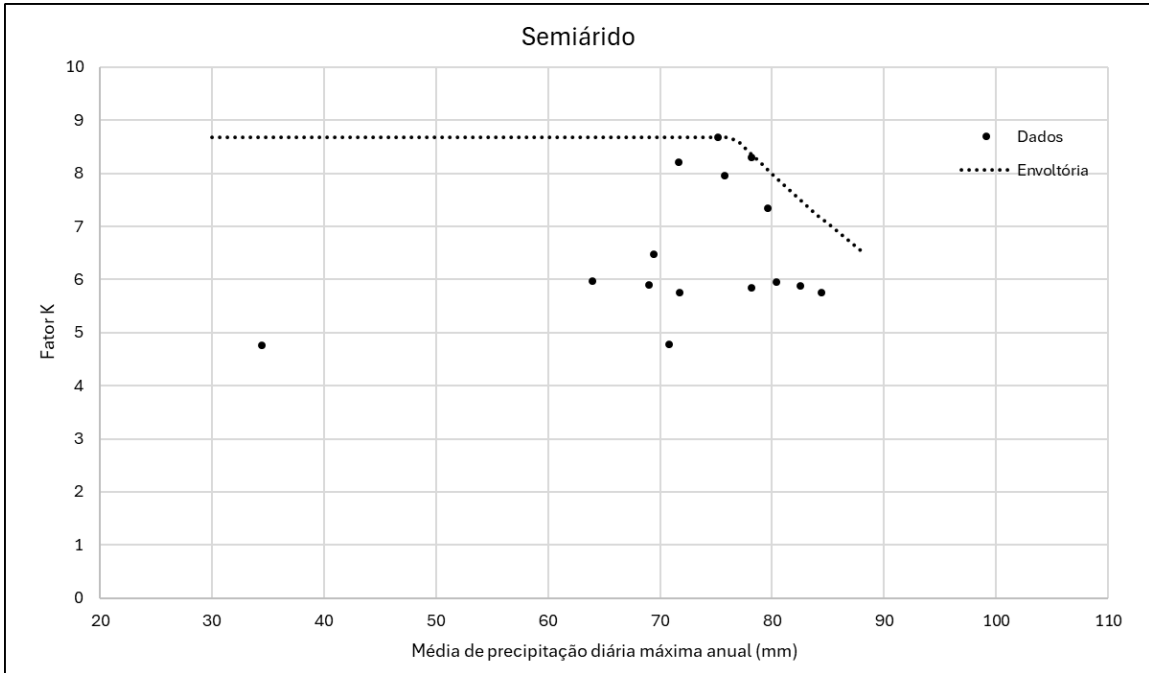


Figura 6.29 – Gráfico do fator K pela média – Clima Temperado – Dados Sintéticos P95

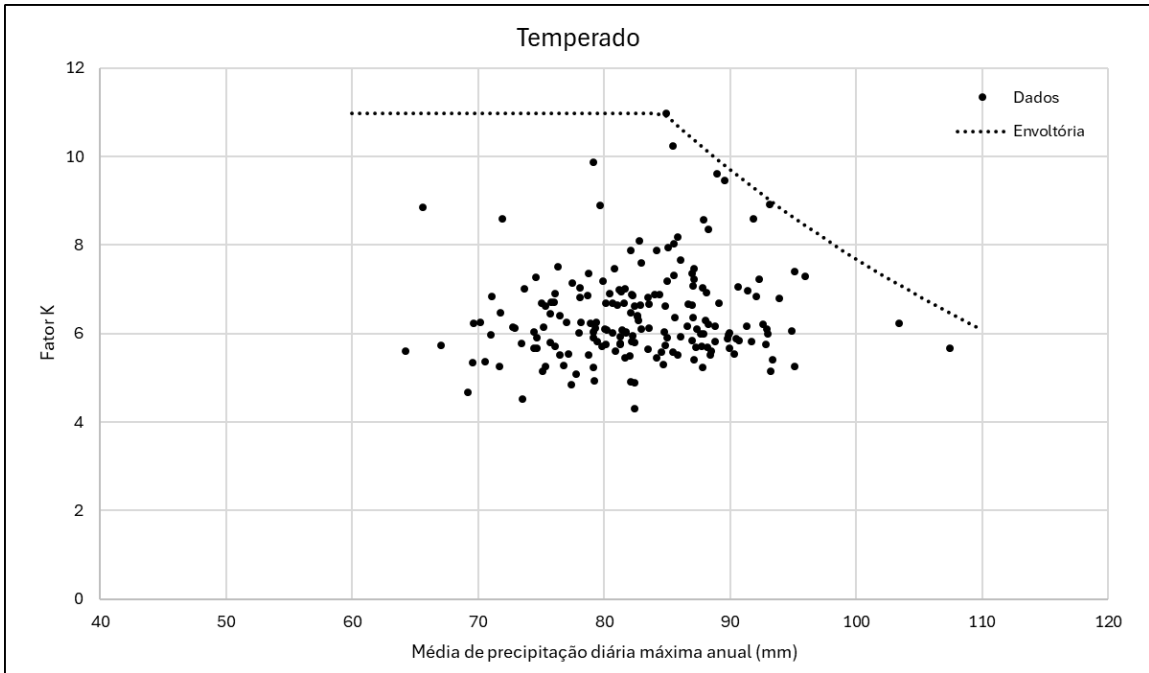
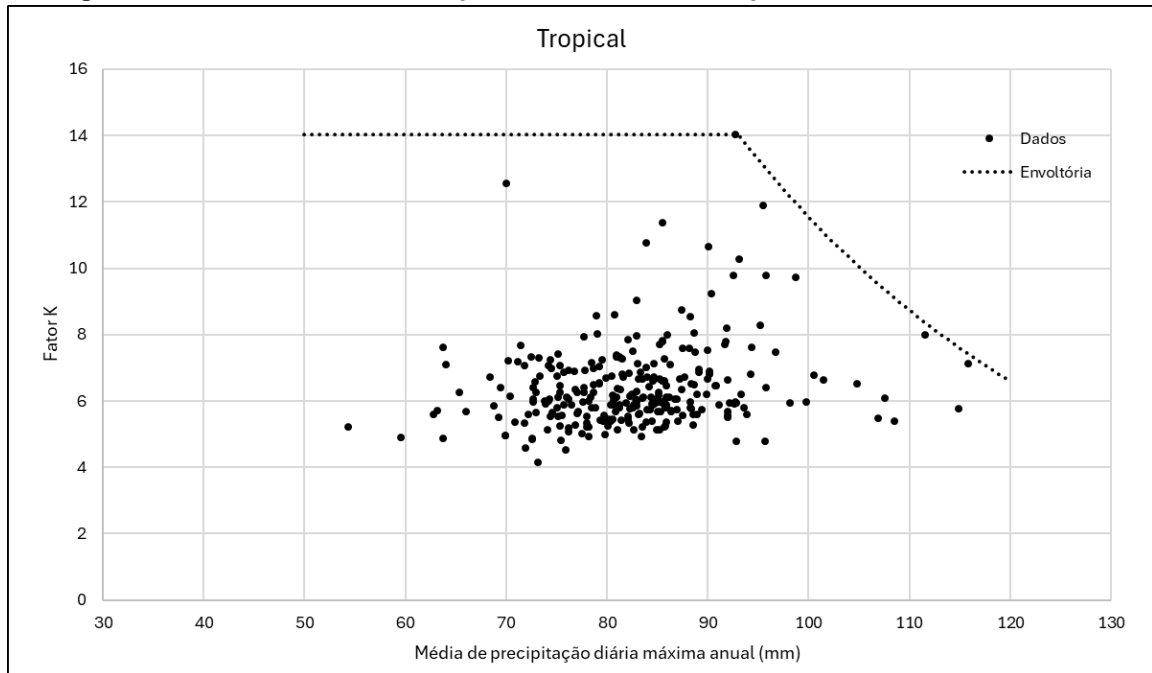


Figura 6.30 – Gráfico do fator K pela média – Clima Tropical – Dados sintéticos P95



Os resultados das séries sintéticas, com seleção do fator K de cada estação com base no percentil 95%, mostram um aumento nos valores máximos de K e nas médias das máximas diárias anuais em comparação com as séries históricas. No clima semiárido, os fatores de frequência ainda são os mais baixos, com um máximo de 8,68 e médias de precipitação diária máxima por ano hidrológico entre 34 e 84 mm. Apesar disso, o menor valor de K no clima semiárido é superior ao das outras classificações climáticas, possivelmente devido ao número limitado de estações nessa categoria.

O clima tropical registra o maior valor para o fator de frequência, chegando a 14,04. No entanto, a média do fator K nesse clima é de 6,42, mesma do clima temperado. As médias de precipitação diária máxima por ano hidrológico no clima tropical variam entre 54 e 115 mm. Já no clima temperado, o fator K pode atingir até 10,97, enquanto as médias de precipitação diária máxima por ano hidrológico ficam entre 64 e 107 mm.

Os histogramas dos fatores K para os climas temperado e tropical mostram uma distribuição assimétrica à direita, com coeficientes de assimetria de 1,37 e 2,24, respectivamente. Já os dados do clima semiárido indicam uma distribuição mais próxima da simetria.

6.3.4.2 Percentil 99%

Da Figura 6.31 a Figura 6.34 são apresentadas as curvas envoltórias por região climática e para todo o estado de Minas Gerais, considerando a seleção do fator K com base no percentil de 99%, que corresponde a uma probabilidade de excedência de 1%.

Figura 6.31 – Gráfico do fator K pela média – Minas Gerais – Dados sintéticos P99

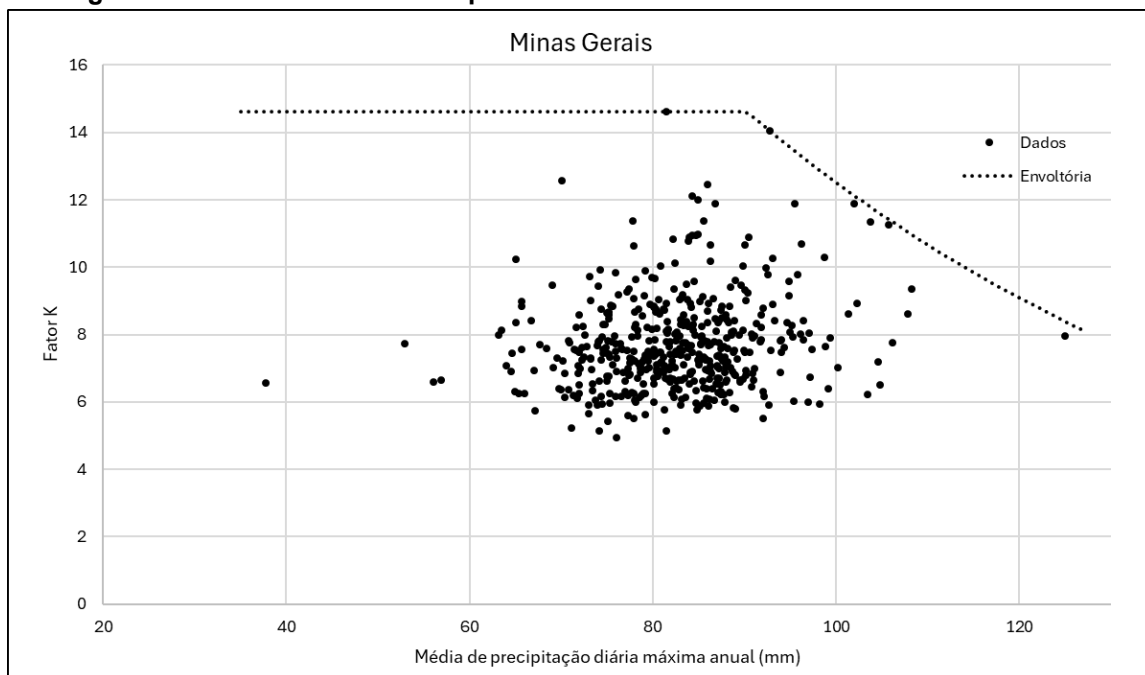


Figura 6.32 – Gráfico do fator K pela média – Clima Semiárido – Dados Sintéticos P99

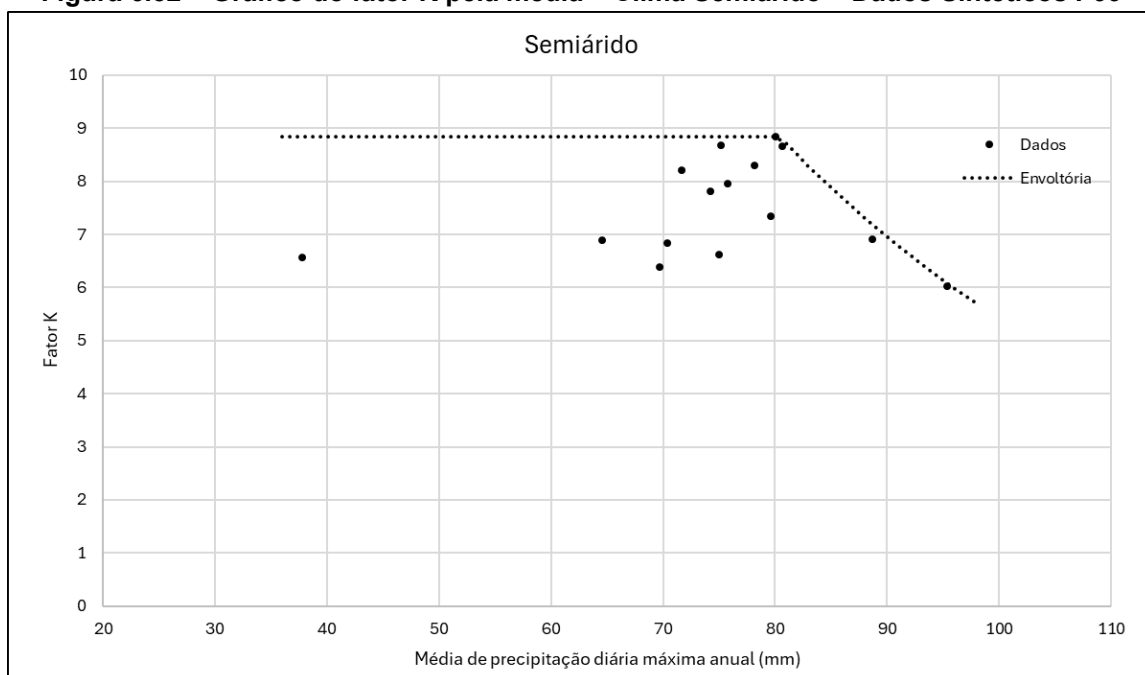


Figura 6.33 – Gráfico do fator K pela média – Clima Temperado – Dados Sintéticos P99

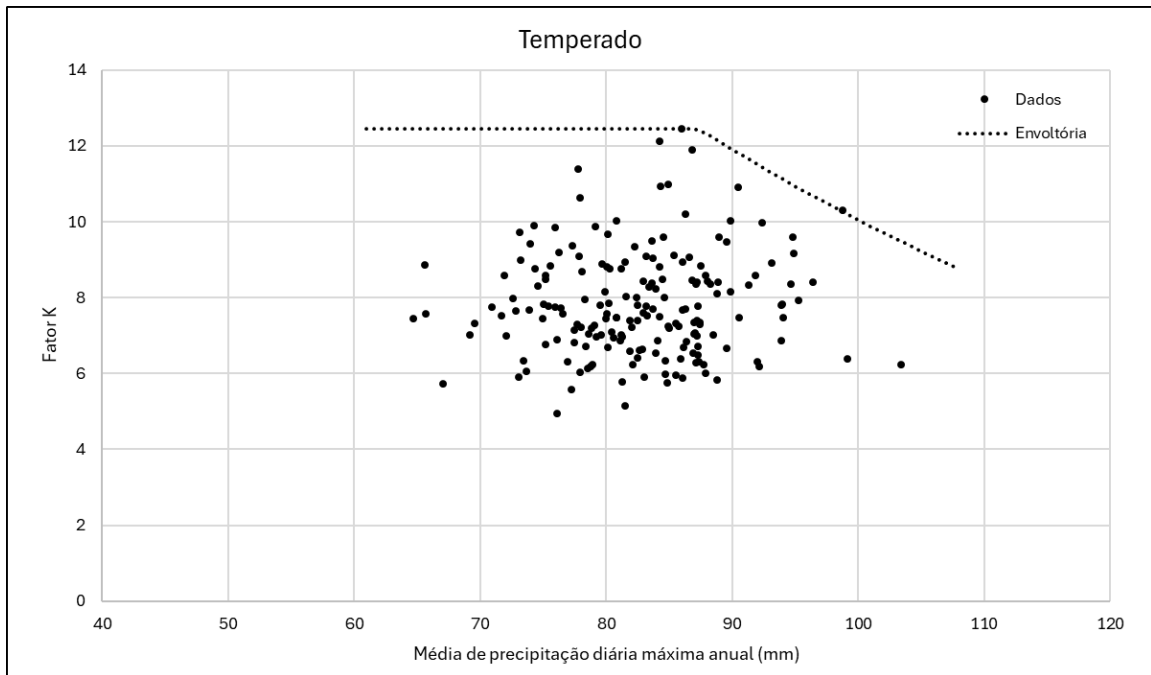
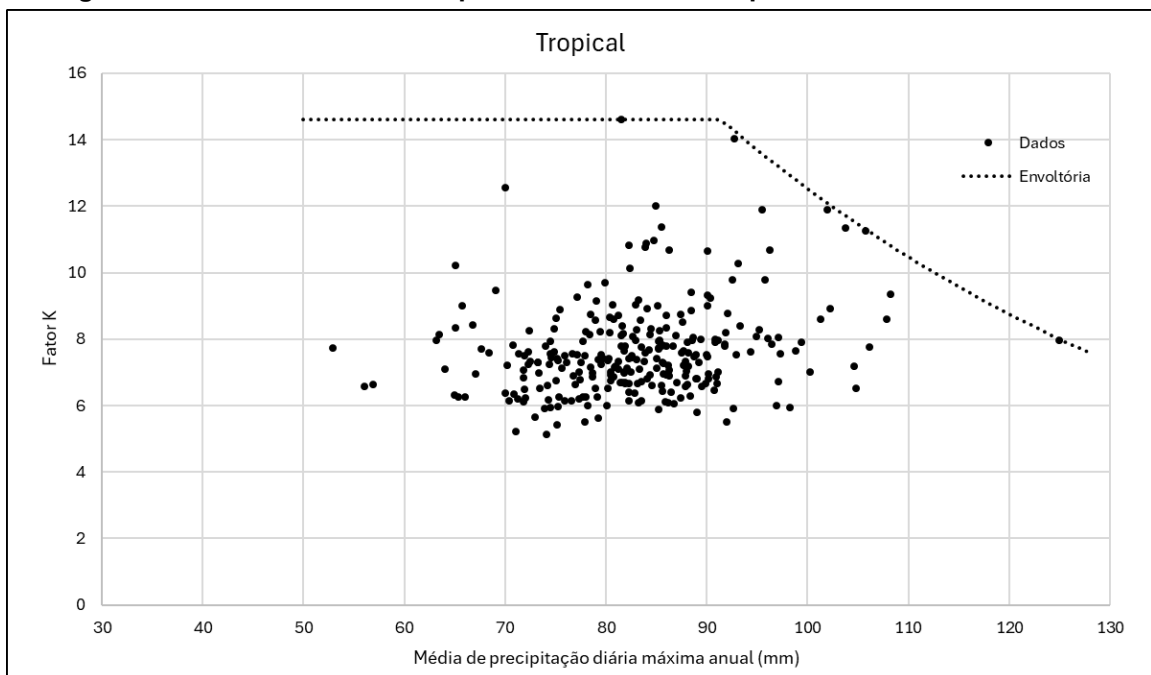


Figura 6.34 – Gráfico do fator K pela média – Clima Tropical – Dados sintéticos P99



Os resultados das séries sintéticas com seleção no percentil 99% mostram, como esperado, um aumento nos valores máximos do fator de frequência e nas médias das máximas diárias anuais em comparação às séries históricas e aos dados selecionados com base no percentil 95%.

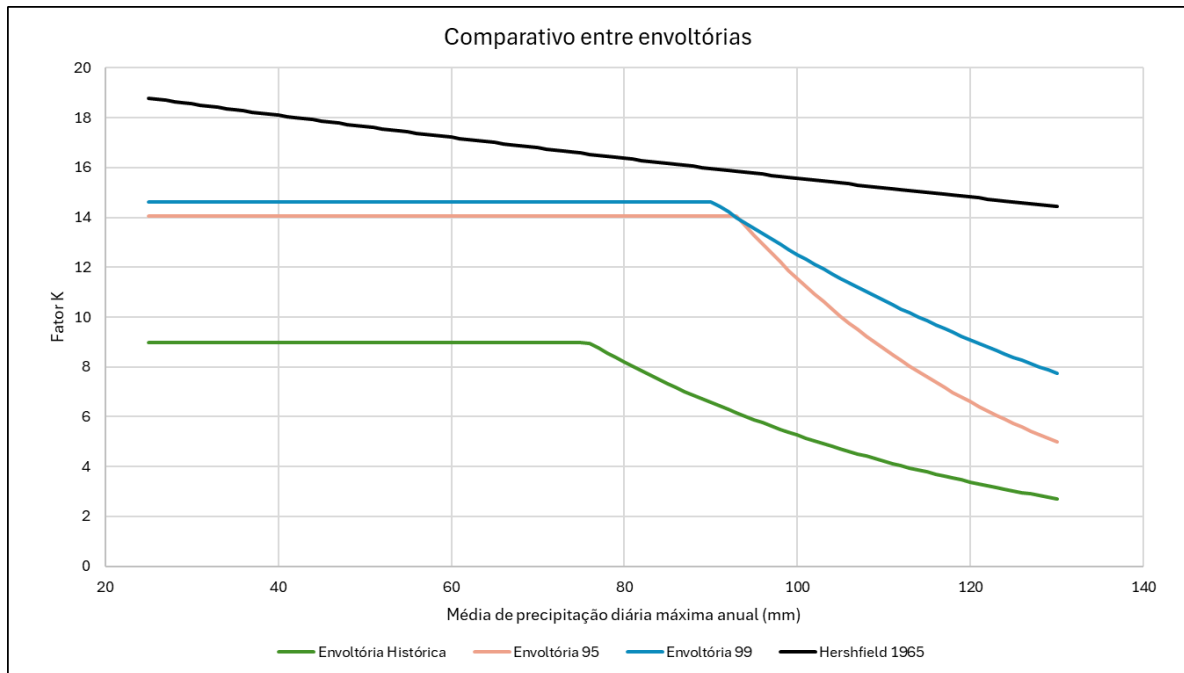
No clima semiárido, os fatores de frequência permanecem os mais baixos, com valor máximo de 8,85 e médias de precipitação diária máxima anual entre 37 e 95 mm. Apesar disso, de maneira similar ao observado para o percentil 95, o menor valor de K no clima semiárido ainda é superior ao das outras classificações climáticas, possivelmente devido ao número limitado de estações nessa categoria.

No clima tropical, observa-se o maior valor de K, atingindo 14,62. No entanto, a média desse fator (7,64) é ligeiramente inferior à do clima temperado (7,82). As médias de precipitação diária máxima por ano hidrológico no clima tropical variam entre 52 e 125 mm. Já o clima temperado apresenta um valor máximo de K intermediário em relação aos demais climas, chegando a 12,47, enquanto suas médias de precipitação diária máxima anual variam entre 64 e 104 mm.

De forma consistente com os resultados obtidos para o percentil 95%, os histogramas dos fatores K para os climas temperado e tropical exibem uma distribuição assimétrica à direita, com coeficientes de assimetria de 0,71 e 1,60, respectivamente. Por outro lado, os dados do clima semiárido apresentam uma distribuição quase simétrica, com coeficiente de assimetria de 0,08.

6.3.4.3 Comparativo entre as envoltórias obtidas e ábaco de Hershfield

A seguir, a Figura 6.35 apresenta-se a análise comparativa para toda Minas Gerais das envoltórias obtidas a partir dos dados históricos, das séries sintéticas com a seleção do fator K com base nos percentis de 95% e 99%, além da envoltória proposta por Hershfield (1965). De maneira complementar, apresenta-se no Apêndice E os comparativos realizados para cada região climática separadamente.

Figura 6.35 – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965)

De maneira geral, observa-se que a envoltória baseada nos dados históricos apresenta os menores valores de K em comparação às demais curvas, enquanto a envoltória de Hershfield exibe os maiores valores. É importante destacar que a metodologia adotada para as demais curvas inclui a definição de um patamar antes do trecho exponencial.

A escolha desse patamar foi fundamentada na observação sistemática de fatores de frequência menores em regiões áridas, conforme indicado nos itens 6.2.2 e 6.3.3 e nos resultados apresentados por Sarkar e Maity (2020). Esse comportamento contrasta com a envoltória de Hershfield, na qual se observam fatores de frequência mais elevados justamente para regiões áridas. O estudo de Sarkar e Maity aponta que o uso de uma curva puramente exponencial pode atribuir peso excessivo a eventos de menor magnitude da média anual de precipitação diária máxima, superando, inclusive, os valores máximos de K observados na área de estudo. Essa distorção compromete a representatividade dos dados e pode levar à superestimação da PMP em regiões com baixos índices pluviométricos.

6.4 Discussão dos resultados

Os critérios adotados para a seleção da base de dados mostraram que, embora existam 2.415 estações pluviométricas cadastradas no estado de Minas Gerais pelo

HidroWeb, apenas 481 atenderam aos requisitos estabelecidos. Esse número reduzido se deve ao fato de muitas estações apresentarem registros limitados ou de baixa qualidade, o que levou à exclusão de aproximadamente 80% das estações. Contudo, os 20% restantes foram considerados suficientes para garantir uma cobertura espacial adequada, permitindo uma caracterização representativa de todas as regiões do estado. Entre as estações selecionadas, 15 estão localizadas em áreas de clima semiárido, 186 em regiões de clima temperado e 280 em áreas de clima tropical. A menor quantidade de estações na classificação semiárida reflete a restrita extensão dessas áreas, limitadas à região do extremo norte de Minas Gerais.

De maneira geral, os resultados obtidos estão alinhados com as expectativas para a proposição do caráter probabilístico na estimativa da PMP, conforme recomendado pela National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2024). A premissa central é que, ao se adotar percentis associados a probabilidades de excedência extremamente baixas, os fatores de frequência tendem a ser mais elevados, refletindo a raridade e a severidade dos eventos extremos. Essa expectativa foi confirmada nos resultados: a estimativa baseada exclusivamente em dados históricos apresentou os menores valores do fator K, com o valor máximo registrado de 8,98. Por outro lado, ao se utilizarem simulações sintéticas e a seleção de fatores K com base nos percentis correspondentes às probabilidades de excedência de 5% e 1%, os valores máximos observados foram 14,04 e 14,62, respectivamente. Essa elevação nos fatores K resulta, conseqüentemente, em estimativas de PMP de maior magnitude.

A comparação entre os resultados para os dados históricos gerais, percentil 95% e percentil 99% em Minas Gerais revela um padrão claro de aumento nos valores do fator K à medida que os percentis se elevam. Nos dados gerais, os fatores K variaram de 1,68 a 8,98, com média de 3,65 e mediana de 3,41, concentrando-se em valores mais baixos e apresentando maior variabilidade relativa (CV de 0,35). Já no percentil 95%, os valores se deslocaram para uma faixa mais alta, variando de 4,16 a 14,04, com média de 6,42 e mediana de 6,12. Apesar da menor variabilidade relativa (CV de 0,19), a assimetria positiva foi mais acentuada (1,97), indicando um aumento na ocorrência de outliers associados a eventos extremos.

No percentil 99%, a distribuição manteve a tendência de valores elevados, com amplitude de 4,95 a 14,62, média de 7,71 e mediana de 7,49. Embora a assimetria positiva tenha sido menos pronunciada (coeficiente de assimetria de 1,25) em comparação ao percentil 95%, a variabilidade relativa foi a menor entre as análises (CV de 0,18), refletindo menor variação nos fatores K. Essas diferenças entre os dados históricos e os percentis simulados demonstram que, como esperado, os percentis mais altos resultam em eventos extremos de maior magnitude, elevando os valores médios para faixas superiores.

Vale destacar que os resultados obtidos para as séries históricas revelaram um valor máximo do fator K bastante próximo aos encontrados em outros estudos. Martins (2024), ao analisar a região de Barcarena/PA, identificou um fator K de 8,4; Barbosa et al. (2023), em um estudo abrangente para todo o Brasil com base nos dados do INMET, encontrou um fator K de 8,8; Sugai (1989), ao avaliar o Sul do Brasil, obteve um K histórico máximo de 9,0; e, por fim, Burger (2014), no estado do Paraná, observou um K máximo histórico de 10,17.

Essa proximidade pode indicar uma possível concordância para o valor máximo do fator K nos registros históricos de precipitação observados no Brasil. Contudo, é importante ressaltar que essa concordância ainda carece de um embasamento científico robusto, especialmente considerando que as séries de precipitação são influenciadas pelos impactos das mudanças climáticas.

Nesse contexto, destaca-se que, de forma semelhante aos estudos de análise de frequência de variáveis hidrológicas, as estimativas da PMP requerem atualizações periódicas. Essas revisões são essenciais para ampliar e atualizar a base de dados utilizada, permitindo análises mais confiáveis e alinhadas com as condições climáticas atuais. Conforme indicado pela National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2024), a ideia de um limite físico superior para tormentas é considerada uma hipótese pouco provável. Nesse sentido, a análise probabilística, por meio da geração de séries sintéticas, surge como uma alternativa promissora para extrapolar os valores observados nas séries históricas. Essa abordagem possibilita incorporar as incertezas associadas às projeções de mudanças climáticas, fornecendo suporte ao dimensionamento de estruturas hidráulicas que não apenas atendam às normas

vigentes, mas que também permaneçam eficazes ao longo do tempo, mesmo com a atualização contínua da base de dados.

Uma limitação da abordagem baseada na geração de séries sintéticas de precipitação diária está na incapacidade observada dos modelos adotados em reproduzir a não estacionariedade observada nas séries históricas. Ambos os modelos utilizados fundamentam-se em uma cadeia de Markov de primeira ordem, em que a condição de precipitação em um dia depende exclusivamente do dia anterior. Essa simplificação desconsidera dinâmicas mais complexas que podem ocorrer ao longo do tempo. Além disso, esses modelos assumem distribuições e parâmetros fixos, desconsiderando possíveis variações nas características estatísticas resultantes de fatores como mudanças climáticas. Nesse contexto, uma evolução potencial seria o desenvolvimento ou adoção de modelos que incorporem as tendências observadas nas séries históricas, permitindo uma representação mais fiel das variações temporais.

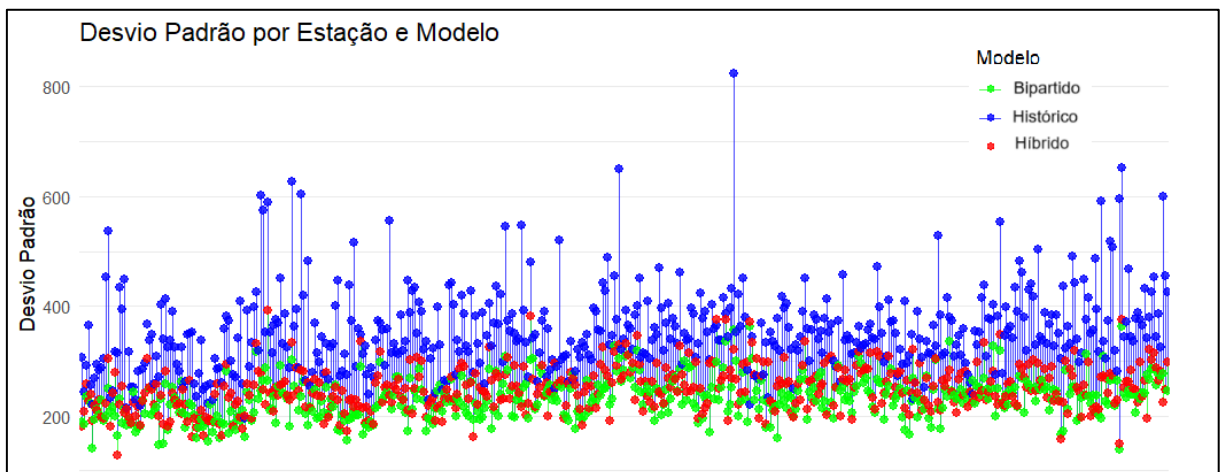
Outra limitação importante está relacionada ao fenômeno de *overdispersion*, descrito por Katz e Parlange (1998) como a tendência de séries sintéticas de precipitação apresentarem uma variância mensal ou sazonal inferior à observada nas séries históricas. Esse fenômeno tem sido amplamente documentado em estudos sobre geração de séries sintéticas, incluindo os trabalhos de Katz e Parlange (1998), Wilks e Wilby (1999), Li et al. (2013), Costa (2015) e Rocha Filho (2016). Neste contexto o fenômeno evidencia uma limitação dos modelos estocásticos em capturar adequadamente a variabilidade natural das precipitações em diferentes escalas temporais, resultando na subestimação da dispersão dos dados.

Quanto à origem do fenômeno de *overdispersion*, Wilks e Wilby (1999) destacam que uma causa plausível é a influência das variações climáticas interanuais, as quais interferem sistematicamente nas propriedades estatísticas das precipitações. Essas variações incluem, por exemplo, oscilações relacionadas a fenômenos climáticos de larga escala, como o ENOS (El Niño-Oscilação Sul). No entanto, os geradores estocásticos convencionais não são projetados para incorporar tais variabilidades climáticas de longo prazo, pois seus mecanismos operam em escalas temporais menores e baseiam-se em pressupostos de estacionariedade, como discutido

anteriormente. Dessa forma, a incapacidade desses modelos de representar a complexidade das interações climáticas interanuais torna-se um fator limitante na simulação de séries sintéticas que reflitam com maior fidelidade os padrões observados nas séries históricas.

No contexto deste estudo, a Figura 6.36 ilustra a trajetória do desvio padrão da variável precipitação total por ano hidrológico, ao longo da realização de uma série sintética, comparando os resultados históricos com o modelo bipartido e o modelo Híbrido. Essa análise evidencia claramente o fenômeno de *overdispersion*, destacando as diferenças na dispersão entre as séries sintéticas geradas pelos dois modelos e os valores observados nas séries históricas.

Figura 6.36 – Fenômeno de *overdispersion* – Precipitação Anual



Sob a ótica da classificação climática dos dados, observou-se que, de forma sistemática, a região classificada como semiárida apresentou fatores K máximos de menor magnitude, tanto nas séries históricas quanto nas sintéticas, em comparação com as demais regiões climáticas. Esse resultado contrasta com o ábaco de Hershfield (1965), que sugere fatores de frequência mais elevados para regiões áridas. Essa divergência reforça a importância de estudos como o presente, que investiga a envoltoria dos fatores de maneira local, mas, como mencionado anteriormente, devido ao número limitado de estações na região semiárida, recomenda-se uma análise mais aprofundada dessa área climática para obter conclusões mais robustas.

Por outro lado, os resultados indicam para as regiões de clima temperado e tropical, os resultados das séries históricas indicaram valores de fator K máximo bastante próximos. Entretanto, na geração das séries sintéticas, observou-se um maior valor do fator K máximo para o clima tropical.

Observou-se que, embora os valores máximos do fator de frequência nas séries sintéticas se destaquem na região tropical, as médias e medianas dos fatores K, calculadas para todas as estações das diferentes classificações climáticas, apresentaram resultados bastante próximos entre si. Essa proximidade foi verificada tanto para os dados históricos quanto para os valores correspondentes aos percentis de 95% e 99%. Tal comportamento evidencia uma uniformidade na magnitude dos eventos extremos de precipitação, quando considerados os valores médios e medianos, entre as diferentes regiões climáticas de Minas Gerais.

Esse resultado sugere que, apesar das variações nas condições climáticas locais e da ocorrência de eventos extremos pontuais em algumas localidades, os fatores de frequência médios e medianos indicam características semelhantes dos eventos extremos em todo o estado. Essa uniformidade pode ser atribuída, em parte, à influência de sistemas meteorológicos de grande escala, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul, que afetam amplamente Minas Gerais e contribuem para uma certa homogeneização dos padrões de precipitação extrema. Tais sistemas desempenham um papel relevante na redução das diferenças regionais, criando condições propícias para eventos de precipitação intensa em diversas áreas, independentemente das classificações climáticas locais.

Diante disso, é importante ressaltar que o uso de curvas envoltórias para diferentes regiões climáticas deve ser feito com cautela. Embora os fatores K observados em regiões semiáridas apresentem magnitudes menores, essa categoria climática abrange um número limitado de estações, o que pode comprometer a representatividade e a robustez dos resultados. Nesse sentido, reforça-se a necessidade de realizar estudos semelhantes em outras regiões com características de aridez comparáveis, como o Nordeste brasileiro, incluindo um número mais amplo de estações pluviométricas. Essa ampliação poderia fortalecer a base de análise,

proporcionando conclusões mais robustas e aumentando a confiabilidade das avaliações específicas para essas áreas.

Quanto às curvas envoltórias traçadas, observou-se que, de maneira consistente com os valores máximos, elas se organizaram em ordem crescente: os dados históricos posicionaram-se abaixo, a curva correspondente ao percentil 95% no meio, e a curva do percentil 99% acima das demais. Ao compará-las com a curva sugerida por Hershfield (1965), verificou-se que a mesma se posicionou acima de todas. No entanto, é importante destacar que a metodologia proposta por Sarkar e Maity (2020) prevê a inclusão de um trecho linear antes da parte exponencial da curva, o que difere da abordagem de Hershfield.

Nesse sentido, observa-se que, se as curvas fossem traçadas considerando apenas o trecho exponencial, haveria uma tendência de superar a envoltória de Hershfield em regiões mais áridas. No entanto, a inclusão do patamar linear foi uma escolha fundamentada na necessidade de evitar que uma curva puramente exponencial atribuísse um peso excessivo a eventos de menor magnitude das médias de precipitação diária máxima anual, ultrapassando o valor máximo do fator K observado na área de estudo. Dessa forma, a adoção do patamar é considerada uma abordagem adequada para representar os dados observados, pois assegura que todos os valores estejam compreendidos dentro da envoltória proposta.

7 CONCLUSÕES

Esta dissertação teve como objetivo principal definir curvas envoltórias para os fatores de frequência K da Precipitação Máxima Provável estatística de duração diária no estado de Minas Gerais. Para isso, foi adotada uma abordagem que combinou a análise de séries históricas de precipitação diária com a geração de séries sintéticas, permitindo uma avaliação mais abrangente dos fatores de frequência. Adicionalmente, buscou-se estabelecer relações entre os fatores K e as condições climáticas do estado, utilizando a classificação climática de Köppen-Geiger proposta por Martins et al. (2018).

A pesquisa foi motivada pela hipótese de que o ábaco de Hershfield (1965), recomendado pela WMO (2009) e baseado em dados do hemisfério norte, pode não ser adequado às condições climáticas e geográficas do Brasil. Além disso, a metodologia proposta originalmente na década de 1960 não considera adequadamente as mudanças climáticas ocorridas nas últimas décadas, o que pode impactar significativamente as séries de chuva e as estimativas de PMP.

Após uma análise de qualidade dos dados, foram selecionados 481 postos pluviométricos em Minas Gerais para a construção das curvas envoltórias históricas e sintéticas. As curvas foram traçadas com base na metodologia proposta por Sarkar e Maity (2020). As séries sintéticas foram geradas utilizando um modelo bipartido, que apresentou melhor desempenho regional em comparação ao modelo híbrido, sendo aplicadas em escala temporal diária.

Os resultados para as séries históricas revelaram um fator K máximo de 8,98, valor bastante próximo aos observados por Martins (2024) para a região de Barcarena/PA e por Barbosa et al. (2023) para todo o Brasil, com base nos dados do INMET. Já as simulações sintéticas, considerando os percentis de 95% e 99%, indicaram fatores K máximo de 14,04 e 14,62 respectivamente. Esses resultados sugerem que a envoltória original de Hershfield pode fornecer estimativas conservadoras para o estado de Minas Gerais. No entanto, observa-se que a seleção de percentis associados a menores probabilidades de excedência tende a aproximar os resultados da envoltória de Hershfield. É importante destacar que, enquanto a metodologia de Hershfield utiliza apenas uma curva de decaimento exponencial, este estudo adota o

método de Sarkar e Maity (2020), que combina um patamar linear constante seguido por uma curva de decaimento exponencial. Essa abordagem reduz a superestimação dos fatores K em regiões com médias anuais de precipitação diária máxima mais baixas, como corroborado pelas observações na classificação climática de regiões semiáridas.

A análise com base na classificação climática de Martins et al. (2018) revelou que, para a região semiárida de Minas Gerais, os fatores de frequência máximos apresentaram valores significativamente mais baixos, tanto nas séries históricas quanto nas sintéticas. Por outro lado, nas regiões classificadas como temperadas e tropicais, os valores foram bastante similares, com destaque para o clima temperado nas séries históricas e para o clima tropical nas séries sintéticas. Ressalta-se que a área de clima semiárido está restrita ao norte do estado e conta com um número limitado de estações analisadas, o que impõe limitações à formulação de conclusões mais categóricas quanto a possíveis correlações. Assim, recomenda-se que estudos futuros ampliem a investigação para outras regiões com características climáticas semelhantes, a fim de validar os resultados observados.

Outro ponto de destaque é a análise das estações com séries não estacionárias. Após a geração das séries sintéticas, observou-se que a condição de não estacionariedade presente em algumas séries históricas não foi reproduzida, devido às limitações dos modelos sintéticos empregados, que adotam parâmetros fixos ao longo do tempo. Apesar dessa limitação, verificou-se que aproximadamente 86% das séries históricas de máximos anuais por ano hidrológico apresentaram comportamento estacionário, o que justificou a aplicação da metodologia proposta para o desenvolvimento do estudo.

Além disso, foi identificado o fenômeno de “*overdispersion*” na geração das séries, que caracteriza-se pela tendência das séries sintéticas de apresentarem uma variância inferior àquela observada nas séries históricas. Neste contexto, as limitações observadas reforçam a necessidade de, em estudos futuros, adotar modelos mais robustos para a geração de séries sintéticas, capazes de capturar a não estacionariedade observada em algumas séries e mitigar o fenômeno da *overdispersion*.

A geração de séries sintéticas foi realizada por meio de um modelo bipartido, que apresentou resultados mais próximos das estatísticas descritivas das séries históricas em comparação ao modelo híbrido. Essa geração permitiu ampliar a representação da variabilidade dos eventos extremos e introduzir um caráter probabilístico ao estudo, em conformidade com as recomendações da National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2024), ao considerar percentis de 5% e 1%. Tal prática está alinhada à nova definição de PMP apresentada no relatório "Modernizing Probable Maximum Precipitation Estimation", elaborado pelos mesmos autores, que descreve a PMP como "a altura de precipitação para uma determinada duração, localização e extensão de área, como uma bacia de drenagem, associada a uma probabilidade anual extremamente baixa de ser superada, considerando um período climático específico". Ressalta-se, contudo, que uma das limitações observadas no processo foi a ocorrência do fenômeno de *overdispersion*, caracterizado pela tendência das séries sintéticas de apresentarem uma variância mensal (ou sazonal) inferior àquela observada nas séries históricas.

Além de incorporar dados de precipitação atualizados, o estudo integra séries sintéticas que reproduzem as características estatísticas observadas, assegurando que os eventos simulados, dentro da simplificação da chuva como um processo aleatório, tenham igual probabilidade de ocorrência. Dessa forma, a seleção dos fatores K sintéticos com base nos percentis de 95% e 99% demonstra a capacidade da pesquisa de adotar uma abordagem probabilística na estimativa dos fatores de frequência. Isso permite refletir a variabilidade e as incertezas associadas aos eventos extremos, conferindo maior confiabilidade às projeções.

Por fim, destaca-se que as estimativas de PMP demandam atualizações contínuas, pois refletem os registros disponíveis até o momento e as incertezas associadas aos métodos empregados, sem considerar alterações futuras decorrentes das mudanças climáticas. Estimativas confiáveis e atualizadas de PMP são essenciais para garantir a segurança de estruturas hidráulicas e promover infraestruturas resilientes frente a eventos extremos.

Quanto a recomendações para estudos futuros indica-se:

- Envoltórias para diferentes durações de chuva: Expandir o estudo para calcular envoltórias dos fatores de frequência K considerando diferentes durações da precipitação, ampliando a aplicabilidade dos resultados especialmente para grandes reservatórios que tendem a apresentar durações críticas acima de 24 horas;
- Modelos sintéticos com não estacionariedade: Implementar modelos de geração sintética que sejam capazes de reproduzir a condição de não estacionariedade identificada em algumas das estações estudadas;
- Modelos sintéticos capazes de lidar com o fenômeno *overdispersion*: Aplicação de modelos de geração sintética que consigam mitigar o fenômeno de *overdispersion*;
- Expansão para outras regiões do Brasil: Aplicar a metodologia em outras regiões do Brasil, com foco em áreas que apresentem diferentes comportamentos climáticos e hidrometeorológicos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume V: Diretrizes para a Elaboração de Projeto de Barragens. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA); INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Perspectivas e avanços da gestão de recursos hídricos na mineração. Brasília: ANA; IBRAM, 2024. 306 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. Resolução ANM nº 95, de 07 de fevereiro de 2022. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2022.

AGUILAR, M.G. Geração Estocástica de Precipitação Subdiária e Simulação de Eventos Extremos. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2019.

AMBRIZZI, T.; FERRAZ, S.E.T. An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. *Frontiers in Environmental Science*, v. 3, p. 23, 2015.

BARBOSA, A.G.; DA SILVA, A.F.R.; COSTA, V.A.F. Estimativa espacial da Precipitação Máxima Provável com duração de 24 horas para o território brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 25, 2023, Rio de Janeiro: ABRH, 2023. p. 10.

BOUGUILA, N.; ZIOU, D.; MONGA E. Practical Bayesian estimation of a finite beta mixture through gibbs sampling and its applications. *Statistics and Computing*, 16: 215–225. doi:10.1007/s11222-006-8451-7, 2006.

BOULANGER, J.P.; MARTINEZ, F.; PENALBA, O.; SEGURA, E.C. Neural network based daily precipitation generator (NNGEN-P). *Climate Dynamics*, v. 28, p. 307-324, 2007.

BRAGA, H.A.; AMBRIZZI, T. A variabilidade intrassazonal e interanual do acoplamento entre a Zona de Convergência do Atlântico Sul e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 37, p. 145-158, 2022.

BRANISAVLJEVIĆ, N.; PRODANOVIĆ, D.; ARSIĆ, M.; SIMIĆ, Z.; BOROTA, J. Hydro-meteorological data quality assurance and improvement. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics*, v. 3, n. 1, p. 228–249, 2009.

BRUBACHER, J.P.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A. Preenchimento de Falhas e Especialização de Dados Pluviométricos: Desafios e Perspectivas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2020.

BURGER, L.C. Adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da precipitação máxima provável (PMP). *Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.*

CARMO, C. R. S.; SILVA, J. R. M. Machine learning and provision of data storage services: metrics for analysis and validation of predictive algorithms. *Revista GeTeC*, 2023.

CASTELLARIN, A.; VOGEL, R. M.; MATALAS, N. C. Probabilistic behavior of a regional envelope curve. *Water Resources Research*, v. 41, W06018, 2005. DOI: 10.1029/2004WR003042.

CHEN J.; BRISSETTE F. P. Stochastic generation of daily precipitation amounts: review and evaluation of different models. *Clim. Res.*, v. 59., pp. 189-206, 2014

CHEN, M.; XIE, P.; SHI, W.; SILVA, V.; KOUSKY, V.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.E. Quality control of daily precipitation reports at NOAA/CPC. *AMS 12th Conferences on IOAS-AOLS*, n. 33, 2008.

CHOW, V. T. A general formula for hydrologic frequency analysis. *Trans. Am. Geophys. Union*, v. 32, p. 231-237, 1951.

COSTA, V. Estimação indireta de quantis de enchentes extremas a partir de modelos chuva-vazão com emprego conjunto de um gerador estocástico de precipitação diária,

análise bayesiana e distribuições limitadas superiormente. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

COSTA, V.; FERNANDES, W.; NAGHETTINI, M. A Bayesian model for stochastic generation of daily precipitation using an upper-bounded distribution function. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 29, n. 2, p. 563-576, 2015.

DERECZYNSKI, C.P.; OLIVEIRA, J.S.; MACHADO, C.S. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 24-38, 2009.

DESA, M.N.; RAKHECHA, M.P.R. Probable maximum precipitation for 24-h duration over an equatorial region: Part 2-Johor, Malaysia. *Atmospheric Research*, v. 84, p. 84-90, 2007.

DETZEL, D. H. M. Geração de séries sintéticas de precipitação. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 197 p., 2009.

EINFALT, T.; GERLACH, N.; PODLASLY, C.; DEMUTH, N. Rainfall and climate data quality control. In: 11th International Conference on Urban Drainage, 2008, Edinburgh, Scotland, UK. *Proceedings...* Edinburgh: [s.n.], 2008.

FENG, S.; HU, Q.; QIAN, W. Quality control of daily meteorological data in China 1951-2000: a new dataset. *International Journal of Climatology*, v. 24, p. 853-870, 2004.

FOUFOULA-GEORGIU, E.; LETTENMAIER, D. P. A Markov renewal model for rainfall occurrences. *Water Resources Research*, Washington, DC, 23, 5, p. 875-884, 1987.

FURRER, E. M.; KATZ, R. W. Improving the simulation of extreme precipitation events by stochastic weather generators. *Water Resources Research*, v. 44, W12439, doi: 10.1029/2008WR007316, 2008.

GABRIEL, K.R.; NEUMANN, J. A Markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv. Q. J. R. Meteorol. Soc. 88, 90–95. doi:10.1002/qj.49708837511, 1962.

GILEWSKI, P.; NAWALANY, M. Inter-Comparison of Rain-Gauge, Radar, and Satellite (IMERG GPM) Precipitation Estimates Performance for Rainfall-Runoff Modeling in a Mountainous Catchment in Poland. *Water*, v. 10, n. 11, p. 1-23, 2018.

GOMES, E.P. Avaliação de Modelos de Inteligência Artificial Híbridos na Estimativa de Precipitações. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, 2022.

GREGORY, J.M.; WIGLEY, T.M.L.; JONES, P.D. Application of Markov models to area average daily precipitation series and interannual variability in seasonal totals. *Climate Dynamics*, v. 8, p. 299–310, 1993.

HERSHFIELD, D. M. Estimating the probable maximum precipitation. *Journal of Hydraulics Division: Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, v. 87, p. 99-106, 1961b.

HERSHFIELD, D. M. Method for Estimating Probable Maximum Precipitation. *Journal of the American Waterworks Association*, v. 57, p. 965-972, 1965.

HERSHFIELD, D. M. Rainfall Frequency Atlas of the United States. Technical Paper No. 40, Weather Bureau, United States Department of Commerce, Washington, DC, 1961a.

HORTON, R. E., The field, scope and status of the science of hydrology, *Trans. Am. Geophys. Union*, 12th Annu. Mtg., National Research Council, Washington D.C., 189-202, 1931.

HUNDECHA, Y.; PAHLOW, M.; SCHUMANN, A. Modeling of daily precipitation at multiple locations using a mixture of distributions to characterize the extremes. *Water Resources Research*, v. 45, W12412, doi: 10.1029/2008WR007453, 2009.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil* - 1:250.000. Rio de Janeiro, 2019.

IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas). *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais*. Belo Horizonte, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2022*. Brasília, DF, 2022.

IPCC. Sections. In: *CLIMATE CHANGE 2023: SYNTHESIS REPORT*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H. Lee and J. Romero (eds.). Geneva: IPCC, 2023.

JALE, J.S.; XAVIER JÚNIOR, S.F.A.; XAVIER, É.F.M.; STOŠIĆ, T.; STOŠIĆ, B.; FERREIRA, T.A.E. Application of Markov chain on daily rainfall data in Paraíba-Brazil from 1995-2015. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil. Universidade Estadual da Paraíba, Brasil, 2018.

KATZ, R.W. Precipitation as a chain-dependent process. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, 16, 7, p. 671-676, 1977.

KATZ, R.W.; PARLANGE, M.B. Overdispersion phenomenon in stochastic modeling of precipitation. *American Meteorological Society*, v. 11, p. 591–601, 1998.

KLEMEŠ, V., Tall tales about tails of hydrological distributions, *J. Hydrol. Engineering*, 5(3), 227-231 and 232-239, 2000.

KOUTSOYIANNIS, D. *A Critical Review of Probability of Extreme Rainfall: Principles and Models*, 2007.

KOUTSOYIANNIS, D.; PAPALEXIOU, S.M. Extreme rainfall: Global perspective. In: SINGH, V.P. (Ed.). *Handbook of Applied Hydrology*, Second Edition. New York: McGraw-Hill, 2017. p. 74.1–74.16.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P.C.B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, v. 54, n. 1–3, p. 159–178, 1992. doi:10.1016/0304-4076(92)90104-Y.

LALL, U.; RAJAGOPALAN, B.; TARBOTON, D. G. A non-parametric wet/dry spell model for resampling daily precipitation. *Water Resources Research*, v. 32, n. 9, p. 2803-2893, 1996.

LALL, U.; SHARMA, A. A nearest neighbor bootstrap for resampling hydrological time series, *Water Resources Research*, 32, 679-693, 1996.

LI, Z.; BRISSETTE, F.; CHEN, J. Finding the most appropriate precipitation probability distribution for stochastic weather generation and hydrological modelling in Nordic watersheds. *Hydrological Processes*, v. 27, p. 3718–3729, 2013.

LIAO, Y.; ZHANG, Q.; CHEN, D. Stochastic modeling of daily precipitation in China. *Journal of Geographical Sciences*, Pequm, 14, 4, p. 417-426, 2004.

LLABRÉS-BRUSTENGA, A.; RIUS, A.; RODRÍGUEZ-SOLÀ, R.; CASAS-CASTILLO, M. C.; REDAÑO, A. Quality control process of the daily rainfall series available in Catalonia from 1855 to the present. Springer Nature, 2019.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 11(17), Jul/Dez, 2018.

MARTINS, V. M.P. Emprego da Simulação de Monte Carlo na Estimativa do Fator de Frequência Adotado no Cálculo da Precipitação Máxima Provável (PMP) Pontual em uma Região de Clima Equatorial Sujeita a Atuação Convectiva. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, Belo Horizonte, 2024.

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: SBCS*, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. Hidrologia estatística. 1. ed. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. Modernizing Probable Maximum Precipitation Estimation. Washington, DC: The National Academies Press, 2024. DOI: 10.17226/27460.

OLIVEIRA, E.V. Meteorologia Aplicada. Recife: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 2014.

PAPALEXIOU, S. M.; KOUTSOYIANNIS, D. A probabilistic approach to the concept of probable maximum precipitation. *Advances in Geosciences*, v. 7, p. 51-54, 2006.

PINHEIRO, M. C. Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração. Belo Horizonte: ABRH, 2011. 304 p.

POLETTI, I. Biomas do Brasil: da exploração à convivência. Brasília, 2017.

REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 3, p. 201-217, 2010.

REBOITA, M.S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L.F.; ALVES, M.A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Minas Gerais, 2015.

ROCHA FILHO, J.V. Gerador estocástico de precipitação diária bipartido condicionado às fases ENOS aplicado à região sul do Brasil. 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

ROSA, E.B.; PEZZI, L.P.; QUADRO, M.F.L.; BRUNSELL, N. Automated Detection Algorithm for SACZ, Oceanic SACZ and their Climatological Features. *Frontiers in Environmental Science*, v. 8, p. 18, 2020.

ROSS, S.M. Introduction to Probability Models. 9. ed. San Diego: Academic Press, 2007. 782 p.

SÁ JÚNIOR, A. Aplicação da Classificação de Köppen para o Zoneamento Climático do Estado de Minas Gerais. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SALDANHA, C.B.; COLLISCHONN, W.; MARQUES, M.; STEINMETZ, S.; ALMEIDA, I.R.; REISSER JÚNIOR, C. O Evento de Chuva Intensa de Janeiro de 2009 Sobre a Região de Pelotas-RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 2, p. 255-265, 2012.

SARKAR, S.; MAITY, R. Estimation of Probable Maximum Precipitation in the context of climate change. Environmental Research Communications, v. 7, p. 100904, 2020.

SIGBM. Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração. 2024.

SILVA NETO, V.L.; VIOLA, M.; MELLO, C.R. de; SILVA, D.D.; GIONGO, M.V. Precipitação Máxima Provável no estado do Tocantins: primeira aproximação pelo método estatístico de Hershfield. Revista Brasileira de Climatologia, v. 27, p. 10-21, 2020.

SILVA, P.N.; ESCOBAR, G.C.J.; REBOITA, M.S. Eventos extremos de precipitação no Estado de Minas Gerais associados com a ocorrência de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 3, p. 624-635, 2020.

SNISB. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. 2024.

SRIKANTHAN, R.; MCMAHON, T. Stochastic generation of climate data: a review. Report 00/16, CRC for Catchment Hydrology, Monash University, Melbourne, 2000.

SUGAI, M. R. VON B. Tempo de Recorrência associado a Precipitação Máxima Provável na Região Sul do Brasil, Dissertação de Mestrado, CEHPAR/UFPR, Curitiba, 1989.

TEODORO, T.A.; PASSOS, R.B.; SILVA, B.A.; SILVA, B.C. Análise das Estimativas da Precipitação Diária do Produto GPM-IMERG na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, Região Sudeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 43, p. 101-115, 2020.

THOMPSON, C.S.; THOMSON, P.J.; ZHENG, X. Fitting a multisite daily rainfall model to New Zealand data. *Journal of Hydrology*, v. 340, n. 1-2, p. 25-39, 2007.

TODOROVIC, P.; WOOLHISER, D.A. A stochastic model of n-day precipitation. *Journal of Applied Meteorology*, v. 14, p. 17–24, 1975.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS. INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - ICAT. Curso de Meteorologia. Fatores e elementos climáticos usando a classificação de Köppen-Geiger. APOSTILA PROJETO DE EXTENSÃO - ACE 4. Maceió, Alagoas, 2022.

VALADÃO, R.C.; OLIVEIRA, C.V.; KER, J.C. Compartimentação regional do relevo e cobertura pedológica do centro-norte de Minas Gerais. *Revista Geografias, Belo Horizonte: UFMG*, v. 1, n. 4, p. 45-58, 2008.

WILKS, D.S. Multisite generalization of a daily stochastic precipitation generation model. *Journal of Hydrology, Amsterdam*, v. 210, p. 178-191, 1998.

WILKS, D.S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2006.

WILKS, D.S.; WILBY, R.L. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*, v. 23, n. 3, p. 329-357, 1999.

WILKS, D.S.; WILBY, R.L. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*, v. 23, n. 3, p. 329–357, 1999.

WILSON, P.S.; TOUMI, R. A fundamental probability distribution for heavy rainfall. *Geophysical Research Letters*, v. 32, L14812, 2005. doi:10.1029/2005GL022465.

WMO. Guide to meteorological instruments and methods of observation. Weather Climate Water (WMO-No. 8, the CIMO Guide). Geneva: World Meteorological Organization, 2008.

WMO. Manual on estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). Geneva: World Meteorological Organization, 2009.

APÊNDICE A – Estações pluviométricas consideradas no estudo

| CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) | CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) |
|----------|-------------------------|----------|----------|----------|-------------------------|----------|----------|
| 01442021 | ITAMIRIM | -14,7667 | -42,8833 | 01943025 | MORRO DO PILAR | -19,2175 | -43,3742 |
| 01443001 | MANGA | -14,7567 | -43,9322 | 01943027 | USINA PETI | -19,8808 | -43,3675 |
| 01443003 | FAZENDA SALINAS | -14,2833 | -43,9833 | 01943035 | VAU DA LAGOA | -19,2189 | -43,5881 |
| 01443004 | QUEIMADAS | -14,7667 | -43,5833 | 01943042 | FAZENDA CARAIBAS | -19,1197 | -43,8375 |
| 01443007 | MANGA | -14,7667 | -43,9333 | 01943049 | PONTE RAUL SOARES | -19,5614 | -43,9178 |
| 01443008 | MATIAS CARDOSO | -14,8667 | -43,9167 | 01943055 | BELO HORIZONTE (HORTO) | -19,9344 | -43,9522 |
| 01443009 | LAJEDINHO | -14,9333 | -43,7000 | 01943061 | ITABIRA | -19,6167 | -43,2167 |
| 01444000 | SÃO GONÇALO | -14,3136 | -44,4603 | 01944000 | PRUDENTE DE MORAIS - A | -19,4833 | -44,1500 |
| 01444001 | CAPITÃNEA | -14,4311 | -44,4817 | 01944003 | MATEUS LEME | -19,9833 | -44,4167 |
| 01444003 | MIRAVANIA | -14,7475 | -44,4111 | 01944004 | PONTE NOVA DO PARAOPEBA | -19,9489 | -44,4722 |
| 01444005 | LAGOA DAS PEDRAS | -14,2806 | -44,4094 | 01944005 | BETIM | -19,9714 | -44,2017 |
| 01541003 | DIVISÓPOLIS | -15,7333 | -41,000 | 01944009 | PEDRO LEOPOLDO | -19,6344 | -44,0533 |
| 01541004 | VEREDA DO PARAÍSO | -15,4833 | -41,4667 | 01944010 | HORTO FLORESTAL | -19,2681 | -44,4017 |
| 01541010 | ITAMARATI | -15,5808 | -41,4086 | 01944011 | JAGUARUNA - JUSANTE | -19,7281 | -44,8067 |
| 01541013 | VEREDA DO PARAÍSO | -15,4897 | -41,4578 | 01944016 | SETE LAGOAS | -19,4667 | -44,2500 |
| 01542000 | MATO VERDE | -15,3833 | -42,8667 | 01944020 | PIRAPAMA | -19,0131 | -44,0367 |
| 01542003 | MONTEZUMA | -15,1667 | -42,5000 | 01944021 | VELHO DA TAIPA | -19,6961 | -44,9294 |
| 01542005 | RIO PARDO DE MINAS | -15,6167 | -42,5500 | 01944024 | FAZENDA VARGEM BONITA | -19,2372 | -44,1231 |
| 01542006 | SERRANÓPOLIS | -15,8 | -42,8833 | 01944026 | BARRO PRETO | -19,9642 | -44,4519 |
| 01542007 | SERRA NOVA | -15,65 | -42,7333 | 01944027 | JUATUBA | -19,9556 | -44,3344 |
| 01542008 | SÃO JOÃO DO PARAÍSO | -15,3167 | -42,0167 | 01944031 | PONTE DA TAQUARA | -19,4233 | -44,5483 |
| 01542009 | TABOLEIRO ALTO | -15,3 | -42,1833 | 01944032 | SE PITANGUI | -19,6844 | -44,8789 |
| 01542014 | SÃO JOÃO DO PARAÍSO | -15,3167 | -42,0228 | 01944049 | PAPAGAIOS | -19,4283 | -44,7197 |
| 01542015 | RIO PARDO DE MINAS | -15,5983 | -42,5475 | 01944052 | SETE LAGOAS | -19,4667 | -44,2500 |
| 01542016 | SERRA BRANCA | -15,6367 | -42,9436 | 01944055 | BETIM - COPASA | -19,9733 | -44,1881 |
| 01543001 | BARREIRO DO JAIBA | -15,6167 | -43,5833 | 01944059 | FORTUNA DE MINAS | -19,5631 | -44,4469 |
| 01543002 | COLÔNIA DO JAÍBA | -15,3411 | -43,6753 | 01944062 | FAZENDA SANTA RITA | -19,9828 | -44,4922 |
| 01543003 | ENGENHO | -15,1833 | -43,0667 | 01945000 | ARAÚJOS | -19,9483 | -45,1669 |
| 01543004 | GAMELEIRA | -15,0833 | -43,1167 | 01945008 | BOM DESPACHO | -19,7425 | -45,255 |
| 01543007 | PAI PEDRO | -15,5167 | -43,0500 | 01945019 | DORES DO INDÁIA (CVSF) | -19,4686 | -45,6017 |
| 01543010 | RIACHO DOS MACHADOS | -15,9833 | -43,0500 | 01945035 | ABAETÉ | -19,1631 | -45,4425 |
| 01543011 | TAMBORIL | -15,95 | -43,8333 | 01945038 | PORTO DAS ANDORINHAS | -19,2786 | -45,2858 |
| 01543013 | JANAÚBA | -15,7756 | -43,2797 | 01945039 | MARTINHO CAMPOS | -19,3322 | -45,2281 |
| 01544005 | ITACARAMBI | -15,0833 | -44,1000 | 01946000 | TAPIRAÍ - JUSANTE | -19,8794 | -46,0328 |
| 01544006 | JANUÁRIA | -15,4833 | -44,3667 | 01946002 | ARAXÁ (INMET) | -19,5833 | -46,9000 |
| 01544009 | LONTRA | -15,9000 | -44,3000 | 01946004 | IBIÁ | -19,475 | -46,5419 |
| 01544010 | PEDRAS DE MARIA DA CRUZ | -15,6000 | -44,4000 | 01946005 | SALITRE | -19,0706 | -46,7958 |
| 01544011 | RIACHO DA CRUZ | -15,3333 | -44,2833 | 01946007 | FAZENDA SÃO MATEUS | -19,5167 | -46,5711 |
| 01544012 | SÃO FRANCISCO | -15,9494 | -44,8681 | 01946008 | SERRA DO SALITRE | -19,1128 | -46,6883 |
| 01544013 | SÃO FRANCISCO | -15,9500 | -44,8667 | 01946009 | SÃO GOTARDO | -19,3153 | -46,0444 |
| 01544014 | SÃO JOÃO DA PONTE | -15,9333 | -44,0167 | 01946010 | PRATINHA | -19,7514 | -46,4119 |
| 01544015 | JANUÁRIA | -15,4833 | -44,3667 | 01946011 | TAPIRA | -19,9269 | -46,8253 |

| CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) | CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) |
|----------|-------------------------------|----------|----------|----------|--------------------------------|----------|----------|
| 01544017 | PEDRAS DE MARIA DA CRUZ | -15,5978 | -44,3903 | 01946022 | CARMO DO PARANAIBA | -19,0033 | -46,3061 |
| 01544018 | FAZENDA CANADÁ | -15,0225 | -44,0536 | 01947001 | SANTA JULIANA | -19,3158 | -47,5261 |
| 01544019 | SÃO JOÃO DA PONTE | -15,9303 | -44,0042 | 01947002 | CONQUISTA | -19,9303 | -47,5428 |
| 01544030 | VARZELÂNDIA | -15,7042 | -44,0286 | 01947006 | PONTE JOÃO CÂNDIDO | -19,1467 | -47,1847 |
| 01544032 | USINA DO PANDEIROS - MONTANTE | -15,4831 | -44,7672 | 01947007 | PERDIZES | -19,3486 | -47,2953 |
| 01545002 | SERRA DAS ARARAS | -15,5022 | -45,39 | 01947008 | LAGOA | -19,8786 | -47,3547 |
| 01546000 | ARINOS - MONTANTE | -15,9178 | -46,1192 | 01947009 | ZELÂNDIA | -19,5375 | -47,4531 |
| 01546001 | BURITIS - JUSANTE | -15,6158 | -46,415 | 01947016 | UBERABA | -19,7667 | -47,9333 |
| 01546010 | FAZENDA CARVALHO | -15,5242 | -46,2844 | 01948001 | UHE PORTO COLÔMBIA RIO UBERABA | -19,9094 | -48,3911 |
| 01640000 | JACINTO | -16,1386 | -40,2903 | 01948003 | VERÍSSIMO | -19,6731 | -48,3097 |
| 01640001 | FAZENDA CAJUEIRO | -16,1203 | -40,7394 | 01948005 | FAZENDA PARAÍSO | -19,2469 | -48,5661 |
| 01640007 | SANTA MARIA DO SALTO | -16,25 | -40,1333 | 01948006 | FAZENDA LETREIRO | -18,9883 | -48,1903 |
| 01641001 | ITAOBIM | -16,5683 | -41,5031 | 01948007 | CAMPO FLORIDO | -19,7706 | -48,5742 |
| 01641002 | JEQUITINHONHA | -16,4275 | -41,0139 | 01948010 | PIRAJUBA | -19,9075 | -48,6936 |
| 01641007 | SÃO JOÃO GRANDE | -16,6894 | -41,4983 | 01949000 | SÃO FRANCISCO DE SALES | -19,8167 | -49,7500 |
| 01641008 | PEDRA AZUL (FORTALEZA) | -16 | -41,2833 | 01949002 | FAZENDA BURITI DO PRATA | -19,3597 | -49,1803 |
| 01641010 | ITINGA | -16,6181 | -41,7675 | 01949003 | GURINHATÁ | -19,2133 | -49,7881 |
| 01641011 | MEDINA | -16,23 | -41,4808 | 01949004 | CAMPINA VERDE | -19,5422 | -49,4831 |
| 01641012 | FAZENDA BOA SORTE JUSANTE | -16,5961 | -41,0244 | 01949005 | COMENDADOR GOMES | -19,6981 | -49,0839 |
| 01642000 | ARAÇUAÍ | -16,8667 | -42,0667 | 01949006 | PONTE DO PRATA | -19,0353 | -49,6967 |
| 01642002 | CORONEL MURTA | -16,6131 | -42,1869 | 01949007 | ITAPAJIPE (LAGEADO) | -19,8925 | -49,3714 |
| 01642004 | GRÃO MOGOL | -16,5667 | -42,9000 | 01950011 | PONTE SÃO DOMINGOS | -19,2081 | -50,6628 |
| 01642005 | GRÃO MOGOL | -16,5667 | -42,9000 | 02041005 | CAIANA | -20,6939 | -41,9219 |
| 01642006 | JÚLIO DA BOCAINA | -16,25 | -42,8667 | 02042000 | CARANGOLA | -20,74 | -42,0239 |
| 01642007 | PORTO MANDACARU | -16,6789 | -42,4856 | 02042002 | MANHUAÇU | -20,2694 | -42,0669 |
| 01642008 | RUBELITA | -16,4119 | -42,2683 | 02042005 | PONTE NOVA | -20,4167 | -42,9167 |
| 01642013 | PEGA | -16,86 | -42,3475 | 02042008 | RAUL SOARES - MONTANTE | -20,1036 | -42,4400 |
| 01642014 | FAZENDA JAMBEIRO - GRÃO MOGOL | -16,5914 | -42,9183 | 02042009 | PONTE NOVA | -20,4 | -42,9000 |
| 01642026 | PONTE VACARIA | -16,1931 | -42,5942 | 02042010 | ABRE CAMPO | -20,2989 | -42,4781 |
| 01642027 | BARRA DO SALINAS | -16,6178 | -42,3089 | 02042011 | RIO CASCA | -20,2147 | -42,6522 |
| 01642028 | ITIRA | -16,7608 | -42,0061 | 02042014 | BICUIBA | -20,7694 | -42,3011 |
| 01643002 | BURARAMA | -16,3167 | -43,7167 | 02042015 | SERIQUITE | -20,7261 | -42,9172 |
| 01643003 | CANABRAVA | -16,3167 | -43,4167 | 02042016 | SÃO MIGUEL DO ANTA | -20,6825 | -42,8067 |
| 01643004 | CATUNI | -16,2333 | -43,2833 | 02042017 | MATIPÓ | -20,2772 | -42,3256 |
| 01643005 | FRANCISCO SÁ | -16,4833 | -43,5000 | 02042018 | PONTE NOVA JUSANTE | -20,3847 | -42,9028 |
| 01643006 | FAZENDA PENTAURA | -16,9 | -43,9000 | 02042031 | FAZENDA CACHOEIRA D'ANTAS | -20,0114 | -42,6742 |
| 01643007 | JURAMENTO | -16,8333 | -43,6 | 02043002 | LAGOA GRANDE (MMV) | -20,1792 | -43,9428 |
| 01643013 | PIRES DE ALBUQUERQUE | -16,9333 | -43,7167 | 02043004 | RIO DO PEIXE (MMV) | -20,1378 | -43,8925 |
| 01643015 | SANTA ROSA DE LIMA | -16,3 | -43,9500 | 02043005 | CONSELHEIRO LAFAIETE | -20,625 | -43,7536 |
| 01643017 | SANTA MARTA | -16,6167 | -43,3000 | 02043009 | ACAIACA - JUSANTE | -20,3625 | -43,1439 |
| 01643018 | MONTES CLAROS | -16,7333 | -43,8667 | 02043010 | PIRANGA | -20,6906 | -43,2994 |
| 01643020 | CAPITÃO ENÉAS | -16,3222 | -43,7150 | 02043011 | FAZENDA PARAÍSO | -20,39 | -43,1803 |
| 01644000 | ALVAÇÃO | -16,4333 | -44,2833 | 02043013 | CONGONHAS - LINIGRAFO | -20,5219 | -43,8300 |

| CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) | CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) |
|----------|-----------------------------|----------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|
| 01644001 | CORAÇÃO DE JESUS | -16,6667 | -44,3667 | 02043014 | PORTO FIRME | -20,6703 | -43,0881 |
| 01644002 | BRÁSILIA DE MINAS | -16,2000 | -44,4333 | 02043018 | CARANDAÍ | -20,9558 | -43,8008 |
| 01644005 | CAMPO SANTO DOS BURITIS | -16,65 | -44,0167 | 02043025 | USINA DA BRECHA | -20,5167 | -43,0167 |
| 01644006 | CANTAGALO | -16,5333 | -44,05 | 02043026 | BRAZ PIRES | -20,8475 | -43,2419 |
| 01644010 | FAZENDA BREJINHO | -16,8667 | -44,1 | 02043027 | FAZENDA OCIDENTE | -20,2856 | -43,0989 |
| 01644012 | IBIÁI | -16,8667 | -44,9167 | 02043042 | REPRESA DAS CODORNAS (MMV) | -20,1647 | -43,8919 |
| 01644013 | ICARÁI | -16,1167 | -44,7000 | 02043043 | REPRESA DO MIGUELÃO (MMV) | -20,1261 | -43,9503 |
| 01644014 | LAGOA DOS PATOS | -16,9833 | -44,6000 | 02043056 | FAZENDA ÁGUA LIMPA JUSANTE | -20,3031 | -43,6158 |
| 01644015 | LUZILÂNDIA | -16,1000 | -44,5833 | 02043057 | PCH CODORNA BARRAMENTO | -20,1656 | -43,8928 |
| 01644018 | SÃO BENTO | -16,1333 | -44,2167 | 02043058 | MIGUELÃO | -20,1667 | -43,9000 |
| 01644019 | SÃO GERALDO | -16,6833 | -44,55 | 02043060 | ITABIRITO LINIGRAFO | -20,2878 | -43,8000 |
| 01644022 | SÃO JOÃO DO PACUÍ | -16,5333 | -44,5333 | 02044001 | OLIVEIRA | -20,6833 | -44,8167 |
| 01644023 | SÃO JOAQUIM | -16,6167 | -44,7000 | 02044003 | CARMO DO CAJURU | -20,1922 | -44,7936 |
| 01644024 | UBAÍ | -16,2833 | -44,8167 | 02044005 | CARMO DA MATA | -20,5578 | -44,8675 |
| 01644025 | VISTA ALEGRE | -16,9667 | -44,2667 | 02044006 | DIVINÓPOLIS | -20,1369 | -44,8919 |
| 01644027 | BRÁSILIA DE MINAS - JUSANTE | -16,2064 | -44,4253 | 02044007 | ENTRE RIOS DE MINAS | -20,6611 | -44,0722 |
| 01644028 | SÃO JOÃO DA VEREDA | -16,7025 | -44,1172 | 02044008 | MELO FRANCO | -20,1978 | -44,1208 |
| 01645000 | SÃO ROMÃO | -16,3717 | -45,0828 | 02044009 | FAZENDA CAMPO GRANDE | -20,6253 | -44,4333 |
| 01645001 | SÃO ROMÃO | -16,3667 | -45,0667 | 02044012 | IBIRITÉ | -20,0428 | -44,0433 |
| 01645002 | SANTO INÁCIO | -16,2817 | -45,4142 | 02044016 | FAZENDA BENEDITO CHAVES | -20,1692 | -44,515 |
| 01645003 | BARRA DO ESCURO | -16,2686 | -45,2378 | 02044019 | FAZENDA VISTA ALEGRE | -20,0514 | -44,4517 |
| 01645005 | VILA URUCUIA | -16,1336 | -45,7422 | 02044020 | CALAMBAU | -20,0683 | -44,4922 |
| 01645007 | PORTO ALEGRE | -16,9089 | -45,3786 | 02044021 | ALTO DA BOA VISTA | -20,1056 | -44,4011 |
| 01645009 | CACHOEIRA DA MANTEIGA | -16,6569 | -45,0808 | 02044024 | FAZENDA CURRALINHO | -20,0075 | -44,3311 |
| 01645013 | FAZENDA ÁGUA BRANCA | -16,8072 | -45,0303 | 02044026 | FAZENDA COQUEIROS | -20,1297 | -44,4744 |
| 01645019 | FAZENDA CONCEIÇÃO | -16,4286 | -45,7422 | 02044037 | SANTO ANTÔNIO DO AMPARO | -20,9442 | -44,9075 |
| 01646000 | PORTO DOS POÇÕES | -16,8297 | -46,3222 | 02044038 | RESENDE COSTA | -20,9236 | -44,2383 |
| 01646001 | UNAI | -16,3514 | -46,8897 | 02044040 | USINA JOÃO RIBEIRO | -20,6353 | -44,0489 |
| 01646003 | SANTO ANTÔNIO DO BOQUEIRÃO | -16,5297 | -46,7211 | 02044041 | FAZENDA LARANJEIRAS - JUSANTE | -20,1022 | -44,4847 |
| 01646004 | FAZENDA O RESFRIADO | -16,5028 | -46,6628 | 02044042 | CARMO DA MATA (ETA - COPASA) | -20,5625 | -44,8675 |
| 01740000 | CARLOS CHAGAS | -17,7056 | -40,7597 | 02044043 | ESTIVA | -20,0003 | -44,4617 |
| 01740002 | FAZENDA CAJUBI | -17,9167 | -40,3000 | 02044047 | SERRA DA SAUDADE | -20,0239 | -44,4681 |
| 01740026 | SÃO PEDRO DO PAMPÁ | -17,3203 | -40,6761 | 02044050 | SÃO TIAGO | -20,8972 | -44,5003 |
| 01741001 | MUCURI | -17,595 | -41,4928 | 02044052 | JARDIM | -20,045 | -44,4078 |
| 01741003 | FAZENDA DIACUI | -17,4911 | -41,2394 | 02044053 | ESCOLA DE VETERINÁRIA | -20,0686 | -44,3450 |
| 01741006 | LADAINHA (EFBM) | -17,6294 | -41,7372 | 02044054 | SERRA AZUL | -20,0867 | -44,4272 |
| 01741007 | PEDRO VERSIANI (EFBM) | -17,8803 | -41,3147 | 02045001 | BAMBUÍ | -20,0211 | -45,9661 |
| 01741009 | FRANCISCO SÁ (EFBM) | -17,7386 | -41,1211 | 02045002 | IGUATAMA | -20,1789 | -45,7003 |
| 01741012 | TEÓFILO OTONI | -17,85 | -41,5167 | 02045004 | SANTANA DO JACARÉ | -20,905 | -45,125 |
| 01742000 | MINAS NOVAS | -17,2333 | -42,6333 | 02045005 | LAMOUNIER | -20,4722 | -45,0361 |
| 01742008 | CARBONITA | -17,5794 | -42,9950 | 02045010 | ARCOS (COPASA) | -20,2947 | -45,5428 |
| 01742014 | CAPELINHA | -17,6917 | -42,5261 | 02045011 | LAGOA DA PRATA | -20,0367 | -45,5353 |
| 01742019 | ÁGUA BOA | -17,9922 | -42,3939 | 02045012 | PIUMHI | -20,4619 | -45,9450 |

| CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) | CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) |
|----------|-----------------------------|----------|----------|----------|-------------------------|----------|----------|
| 01742020 | FAZENDA FACÃO | -16,9711 | -42,1156 | 02045013 | SANTO ANTÔNIO DO MONTE | -20,0844 | -45,2967 |
| 01742022 | PONTE ALTA | -17,2825 | -42,8078 | 02045020 | CANDÉIAS | -20,76 | -45,2742 |
| 01742023 | MINAS NOVAS | -17,2192 | -42,5889 | 02045021 | FORMIGA | -20,4572 | -45,4192 |
| 01743002 | VILA TERRA BRANCA - JUSANTE | -17,3128 | -43,2078 | 02045026 | ILICÍNEA | -20,9453 | -45,8236 |
| 01744002 | JATOBÁ | -17,2 | -44,6667 | 02046001 | ITAÚ DE MINAS | -20,7392 | -46,7353 |
| 01744005 | PIRAPORA | -17,3667 | -44,9333 | 02046007 | FAZENDA AJUDAS | -20,1017 | -46,055 |
| 01744009 | VÁRZEA DA PALMA | -17,5961 | -44,7011 | 02046009 | DELFINÓPOLIS | -20,3478 | -46,8458 |
| 01744010 | LASSANCE | -17,89 | -44,5767 | 02046011 | USINA SANTANA | -20,8111 | -46,8081 |
| 01744025 | PIRAPORA | -17,35 | -44,9500 | 02046013 | VARGEM BONITA | -20,33 | -46,3661 |
| 01744026 | PIRAPORA | -17,3667 | -44,9333 | 02047037 | DESEMBOQUE | -20,0136 | -47,0192 |
| 01744030 | ESTAÇÃO DE CURIMATAI | -17,9953 | -44,1767 | 02048049 | FRUTAL | -20,0333 | -48,9333 |
| 01745000 | CAATINGA | -17,1458 | -45,8803 | 02049070 | UHE MARIMBONDO MET | -20,2925 | -49,1967 |
| 01745001 | CACHOEIRA DO PAREDÃO | -17,1111 | -45,4378 | 02142000 | ASTOLFO DUTRA | -21,3069 | -42,8606 |
| 01745007 | PORTO DO CAVALO | -17,0269 | -45,5406 | 02142001 | CATAGUASES | -21,3894 | -42,6964 |
| 01745014 | FAZENDA SANTANA | -17,8253 | -45,4792 | 02142002 | PATROCÍNIO DO MURIAÉ | -21,15 | -42,2011 |
| 01746001 | PORTO DA EXTREMA | -17,0308 | -46,0136 | 02142003 | USINA CORONEL DOMICIANO | -21 | -42,4833 |
| 01746002 | SANTA ROSA | -17,2553 | -46,4739 | 02142006 | USINA MAURÍCIO | -21,4714 | -42,8131 |
| 01746006 | PONTE DA BR-040 - PRATA | -17,6636 | -46,355 | 02142008 | VOLTA GRANDE | -21,7692 | -42,5397 |
| 01746007 | PONTE DA BR-040 - PARACATU | -17,4972 | -46,5817 | 02142009 | JUSSARA | -20,9114 | -42,3481 |
| 01746012 | JOÃO PINHEIRO | -17,7 | -46,1667 | 02143000 | USINA ITUERÉ | -21,3094 | -43,2022 |
| 01746017 | FAZENDA POÇÕES | -17,0419 | -46,8178 | 02143001 | GUARANI | -21,3556 | -43,0503 |
| 01746018 | FAZENDA LIMOEIRO | -17,9156 | -47,0106 | 02143003 | DESTERRO DO MELO | -21,1492 | -43,5200 |
| 01746019 | FAZENDA CÓRREGO DO OURO | -17,6133 | -46,8592 | 02143005 | CAMPOLIDE | -21,2789 | -43,8200 |
| 01747005 | GUARDA-MOR | -17,7725 | -47,0986 | 02143006 | BARROSO | -21,1872 | -43,9800 |
| 01841001 | VILA MÁTIAS - MONTANTE | -18,5747 | -41,9178 | 02143009 | USINA BARBACENA | -21,2747 | -43,8786 |
| 01841003 | CAMPANÁRIO | -18,2386 | -41,7486 | 02143010 | BARBACENA | -21,2167 | -43,7667 |
| 01841006 | VARGEM GRANDE | -18,6811 | -41,1967 | 02143011 | CONCEIÇÃO DO IBITIPOCA | -21,7578 | -43,9178 |
| 01841007 | FIDELÂNDIA - MONTANTE | -18,2031 | -41,2483 | 02143012 | JUIZ DE FORA | -21,75 | -43,3333 |
| 01841008 | ATALÉIA | -18,0469 | -41,1144 | 02143013 | ESTEVÃO PINTO | -21,8964 | -43,0414 |
| 01841011 | TUMIRITINGA | -18,9764 | -41,6403 | 02143016 | TORREÕES | -21,8692 | -43,5556 |
| 01841014 | ITAMBACURI | -18,0167 | -41,7000 | 02143017 | TABULEIRO | -21,355 | -43,2469 |
| 01841015 | GOVERNADOR VALADARES | -18,85 | -41,9333 | 02143018 | RIO NOVO | -21,4725 | -43,1211 |
| 01841018 | CENTRAL DE MINAS | -18,7631 | -41,3083 | 02143019 | USINA BRUMADO | -21,8556 | -43,8864 |
| 01841019 | DIVINO DAS LARANJEIRAS | -18,7769 | -41,4828 | 02143020 | CHAPEU D'UVAS | -21,5933 | -43,5033 |
| 01841020 | GOVERNADOR VALADARES | -18,8831 | -41,9503 | 02143022 | PIAU | -21,4994 | -43,1536 |
| 01842005 | COROACI | -18,6119 | -42,2786 | 02143055 | BARBACENA | -21,25 | -43,7667 |
| 01842007 | GUANHÃES | -18,7722 | -42,9311 | 02143056 | JUIZ DE FORA | -21,7672 | -43,3136 |
| 01842008 | SANTA MARIA DO SUAÇUÍ | -18,2011 | -42,4553 | 02143062 | SANTOS DUMONT | -21,4311 | -43,5531 |
| 01842020 | SÃO JOÃO EVANGELISTA | -18,5528 | -42,7642 | 02144000 | BOM SUCESSO | -21,0339 | -44,7719 |
| 01843000 | USINA PARAUNA | -18,6356 | -43,9658 | 02144001 | BOM JARDIM DE MINAS | -21,9472 | -44,1939 |
| 01843002 | GOUVEIA | -18,4656 | -43,7431 | 02144004 | BAEPENDI | -21,9511 | -44,8761 |
| 01843003 | MENDANHA - MONTANTE | -18,1133 | -43,5203 | 02144005 | ITUMIRIM | -21,3208 | -44,8728 |
| 01843009 | DIAMANTINA | -18,25 | -43,6000 | 02144006 | LUMINARIAS | -21,5069 | -44,9156 |

| CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) | CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) |
|----------|--------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|
| 01843011 | SERRO | -18,5928 | -43,4125 | 02144007 | MADRE DE DEUS DE MINAS | -21,4922 | -44,3261 |
| 01843012 | RIO VERMELHO | -18,2797 | -43,0006 | 02144009 | PORTO DO ELVAS | -21,165 | -44,1356 |
| 01844000 | CURVELO | -18,7661 | -44,4261 | 02144010 | SÃO VICENTE DE MINAS | -21,6992 | -44,4389 |
| 01844001 | SANTO HIPÓLITO | -18,3061 | -44,2258 | 02144016 | TABUÃO | -21,9872 | -44,0322 |
| 01844003 | PONTE DO LICÍNIO | -18,6819 | -44,6761 | 02144018 | AIURUOCA | -21,9772 | -44,6033 |
| 01844009 | PRESIDENTE JUSCELINO - JUSANTE | -18,6439 | -44,0481 | 02144019 | ANDRELÂNDIA | -21,7347 | -44,3122 |
| 01844010 | PONTE DO LICÍNIO - JUSANTE | -18,6714 | -44,1914 | 02144020 | USINA SÃO JOÃO DEL REI | -21,0556 | -44,2089 |
| 01844015 | CURVELO | -18,7667 | -44,4333 | 02144021 | FAZENDA LARANJEIRAS | -21,6747 | -44,3406 |
| 01844017 | CORINTO | -18,3722 | -44,4436 | 02144022 | FAZENDA PARAÍBA | -21,7458 | -44,3547 |
| 01844018 | PONTE DO BICUDO | -18,1908 | -44,5556 | 02144023 | IBITURUNA | -21,1431 | -44,7378 |
| 01844019 | MORRO DA GARÇA | -18,5417 | -44,5989 | 02144024 | VILA RIO DAS MORTES | -21,1894 | -44,3289 |
| 01845002 | FAZENDA SÃO FÉLIX | -18,4644 | -45,6467 | 02144025 | CARVALHOS | -21,9981 | -44,4636 |
| 01845004 | LAGOA DO GOUVÉIA | -18,8414 | -45,8514 | 02144026 | MACAIA | -21,145 | -44,9136 |
| 01845014 | TIROS | -18,9997 | -45,9661 | 02144032 | SÃO JOÃO DEL REI | -21,1333 | -44,2667 |
| 01845021 | CANOEIROS | -18,0383 | -45,5236 | 02144037 | CRUZÍLIA | -21,8353 | -44,8008 |
| 01846002 | CHARQUEADA DO PATROCÍNIO | -18,93 | -46,9667 | 02144038 | CARRANCAS | -21,4842 | -44,6433 |
| 01846003 | MAJOR PORTO | -18,7069 | -46,0369 | 02145001 | CONCEIÇÃO DO RIO VERDE | -21,8872 | -45,0792 |
| 01846004 | GUIMARANIA | -18,8497 | -46,8008 | 02145003 | TRÊS CORAÇÕES | -21,7208 | -45,2644 |
| 01846005 | PRESIDENTE OLEGÁRIO | -18,4125 | -46,4222 | 02145007 | USINA COURO DO CERVO | -21,3436 | -45,1703 |
| 01846006 | PANTANO | -18,5594 | -46,8003 | 02145008 | FAZENDA JUCA CASIMIRO | -21,8742 | -45,2583 |
| 01846016 | PONTE FIRME | -18,0339 | -46,4194 | 02145017 | MONSENHOR PAULO | -21,7603 | -45,5378 |
| 01846017 | LEAL DE PATOS | -18,6411 | -46,3344 | 02145018 | USINA DE VARGINHA | -21,6167 | -45,4000 |
| 01846018 | PATOS DE MINAS | -18,6 | -46,5167 | 02145020 | CHÁCARA SANTANA | -21,6783 | -45,2597 |
| 01846019 | ROCINHA | -18,3736 | -46,9150 | 02145021 | USINA NEPOMUCENO | -21,2575 | -45,1736 |
| 01846023 | LAGAMAR | -18,1828 | -46,8042 | 02145022 | PARAGUAÇU | -21,5853 | -45,6739 |
| 01847000 | MONTE CARMELO | -18,7206 | -47,5244 | 02145023 | PORTO DOS BUENOS | -21,6106 | -45,4894 |
| 01847001 | ESTRELA DO SUL | -18,7381 | -47,6900 | 02145024 | PALMELA DOS COELHOS | -21,7864 | -45,4403 |
| 01847003 | ABADIA DOS DOURADOS | -18,4911 | -47,4064 | 02145032 | COQUEIRAL | -21,1928 | -45,4486 |
| 01847007 | CASCALHO RICO | -18,5789 | -47,8792 | 02145036 | LAVRAS | -21,2333 | -45,0000 |
| 01847008 | COROMANDEL | -18,4711 | -47,1883 | 02145041 | CAMPOS GERAIS | -21,2406 | -45,7572 |
| 01847010 | IRÁI DE MINAS | -18,9819 | -47,4575 | 02145043 | TRÊS PONTAS | -21,3614 | -45,5011 |
| 01848000 | MONTE ALEGRE DE MINAS | -18,8722 | -48,8694 | 02146026 | GUAXUPÉ | -21,2936 | -46,7039 |
| 01848004 | FAZENDA CACHOEIRA | -18,6983 | -48,7819 | 02146027 | JURÉIA | -21,2789 | -46,3608 |
| 01848006 | TUPACIGUARA | -18,6008 | -48,6908 | 02146028 | CACHOEIRA DO CARMO | -21,7225 | -46,4386 |
| 01848008 | BRILHANTE | -18,4922 | -48,9028 | 02146029 | CACHOEIRA POÇO FUNDO | -21,7908 | -46,1242 |
| 01848009 | XAPETUBA | -18,8625 | -48,5839 | 02146030 | MUZAMBINHO | -21,3806 | -46,5189 |
| 01848010 | ARAGUARI | -18,6511 | -48,2092 | 02146036 | MONTE BELO | -21,3167 | -46,3500 |
| 01849000 | ITUIUTABA | -18,9411 | -49,4631 | 02146048 | POÇOS DE CALDAS | -21,7833 | -46,5500 |
| 01849002 | IPIAÇU | -18,6919 | -49,9486 | 02146081 | ONÇA | -21,3136 | -46,8722 |
| 01849006 | AVANTIGUARA | -18,7719 | -49,0697 | 02146084 | PCH POÇO FUNDO BARRAMENTO | -21,8064 | -46,1353 |
| 01849017 | CAPINÓPOLIS | -18,6833 | -49,5667 | 02147054 | FAZENDA CARVALHAIS | -21,1331 | -47,0219 |
| 01941000 | IPANEMA | -19,7989 | -41,7061 | 02243019 | PARAPEUNA | -22,0833 | -43,8333 |
| 01941004 | RESPLENDOR - JUSANTE | -19,3431 | -41,2461 | 02243202 | FAZENDA SÃO GABRIEL | -22,0117 | -43,8750 |
| 01941005 | BARRA DO CUIETÉ - JUSANTE | -19,0617 | -41,5328 | 02244036 | ZELINDA | -22,2431 | -44,2636 |

| CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) | CÓDIGO | ESTAÇÃO | LAT (°) | LONG (°) |
|----------|---------------------------------|----------|----------|----------|--|----------|----------|
| 01941006 | ASSARAI - MONTANTE | -19,5947 | -41,4581 | 02244054 | USINA CONGONHAL | -22,1211 | -44,8425 |
| 01941010 | SÃO SEBASTIÃO DA ENCRUZILHADA | -19,4925 | -41,1617 | 02244058 | MIRANTÃO (CAPELINHA DAS FLORES) | -22,2539 | -44,4950 |
| 01941011 | SANTO ANTÔNIO DO MANHUAÇU | -19,6783 | -41,8361 | 02244062 | PASSA QUATRO (INMET) | -22,3833 | -44,9667 |
| 01941018 | ITANHOMI | -19,1617 | -41,8622 | 02244063 | USINA POUSO ALTO | -22,1833 | -44,9667 |
| 01941019 | MUTUM | -19,8111 | -41,4378 | 02244064 | PEDREIRA (PACAU) | -22,0261 | -44,1736 |
| 01942001 | CACHOEIRA ESCURA | -19,3833 | -42,3667 | 02244068 | ITANHANDU | -22,2944 | -44,9392 |
| 01942002 | BOM JESUS DO GALHO | -19,8336 | -42,3178 | 02244071 | POUSO ALTO | -22,1992 | -44,9733 |
| 01942008 | DOM CAVATI | -19,3736 | -42,105 | 02245064 | DELFIN MOREIRA | -22,5097 | -45,2867 |
| 01942021 | CARATINGA | -19,7356 | -42,1375 | 02245065 | CRISTINA - MONTANTE | -22,2103 | -45,2658 |
| 01942029 | MARIO DE CARVALHO | -19,5247 | -42,6442 | 02245070 | BRASÓPOLIS | -22,4714 | -45,6219 |
| 01942030 | BELO ORIENTE | -19,3164 | -42,3961 | 02245074 | UHE MARECHAL MASCARENHAS DE MORAES RIO SAPUCAÍ | -22,0533 | -45,6992 |
| 01942031 | CACHOEIRA DOS ÓCULOS - MONTANTE | -19,7769 | -42,4769 | 02245077 | POUSO ALEGRE | -22,2447 | -45,9597 |
| 01943001 | RIO PIRACICABA | -19,9228 | -43,1778 | 02245081 | SÃO LOURENÇO (INMET) | -22,1167 | -45,05 |
| 01943002 | CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO | -19,0167 | -43,4442 | 02245083 | SÃO JOÃO DE ITAJUBÁ | -22,3756 | -45,4469 |
| 01943004 | JABOTICATUBAS | -19,5206 | -43,7444 | 02245085 | VARGEM DO CERVO | -22,1322 | -45,9178 |
| 01943005 | NOVA ERA | -19,7667 | -43,05 | 02245086 | PONTE DO RODRIGUES | -22,3542 | -45,8539 |
| 01943006 | SABARÁ | -19,8931 | -43,815 | 02245087 | BAIRRO SANTA CRUZ | -22,4069 | -45,215 |
| 01943007 | SANTA BÁRBARA | -19,9453 | -43,4011 | 02245088 | MARIA DA FÉ | -22,3147 | -45,3731 |
| 01943008 | SANTA MARIA DO ITABIRA | -19,4403 | -43,1186 | 02245089 | SILVIANÓPOLIS | -22,0342 | -45,8353 |
| 01943009 | VESPASIANO | -19,6872 | -43,9208 | 02245090 | CONCEIÇÃO DAS PEDRAS | -22,1622 | -45,4581 |
| 01943010 | CAETÉ | -19,9028 | -43,6664 | 02245104 | SAPUCAÍ-MIRIM | -22,7453 | -45,7447 |
| 01943011 | INSTITUTO AGRONÔMICO | -19,9167 | -43,9000 | 02245107 | SÃO LOURENÇO | -22,1 | -45,0167 |
| 01943012 | LAGOA SANTA | -19,6333 | -43,9000 | 02246048 | OURO FINO | -22,2833 | -46,3667 |
| 01943022 | CAIXA DE AREIA | -19,9450 | -43,9125 | 02246050 | CAMBUÍ (CSME) | -22,6078 | -46,0394 |
| 01943023 | TAQUARAÇU | -19,6639 | -43,6881 | 02246127 | BORDA DA MATA | -22,2772 | -46,1639 |
| 01943024 | JOSÉ DE MELO | -19,6897 | -43,5856 | - | - | - | - |

APÊNDICE B – Fator K por estação – Dados históricos

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------|------------|---------|----------|------------|---------|
| 01442021 | 69,16 | 4,37 | 01943025 | 99,26 | 5,28 |
| 01443001 | 69,10 | 3,87 | 01943027 | 89,97 | 3,26 |
| 01443003 | 70,23 | 2,62 | 01943035 | 87,99 | 4,15 |
| 01443004 | 71,69 | 5,56 | 01943042 | 87,22 | 6,36 |
| 01443007 | 71,61 | 2,13 | 01943049 | 69,34 | 3,84 |
| 01443008 | 73,51 | 3,70 | 01943055 | 90,72 | 2,76 |
| 01443009 | 68,68 | 2,99 | 01943061 | 65,96 | 1,74 |
| 01444000 | 78,57 | 3,39 | 01944000 | 82,42 | 3,29 |
| 01444001 | 77,02 | 3,69 | 01944003 | 81,56 | 2,15 |
| 01444003 | 81,38 | 2,72 | 01944004 | 81,47 | 3,58 |
| 01444005 | 85,02 | 4,59 | 01944005 | 66,04 | 2,48 |
| 01541003 | 54,29 | 2,24 | 01944009 | 79,09 | 3,73 |
| 01541004 | 78,55 | 2,15 | 01944010 | 85,24 | 3,42 |
| 01541010 | 75,39 | 2,78 | 01944011 | 72,91 | 2,52 |
| 01541013 | 75,79 | 2,57 | 01944016 | 86,41 | 2,32 |
| 01542000 | 70,38 | 2,16 | 01944020 | 72,57 | 5,86 |
| 01542003 | 31,61 | 5,11 | 01944021 | 77,36 | 2,93 |
| 01542005 | 55,51 | 4,31 | 01944024 | 78,85 | 4,19 |
| 01542006 | 73,77 | 1,68 | 01944026 | 82,83 | 3,28 |
| 01542007 | 71,37 | 1,99 | 01944027 | 85,93 | 2,18 |
| 01542008 | 67,21 | 2,53 | 01944031 | 74,89 | 2,40 |
| 01542009 | 64,86 | 2,12 | 01944032 | 81,79 | 2,52 |
| 01542014 | 73,71 | 2,97 | 01944049 | 87,60 | 2,92 |
| 01542015 | 74,11 | 2,53 | 01944052 | 85,92 | 2,94 |
| 01542016 | 66,40 | 2,48 | 01944055 | 80,61 | 3,30 |
| 01543001 | 71,18 | 2,89 | 01944059 | 82,28 | 3,35 |
| 01543002 | 71,57 | 8,92 | 01944062 | 85,61 | 2,67 |
| 01543003 | 72,40 | 3,00 | 01945000 | 70,88 | 3,18 |
| 01543004 | 73,88 | 3,51 | 01945008 | 85,55 | 3,13 |
| 01543007 | 70,88 | 2,43 | 01945019 | 82,83 | 2,76 |
| 01543010 | 79,65 | 4,70 | 01945035 | 84,92 | 3,41 |
| 01543011 | 66,25 | 3,41 | 01945038 | 84,93 | 3,08 |
| 01543013 | 74,06 | 3,65 | 01945039 | 75,16 | 4,99 |
| 01544005 | 76,80 | 3,43 | 01946000 | 80,53 | 5,35 |
| 01544006 | 64,83 | 5,12 | 01946002 | 80,24 | 2,73 |
| 01544009 | 49,03 | 2,06 | 01946004 | 76,87 | 3,95 |
| 01544010 | 61,91 | 2,13 | 01946005 | 75,65 | 3,81 |
| 01544011 | 72,95 | 3,06 | 01946007 | 73,92 | 3,71 |
| 01544012 | 79,11 | 5,10 | 01946008 | 82,90 | 2,67 |
| 01544013 | 81,36 | 3,85 | 01946009 | 82,44 | 2,29 |
| 01544014 | 70,15 | 3,83 | 01946010 | 80,01 | 3,93 |
| 01544015 | 63,77 | 3,86 | 01946011 | 77,97 | 4,30 |
| 01544017 | 73,02 | 5,88 | 01946022 | 77,21 | 3,94 |
| 01544018 | 75,00 | 2,10 | 01947001 | 76,48 | 3,01 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01544019 | 71,68 | 3,31 | 01947002 | 82,98 | 2,84 |
| 01544030 | 74,84 | 2,70 | 01947006 | 78,87 | 4,07 |
| 01544032 | 70,04 | 3,07 | 01947007 | 79,44 | 3,06 |
| 01545002 | 79,64 | 2,92 | 01947008 | 77,20 | 3,80 |
| 01546000 | 74,00 | 2,56 | 01947009 | 90,43 | 4,47 |
| 01546001 | 74,86 | 8,67 | 01947016 | 83,23 | 3,73 |
| 01546010 | 85,85 | 3,16 | 01948001 | 72,66 | 2,90 |
| 01640000 | 73,82 | 3,41 | 01948003 | 86,26 | 2,51 |
| 01640001 | 72,00 | 3,51 | 01948005 | 87,92 | 2,58 |
| 01640007 | 71,73 | 2,80 | 01948006 | 81,55 | 1,85 |
| 01641001 | 66,80 | 2,87 | 01948007 | 88,93 | 3,41 |
| 01641002 | 72,95 | 3,29 | 01948010 | 85,72 | 3,59 |
| 01641007 | 69,18 | 6,45 | 01949000 | 84,98 | 2,16 |
| 01641008 | 76,56 | 3,04 | 01949002 | 85,63 | 3,11 |
| 01641010 | 67,71 | 2,41 | 01949003 | 81,70 | 2,79 |
| 01641011 | 80,55 | 3,12 | 01949004 | 81,92 | 4,47 |
| 01641012 | 71,07 | 2,26 | 01949005 | 88,63 | 4,67 |
| 01642000 | 68,88 | 2,19 | 01949006 | 83,70 | 2,91 |
| 01642002 | 72,93 | 3,06 | 01949007 | 81,17 | 2,52 |
| 01642004 | 80,40 | 2,95 | 01950011 | 82,56 | 2,73 |
| 01642005 | 102,82 | 2,23 | 02041005 | 76,14 | 3,82 |
| 01642006 | 63,94 | 4,12 | 02042000 | 75,78 | 5,89 |
| 01642007 | 71,99 | 3,56 | 02042002 | 71,86 | 2,55 |
| 01642008 | 69,56 | 2,90 | 02042005 | 66,10 | 5,10 |
| 01642013 | 73,56 | 6,78 | 02042008 | 81,88 | 2,32 |
| 01642014 | 78,59 | 2,60 | 02042009 | 66,52 | 2,93 |
| 01642026 | 70,34 | 1,89 | 02042010 | 74,70 | 4,61 |
| 01642027 | 77,60 | 2,71 | 02042011 | 82,32 | 2,62 |
| 01642028 | 69,74 | 2,05 | 02042014 | 76,55 | 3,13 |
| 01643002 | 67,24 | 3,10 | 02042015 | 76,55 | 5,45 |
| 01643003 | 75,71 | 2,54 | 02042016 | 74,08 | 2,66 |
| 01643004 | 55,77 | 2,65 | 02042017 | 75,16 | 3,01 |
| 01643005 | 57,80 | 2,85 | 02042018 | 82,18 | 3,44 |
| 01643006 | 69,87 | 6,59 | 02042031 | 87,11 | 2,48 |
| 01643007 | 66,04 | 3,48 | 02043002 | 84,84 | 4,41 |
| 01643013 | 73,92 | 3,36 | 02043004 | 92,49 | 4,94 |
| 01643015 | 80,39 | 3,68 | 02043005 | 72,84 | 3,94 |
| 01643017 | 76,86 | 3,43 | 02043009 | 78,68 | 3,77 |
| 01643018 | 88,86 | 3,38 | 02043010 | 75,64 | 3,30 |
| 01643020 | 72,73 | 2,11 | 02043011 | 82,22 | 3,45 |
| 01644000 | 69,71 | 3,67 | 02043013 | 74,80 | 6,44 |
| 01644001 | 63,50 | 3,13 | 02043014 | 83,61 | 3,41 |
| 01644002 | 63,67 | 2,15 | 02043018 | 76,28 | 5,95 |
| 01644005 | 73,92 | 3,13 | 02043025 | 82,44 | 3,19 |
| 01644006 | 74,49 | 2,84 | 02043026 | 72,57 | 4,00 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01644010 | 50,33 | 6,05 | 02043027 | 77,24 | 3,91 |
| 01644012 | 87,48 | 3,26 | 02043042 | 87,55 | 3,86 |
| 01644013 | 80,31 | 3,36 | 02043043 | 94,71 | 3,74 |
| 01644014 | 59,63 | 3,56 | 02043056 | 71,46 | 4,24 |
| 01644015 | 77,09 | 6,73 | 02043057 | 75,96 | 5,65 |
| 01644018 | 73,36 | 4,48 | 02043058 | 77,83 | 2,30 |
| 01644019 | 68,45 | 3,70 | 02043060 | 74,85 | 8,36 |
| 01644022 | 57,57 | 2,58 | 02044001 | 73,84 | 3,46 |
| 01644023 | 79,75 | 2,22 | 02044003 | 82,44 | 3,72 |
| 01644024 | 54,80 | 2,36 | 02044005 | 76,64 | 2,93 |
| 01644025 | 79,02 | 3,00 | 02044006 | 75,68 | 3,25 |
| 01644027 | 68,12 | 2,75 | 02044007 | 81,90 | 7,11 |
| 01644028 | 80,53 | 5,19 | 02044008 | 76,06 | 3,89 |
| 01645000 | 81,95 | 3,81 | 02044009 | 80,32 | 5,34 |
| 01645001 | 76,43 | 7,14 | 02044012 | 90,65 | 4,18 |
| 01645002 | 74,83 | 1,89 | 02044016 | 78,38 | 2,71 |
| 01645003 | 78,21 | 4,14 | 02044019 | 79,43 | 3,42 |
| 01645005 | 77,51 | 4,79 | 02044020 | 79,26 | 2,96 |
| 01645007 | 70,97 | 2,34 | 02044021 | 84,74 | 3,51 |
| 01645009 | 79,67 | 3,19 | 02044024 | 86,01 | 3,89 |
| 01645013 | 91,18 | 3,39 | 02044026 | 81,70 | 4,69 |
| 01645019 | 86,01 | 4,25 | 02044037 | 75,28 | 4,92 |
| 01646000 | 70,20 | 2,09 | 02044038 | 80,83 | 2,57 |
| 01646001 | 79,80 | 5,57 | 02044040 | 72,81 | 2,60 |
| 01646003 | 79,97 | 7,09 | 02044041 | 85,00 | 5,83 |
| 01646004 | 76,21 | 1,85 | 02044042 | 88,92 | 3,05 |
| 01740000 | 75,13 | 2,76 | 02044043 | 88,74 | 4,62 |
| 01740002 | 73,28 | 4,06 | 02044047 | 73,24 | 2,73 |
| 01740026 | 79,94 | 3,91 | 02044050 | 83,81 | 3,83 |
| 01741001 | 74,14 | 5,66 | 02044052 | 83,28 | 5,32 |
| 01741003 | 66,50 | 3,00 | 02044053 | 84,22 | 2,54 |
| 01741006 | 71,07 | 2,29 | 02044054 | 79,28 | 4,58 |
| 01741007 | 74,74 | 3,72 | 02045001 | 83,33 | 4,81 |
| 01741009 | 81,31 | 4,84 | 02045002 | 76,62 | 3,94 |
| 01741012 | 72,22 | 4,01 | 02045004 | 66,73 | 2,58 |
| 01742000 | 94,38 | 3,49 | 02045005 | 87,39 | 3,22 |
| 01742008 | 73,55 | 2,00 | 02045010 | 89,18 | 2,46 |
| 01742014 | 78,32 | 2,54 | 02045011 | 86,04 | 2,74 |
| 01742019 | 79,69 | 2,79 | 02045012 | 81,78 | 3,14 |
| 01742020 | 76,79 | 3,65 | 02045013 | 86,68 | 3,21 |
| 01742022 | 69,34 | 3,91 | 02045020 | 82,26 | 7,13 |
| 01742023 | 76,66 | 2,40 | 02045021 | 77,47 | 2,70 |
| 01743002 | 77,85 | 3,91 | 02045026 | 75,92 | 2,49 |
| 01744002 | 71,74 | 1,84 | 02046001 | 71,40 | 2,20 |
| 01744005 | 79,45 | 3,15 | 02046007 | 76,64 | 7,05 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01744009 | 77,73 | 5,39 | 02046009 | 70,34 | 2,40 |
| 01744010 | 74,31 | 3,93 | 02046011 | 75,86 | 3,54 |
| 01744025 | 74,93 | 3,25 | 02046013 | 89,71 | 3,13 |
| 01744026 | 66,40 | 2,78 | 02047037 | 80,33 | 3,65 |
| 01744030 | 66,75 | 7,50 | 02048049 | 69,64 | 3,12 |
| 01745000 | 81,53 | 2,59 | 02049070 | 79,42 | 3,00 |
| 01745001 | 84,68 | 2,50 | 02142000 | 82,47 | 2,80 |
| 01745007 | 80,85 | 2,28 | 02142001 | 90,58 | 3,75 |
| 01745014 | 74,80 | 2,44 | 02142002 | 87,74 | 4,98 |
| 01746001 | 82,04 | 2,95 | 02142003 | 87,60 | 2,23 |
| 01746002 | 82,12 | 3,96 | 02142006 | 91,55 | 2,78 |
| 01746006 | 67,18 | 2,74 | 02142008 | 79,95 | 3,92 |
| 01746007 | 84,78 | 3,62 | 02142009 | 81,84 | 4,37 |
| 01746012 | 76,29 | 2,66 | 02143000 | 74,15 | 5,52 |
| 01746017 | 88,52 | 4,63 | 02143001 | 73,38 | 4,47 |
| 01746018 | 71,90 | 2,79 | 02143003 | 86,96 | 4,20 |
| 01746019 | 78,82 | 1,94 | 02143005 | 83,54 | 6,32 |
| 01747005 | 85,11 | 4,04 | 02143006 | 76,99 | 3,48 |
| 01841001 | 86,45 | 3,09 | 02143009 | 76,43 | 6,91 |
| 01841003 | 72,27 | 2,19 | 02143010 | 76,42 | 3,25 |
| 01841006 | 69,87 | 3,09 | 02143011 | 81,44 | 3,30 |
| 01841007 | 78,98 | 3,13 | 02143012 | 81,26 | 6,40 |
| 01841008 | 86,79 | 2,82 | 02143013 | 71,16 | 3,68 |
| 01841011 | 80,75 | 3,47 | 02143016 | 81,00 | 4,03 |
| 01841014 | 66,35 | 2,94 | 02143017 | 89,54 | 3,76 |
| 01841015 | 79,18 | 3,38 | 02143018 | 78,97 | 4,63 |
| 01841018 | 73,15 | 3,69 | 02143019 | 75,47 | 3,29 |
| 01841019 | 79,12 | 4,15 | 02143020 | 80,89 | 3,15 |
| 01841020 | 88,19 | 3,78 | 02143022 | 77,92 | 2,92 |
| 01842005 | 87,73 | 2,44 | 02143055 | 78,11 | 2,26 |
| 01842007 | 79,40 | 3,59 | 02143056 | 85,57 | 2,15 |
| 01842008 | 76,87 | 7,65 | 02143062 | 79,49 | 2,77 |
| 01842020 | 75,44 | 2,67 | 02144000 | 73,29 | 3,14 |
| 01843000 | 73,30 | 2,71 | 02144001 | 69,75 | 4,49 |
| 01843002 | 75,07 | 3,46 | 02144004 | 70,25 | 4,05 |
| 01843003 | 79,31 | 3,20 | 02144005 | 79,40 | 5,05 |
| 01843009 | 80,57 | 5,18 | 02144006 | 74,68 | 3,49 |
| 01843011 | 78,40 | 4,12 | 02144007 | 80,77 | 2,69 |
| 01843012 | 72,81 | 2,20 | 02144009 | 78,61 | 4,08 |
| 01844000 | 68,65 | 3,20 | 02144010 | 69,48 | 3,27 |
| 01844001 | 70,94 | 4,59 | 02144016 | 76,28 | 2,83 |
| 01844003 | 72,43 | 3,59 | 02144018 | 85,42 | 6,97 |
| 01844009 | 69,40 | 4,45 | 02144019 | 76,92 | 3,43 |
| 01844010 | 72,86 | 2,48 | 02144020 | 80,66 | 5,59 |
| 01844015 | 72,01 | 3,38 | 02144021 | 78,70 | 6,19 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01844017 | 77,87 | 3,08 | 02144022 | 74,55 | 3,54 |
| 01844018 | 69,29 | 3,71 | 02144023 | 79,84 | 4,87 |
| 01844019 | 88,34 | 3,69 | 02144024 | 71,79 | 5,89 |
| 01845002 | 80,27 | 2,75 | 02144025 | 83,03 | 3,42 |
| 01845004 | 84,86 | 3,00 | 02144026 | 71,42 | 2,30 |
| 01845014 | 76,77 | 3,51 | 02144032 | 78,51 | 7,65 |
| 01845021 | 75,36 | 2,82 | 02144037 | 69,39 | 3,48 |
| 01846002 | 80,96 | 2,52 | 02144038 | 70,21 | 4,98 |
| 01846003 | 76,77 | 4,13 | 02145001 | 77,55 | 4,33 |
| 01846004 | 73,50 | 2,23 | 02145003 | 80,10 | 3,67 |
| 01846005 | 88,31 | 3,08 | 02145007 | 78,01 | 4,58 |
| 01846006 | 88,48 | 3,87 | 02145008 | 76,85 | 5,69 |
| 01846016 | 87,64 | 4,81 | 02145017 | 76,25 | 3,95 |
| 01846017 | 79,95 | 3,75 | 02145018 | 64,37 | 2,33 |
| 01846018 | 89,28 | 3,72 | 02145020 | 53,28 | 2,48 |
| 01846019 | 91,91 | 4,46 | 02145021 | 83,22 | 3,75 |
| 01846023 | 92,16 | 3,45 | 02145022 | 74,32 | 4,34 |
| 01847000 | 80,41 | 2,73 | 02145023 | 74,91 | 3,66 |
| 01847001 | 85,60 | 3,68 | 02145024 | 70,16 | 6,76 |
| 01847003 | 77,74 | 2,41 | 02145032 | 80,49 | 3,17 |
| 01847007 | 94,45 | 4,97 | 02145036 | 84,07 | 5,10 |
| 01847008 | 98,69 | 3,42 | 02145041 | 79,86 | 2,80 |
| 01847010 | 73,32 | 2,20 | 02145043 | 77,96 | 2,52 |
| 01848000 | 83,26 | 2,83 | 02146026 | 75,36 | 3,92 |
| 01848004 | 80,37 | 2,54 | 02146027 | 72,23 | 4,69 |
| 01848006 | 84,63 | 2,80 | 02146028 | 73,45 | 2,95 |
| 01848008 | 92,26 | 2,52 | 02146029 | 79,03 | 3,74 |
| 01848009 | 81,18 | 2,65 | 02146030 | 76,65 | 4,85 |
| 01848010 | 81,92 | 2,81 | 02146036 | 70,09 | 3,27 |
| 01849000 | 76,88 | 2,71 | 02146048 | 78,98 | 1,97 |
| 01849002 | 85,76 | 2,39 | 02146081 | 72,84 | 3,03 |
| 01849006 | 80,50 | 5,35 | 02146084 | 62,81 | 2,20 |
| 01849017 | 86,11 | 2,73 | 02147054 | 75,82 | 2,12 |
| 01941000 | 84,16 | 4,74 | 02243019 | 79,71 | 2,36 |
| 01941004 | 78,28 | 3,89 | 02243202 | 88,39 | 3,45 |
| 01941005 | 74,63 | 3,51 | 02244036 | 88,33 | 3,93 |
| 01941006 | 81,68 | 3,14 | 02244054 | 78,22 | 4,40 |
| 01941010 | 83,18 | 7,46 | 02244058 | 86,15 | 3,09 |
| 01941011 | 89,51 | 3,60 | 02244062 | 70,54 | 4,00 |
| 01941018 | 80,50 | 3,97 | 02244063 | 51,17 | 2,23 |
| 01941019 | 86,37 | 4,48 | 02244064 | 85,96 | 5,82 |
| 01942001 | 84,35 | 2,92 | 02244068 | 72,81 | 4,47 |
| 01942002 | 75,98 | 3,01 | 02244071 | 75,46 | 3,65 |
| 01942008 | 86,35 | 6,02 | 02245064 | 66,05 | 6,70 |
| 01942021 | 74,02 | 2,89 | 02245065 | 86,13 | 6,27 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01942029 | 92,85 | 3,41 | 02245070 | 71,55 | 3,59 |
| 01942030 | 96,51 | 4,46 | 02245074 | 74,07 | 5,78 |
| 01942031 | 82,29 | 3,11 | 02245077 | 68,92 | 8,98 |
| 01943001 | 76,57 | 2,71 | 02245081 | 80,27 | 2,08 |
| 01943002 | 84,02 | 3,24 | 02245083 | 69,68 | 4,28 |
| 01943004 | 79,55 | 3,83 | 02245085 | 78,03 | 5,60 |
| 01943005 | 75,06 | 4,19 | 02245086 | 68,62 | 4,21 |
| 01943006 | 80,83 | 2,85 | 02245087 | 67,03 | 6,02 |
| 01943007 | 83,64 | 2,85 | 02245088 | 72,63 | 4,14 |
| 01943008 | 85,54 | 4,22 | 02245089 | 90,18 | 3,89 |
| 01943009 | 76,55 | 6,08 | 02245090 | 80,68 | 3,42 |
| 01943010 | 89,03 | 4,89 | 02245104 | 76,94 | 8,77 |
| 01943011 | 79,81 | 3,39 | 02245107 | 80,74 | 4,22 |
| 01943012 | 80,34 | 3,16 | 02246048 | 63,20 | 3,45 |
| 01943022 | 89,65 | 3,66 | 02246050 | 65,83 | 2,30 |
| 01943023 | 83,07 | 2,79 | 02246127 | 73,39 | 3,42 |
| 01943024 | 79,12 | 2,14 | - | - | - |

APÊNDICE C – Fator K por estação – Percentil 95%

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------|------------|---------|----------|------------|---------|
| 01442021 | 69,46 | 6,48 | 01943025 | 99,78 | 5,97 |
| 01443001 | 72,72 | 6,41 | 01943027 | 94,30 | 6,80 |
| 01443003 | 79,61 | 7,35 | 01943035 | 85,71 | 6,61 |
| 01443004 | 75,93 | 4,53 | 01943042 | 83,49 | 6,08 |
| 01443007 | 75,06 | 5,81 | 01943049 | 82,52 | 7,50 |
| 01443008 | 73,96 | 5,91 | 01943055 | 95,14 | 5,25 |
| 01443009 | 70,83 | 5,37 | 01943061 | 85,67 | 5,21 |
| 01444000 | 82,95 | 5,98 | 01944000 | 81,09 | 5,13 |
| 01444001 | 87,40 | 6,36 | 01944003 | 81,66 | 5,45 |
| 01444003 | 85,76 | 5,79 | 01944004 | 86,11 | 7,67 |
| 01444005 | 88,24 | 5,97 | 01944005 | 69,22 | 4,67 |
| 01541003 | 63,15 | 5,71 | 01944009 | 84,17 | 7,89 |
| 01541004 | 82,57 | 5,88 | 01944010 | 85,73 | 7,28 |
| 01541010 | 78,13 | 5,84 | 01944011 | 80,63 | 6,03 |
| 01541013 | 78,17 | 8,29 | 01944016 | 85,53 | 11,38 |
| 01542000 | 75,78 | 7,95 | 01944020 | 92,02 | 5,50 |
| 01542003 | 34,42 | 4,76 | 01944021 | 80,82 | 5,69 |
| 01542005 | 63,95 | 5,97 | 01944024 | 86,41 | 5,70 |
| 01542006 | 90,16 | 6,91 | 01944026 | 88,96 | 9,61 |
| 01542007 | 84,42 | 5,75 | 01944027 | 90,71 | 5,85 |
| 01542008 | 71,70 | 8,20 | 01944031 | 74,26 | 6,06 |
| 01542009 | 69,06 | 5,90 | 01944032 | 84,52 | 5,89 |
| 01542014 | 75,21 | 8,68 | 01944049 | 90,35 | 9,24 |
| 01542015 | 80,43 | 5,96 | 01944052 | 87,46 | 7,59 |
| 01542016 | 69,47 | 6,40 | 01944055 | 85,84 | 5,51 |
| 01543001 | 78,63 | 6,99 | 01944059 | 85,79 | 5,24 |
| 01543002 | 76,83 | 6,33 | 01944062 | 107,45 | 5,68 |
| 01543003 | 70,78 | 4,77 | 01945000 | 71,91 | 4,60 |
| 01543004 | 71,75 | 5,75 | 01945008 | 91,74 | 7,80 |
| 01543007 | 73,12 | 4,16 | 01945019 | 83,62 | 6,12 |
| 01543010 | 89,95 | 6,67 | 01945035 | 82,90 | 7,97 |
| 01543011 | 72,65 | 5,98 | 01945038 | 82,98 | 5,85 |
| 01543013 | 75,76 | 6,85 | 01945039 | 84,81 | 5,93 |
| 01544005 | 84,68 | 7,12 | 01946000 | 88,29 | 8,55 |
| 01544006 | 68,81 | 5,86 | 01946002 | 87,71 | 6,71 |
| 01544009 | 59,56 | 4,92 | 01946004 | 80,53 | 6,19 |
| 01544010 | 64,05 | 7,09 | 01946005 | 80,99 | 7,33 |
| 01544011 | 78,23 | 5,21 | 01946007 | 81,34 | 6,35 |
| 01544012 | 82,16 | 6,83 | 01946008 | 83,55 | 6,67 |
| 01544013 | 83,91 | 7,02 | 01946009 | 91,98 | 5,68 |
| 01544014 | 77,67 | 7,94 | 01946010 | 85,11 | 6,27 |
| 01544015 | 69,30 | 5,51 | 01946011 | 77,03 | 5,63 |
| 01544017 | 81,22 | 5,88 | 01946022 | 80,54 | 5,87 |
| 01544018 | 75,38 | 7,07 | 01947001 | 77,99 | 5,34 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01544019 | 71,40 | 7,67 | 01947002 | 83,91 | 10,78 |
| 01544030 | 75,31 | 6,26 | 01947006 | 81,19 | 7,32 |
| 01544032 | 75,02 | 6,76 | 01947007 | 85,20 | 7,72 |
| 01545002 | 85,33 | 5,68 | 01947008 | 75,74 | 5,89 |
| 01546000 | 84,15 | 6,42 | 01947009 | 115,86 | 7,12 |
| 01546001 | 74,57 | 5,64 | 01947016 | 87,19 | 6,66 |
| 01546010 | 83,33 | 6,86 | 01948001 | 82,10 | 7,84 |
| 01640000 | 74,18 | 6,01 | 01948003 | 87,41 | 8,74 |
| 01640001 | 70,06 | 12,56 | 01948005 | 88,54 | 5,26 |
| 01640007 | 72,47 | 7,34 | 01948006 | 78,42 | 6,11 |
| 01641001 | 68,38 | 6,71 | 01948007 | 83,19 | 5,62 |
| 01641002 | 74,22 | 7,07 | 01948010 | 92,18 | 5,93 |
| 01641007 | 73,24 | 7,30 | 01949000 | 92,53 | 9,78 |
| 01641008 | 72,98 | 6,25 | 01949002 | 81,51 | 7,27 |
| 01641010 | 72,83 | 6,58 | 01949003 | 85,88 | 5,88 |
| 01641011 | 77,96 | 5,53 | 01949004 | 86,36 | 5,68 |
| 01641012 | 79,80 | 4,98 | 01949005 | 100,55 | 6,79 |
| 01642000 | 77,02 | 6,25 | 01949006 | 88,34 | 6,53 |
| 01642002 | 75,30 | 5,25 | 01949007 | 87,55 | 5,56 |
| 01642004 | 88,31 | 5,77 | 01950011 | 85,84 | 6,11 |
| 01642005 | 107,52 | 6,08 | 02041005 | 78,75 | 7,36 |
| 01642006 | 69,91 | 4,95 | 02042000 | 84,97 | 10,98 |
| 01642007 | 77,79 | 6,92 | 02042002 | 74,43 | 5,66 |
| 01642008 | 75,18 | 5,54 | 02042005 | 79,38 | 6,26 |
| 01642013 | 75,30 | 6,47 | 02042008 | 86,93 | 6,07 |
| 01642014 | 81,06 | 6,39 | 02042009 | 77,79 | 5,09 |
| 01642026 | 82,29 | 6,13 | 02042010 | 81,62 | 6,68 |
| 01642027 | 78,91 | 8,56 | 02042011 | 85,48 | 7,80 |
| 01642028 | 72,62 | 4,85 | 02042014 | 77,99 | 6,02 |
| 01643002 | 85,66 | 6,01 | 02042015 | 76,15 | 5,70 |
| 01643003 | 82,97 | 6,29 | 02042016 | 82,16 | 6,46 |
| 01643004 | 63,75 | 7,63 | 02042017 | 74,67 | 5,91 |
| 01643005 | 72,20 | 5,60 | 02042018 | 82,97 | 7,59 |
| 01643006 | 77,49 | 5,01 | 02042031 | 89,13 | 6,95 |
| 01643007 | 72,53 | 4,88 | 02043002 | 87,14 | 7,46 |
| 01643013 | 82,32 | 5,78 | 02043004 | 95,99 | 7,30 |
| 01643015 | 91,66 | 7,70 | 02043005 | 75,19 | 6,15 |
| 01643017 | 88,92 | 5,60 | 02043009 | 82,95 | 6,10 |
| 01643018 | 111,52 | 7,99 | 02043010 | 82,43 | 6,63 |
| 01643020 | 65,38 | 6,26 | 02043011 | 84,77 | 6,04 |
| 01644000 | 73,78 | 6,01 | 02043013 | 79,95 | 7,19 |
| 01644001 | 101,52 | 6,62 | 02043014 | 85,55 | 7,32 |
| 01644002 | 70,40 | 6,15 | 02043018 | 89,96 | 5,66 |
| 01644005 | 69,95 | 4,96 | 02043025 | 82,23 | 5,82 |
| 01644006 | 72,98 | 5,65 | 02043026 | 78,69 | 6,85 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01644010 | 54,37 | 5,21 | 02043027 | 86,99 | 5,85 |
| 01644012 | 88,75 | 7,47 | 02043042 | 88,27 | 6,20 |
| 01644013 | 74,37 | 5,55 | 02043043 | 88,80 | 5,83 |
| 01644014 | 66,01 | 5,69 | 02043056 | 75,14 | 5,15 |
| 01644015 | 76,19 | 5,09 | 02043057 | 67,10 | 5,74 |
| 01644018 | 98,69 | 9,74 | 02043058 | 82,67 | 6,39 |
| 01644019 | 70,18 | 7,21 | 02043060 | 77,15 | 5,55 |
| 01644022 | 62,80 | 5,58 | 02044001 | 85,45 | 5,59 |
| 01644023 | 80,92 | 7,38 | 02044003 | 84,17 | 5,45 |
| 01644024 | 63,79 | 4,87 | 02044005 | 82,44 | 4,31 |
| 01644025 | 81,87 | 5,93 | 02044006 | 78,67 | 6,26 |
| 01644027 | 71,79 | 5,32 | 02044007 | 82,10 | 7,87 |
| 01644028 | 85,92 | 5,36 | 02044008 | 80,70 | 6,69 |
| 01645000 | 84,42 | 5,39 | 02044009 | 87,02 | 7,36 |
| 01645001 | 73,34 | 6,75 | 02044012 | 93,38 | 5,40 |
| 01645002 | 84,47 | 5,90 | 02044016 | 88,45 | 5,53 |
| 01645003 | 83,55 | 5,22 | 02044019 | 82,45 | 4,90 |
| 01645005 | 79,91 | 6,70 | 02044020 | 80,07 | 6,11 |
| 01645007 | 76,16 | 6,07 | 02044021 | 93,02 | 6,00 |
| 01645009 | 80,54 | 5,44 | 02044024 | 87,91 | 6,00 |
| 01645013 | 86,14 | 6,12 | 02044026 | 84,73 | 5,30 |
| 01645019 | 93,31 | 6,21 | 02044037 | 83,48 | 5,64 |
| 01646000 | 74,11 | 5,15 | 02044038 | 87,82 | 5,24 |
| 01646001 | 83,87 | 5,35 | 02044040 | 83,99 | 6,89 |
| 01646003 | 80,38 | 5,89 | 02044041 | 89,60 | 9,46 |
| 01646004 | 88,64 | 6,49 | 02044042 | 83,55 | 6,67 |
| 01740000 | 76,04 | 6,13 | 02044043 | 92,07 | 6,83 |
| 01740002 | 78,17 | 6,00 | 02044047 | 77,44 | 4,85 |
| 01740026 | 79,63 | 5,39 | 02044050 | 87,13 | 7,22 |
| 01741001 | 76,07 | 6,70 | 02044052 | 89,81 | 5,90 |
| 01741003 | 74,62 | 7,28 | 02044053 | 89,92 | 6,01 |
| 01741006 | 71,09 | 6,84 | 02044054 | 85,00 | 7,19 |
| 01741007 | 89,13 | 6,68 | 02045001 | 81,40 | 5,42 |
| 01741009 | 84,42 | 6,88 | 02045002 | 79,21 | 7,05 |
| 01741012 | 82,72 | 6,29 | 02045004 | 71,79 | 6,47 |
| 01742000 | 114,84 | 5,76 | 02045005 | 88,22 | 5,80 |
| 01742008 | 78,10 | 7,04 | 02045010 | 89,14 | 6,86 |
| 01742014 | 90,47 | 5,89 | 02045011 | 82,48 | 6,21 |
| 01742019 | 87,02 | 6,65 | 02045012 | 85,98 | 7,99 |
| 01742020 | 71,81 | 7,07 | 02045013 | 88,95 | 6,21 |
| 01742022 | 72,72 | 6,06 | 02045020 | 87,69 | 5,99 |
| 01742023 | 89,94 | 7,52 | 02045021 | 82,85 | 6,05 |
| 01743002 | 84,24 | 5,73 | 02045026 | 78,01 | 5,21 |
| 01744002 | 80,93 | 6,11 | 02046001 | 78,65 | 6,49 |
| 01744005 | 84,83 | 5,99 | 02046007 | 76,43 | 5,87 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01744009 | 85,11 | 6,18 | 02046009 | 75,44 | 4,83 |
| 01744010 | 76,22 | 6,91 | 02046011 | 81,19 | 5,81 |
| 01744025 | 79,09 | 8,02 | 02046013 | 92,76 | 14,04 |
| 01744026 | 82,10 | 5,54 | 02047037 | 78,48 | 5,79 |
| 01744030 | 71,14 | 7,18 | 02048049 | 81,28 | 7,30 |
| 01745000 | 85,01 | 5,68 | 02049070 | 84,69 | 6,72 |
| 01745001 | 95,82 | 6,41 | 02142000 | 87,81 | 7,02 |
| 01745007 | 87,05 | 5,40 | 02142001 | 92,35 | 7,23 |
| 01745014 | 79,20 | 6,51 | 02142002 | 91,39 | 6,96 |
| 01746001 | 86,71 | 6,05 | 02142003 | 92,61 | 6,22 |
| 01746002 | 96,74 | 7,49 | 02142006 | 92,85 | 5,76 |
| 01746006 | 74,49 | 6,97 | 02142008 | 85,20 | 6,66 |
| 01746007 | 83,94 | 5,74 | 02142009 | 87,06 | 6,36 |
| 01746012 | 82,58 | 5,79 | 02143000 | 81,18 | 7,00 |
| 01746017 | 90,19 | 6,80 | 02143001 | 84,83 | 6,62 |
| 01746018 | 77,14 | 5,69 | 02143003 | 93,91 | 6,79 |
| 01746019 | 92,67 | 5,92 | 02143005 | 84,90 | 5,74 |
| 01747005 | 83,42 | 4,93 | 02143006 | 79,82 | 5,72 |
| 01841001 | 93,12 | 8,91 | 02143009 | 82,62 | 6,41 |
| 01841003 | 79,13 | 5,91 | 02143010 | 80,67 | 6,01 |
| 01841006 | 75,13 | 6,11 | 02143011 | 82,81 | 8,09 |
| 01841007 | 75,85 | 6,72 | 02143012 | 78,93 | 6,24 |
| 01841008 | 87,94 | 8,58 | 02143013 | 76,48 | 6,41 |
| 01841011 | 84,92 | 5,12 | 02143016 | 94,90 | 6,07 |
| 01841014 | 73,55 | 4,52 | 02143017 | 89,90 | 5,96 |
| 01841015 | 85,86 | 6,46 | 02143018 | 79,16 | 9,88 |
| 01841018 | 74,39 | 7,25 | 02143019 | 78,16 | 6,25 |
| 01841019 | 82,16 | 5,33 | 02143020 | 82,40 | 5,80 |
| 01841020 | 84,53 | 6,62 | 02143022 | 85,03 | 5,92 |
| 01842005 | 95,10 | 7,39 | 02143055 | 78,76 | 5,52 |
| 01842007 | 90,86 | 6,45 | 02143056 | 88,49 | 5,60 |
| 01842008 | 85,45 | 10,25 | 02143062 | 91,71 | 5,83 |
| 01842020 | 79,45 | 5,82 | 02144000 | 75,33 | 5,26 |
| 01843000 | 79,28 | 6,54 | 02144001 | 73,46 | 5,78 |
| 01843002 | 80,18 | 5,46 | 02144004 | 72,75 | 6,15 |
| 01843003 | 87,07 | 7,08 | 02144005 | 81,08 | 6,65 |
| 01843009 | 85,85 | 5,84 | 02144006 | 75,72 | 6,44 |
| 01843011 | 78,20 | 4,93 | 02144007 | 88,25 | 5,69 |
| 01843012 | 82,18 | 6,88 | 02144009 | 90,64 | 7,06 |
| 01844000 | 77,57 | 5,96 | 02144010 | 75,75 | 5,80 |
| 01844001 | 77,74 | 6,41 | 02144016 | 80,93 | 5,60 |
| 01844003 | 82,65 | 5,13 | 02144018 | 91,30 | 6,17 |
| 01844009 | 79,50 | 7,23 | 02144019 | 80,79 | 7,47 |
| 01844010 | 78,48 | 7,15 | 02144020 | 81,72 | 6,05 |
| 01844015 | 84,33 | 6,12 | 02144021 | 84,54 | 5,59 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01844017 | 76,90 | 5,27 | 02144022 | 79,18 | 6,04 |
| 01844018 | 75,55 | 5,57 | 02144023 | 88,81 | 6,16 |
| 01844019 | 92,83 | 4,79 | 02144024 | 76,08 | 6,90 |
| 01845002 | 80,05 | 5,25 | 02144025 | 85,52 | 8,03 |
| 01845004 | 92,72 | 5,96 | 02144026 | 77,03 | 6,25 |
| 01845014 | 75,19 | 7,41 | 02144032 | 86,59 | 6,17 |
| 01845021 | 81,65 | 6,72 | 02144037 | 79,18 | 5,24 |
| 01846002 | 88,64 | 8,06 | 02144038 | 70,54 | 5,37 |
| 01846003 | 77,68 | 6,27 | 02145001 | 82,28 | 6,86 |
| 01846004 | 85,06 | 6,05 | 02145003 | 81,26 | 5,78 |
| 01846005 | 89,89 | 6,20 | 02145007 | 83,54 | 6,12 |
| 01846006 | 91,84 | 8,21 | 02145008 | 81,75 | 6,01 |
| 01846016 | 85,23 | 5,12 | 02145017 | 81,31 | 5,93 |
| 01846017 | 85,63 | 5,91 | 02145018 | 69,57 | 5,34 |
| 01846018 | 82,91 | 9,05 | 02145020 | 64,29 | 5,60 |
| 01846019 | 92,85 | 5,95 | 02145021 | 87,72 | 5,71 |
| 01846023 | 106,94 | 5,49 | 02145022 | 75,36 | 6,62 |
| 01847000 | 85,18 | 5,96 | 02145023 | 80,16 | 6,69 |
| 01847001 | 93,58 | 5,79 | 02145024 | 74,43 | 6,03 |
| 01847003 | 80,75 | 8,60 | 02145032 | 91,85 | 8,59 |
| 01847007 | 104,78 | 6,52 | 02145036 | 82,08 | 5,50 |
| 01847008 | 108,49 | 5,38 | 02145041 | 85,82 | 8,18 |
| 01847010 | 76,80 | 6,89 | 02145043 | 76,50 | 5,52 |
| 01848000 | 85,52 | 6,61 | 02146026 | 82,07 | 5,45 |
| 01848004 | 86,26 | 7,11 | 02146027 | 80,15 | 5,76 |
| 01848006 | 91,15 | 5,90 | 02146028 | 82,30 | 5,95 |
| 01848008 | 95,48 | 11,90 | 02146029 | 78,07 | 6,81 |
| 01848009 | 79,37 | 5,43 | 02146030 | 83,50 | 6,82 |
| 01848010 | 95,79 | 9,78 | 02146036 | 81,64 | 7,00 |
| 01849000 | 80,41 | 5,39 | 02146048 | 82,85 | 6,65 |
| 01849002 | 89,45 | 5,75 | 02146081 | 86,93 | 5,74 |
| 01849006 | 85,51 | 7,83 | 02146084 | 79,70 | 8,90 |
| 01849017 | 91,97 | 5,57 | 02147054 | 80,51 | 6,75 |
| 01941000 | 90,77 | 6,45 | 02243019 | 88,05 | 6,30 |
| 01941004 | 81,53 | 6,82 | 02243202 | 87,35 | 6,10 |
| 01941005 | 78,84 | 5,81 | 02244036 | 87,17 | 5,40 |
| 01941006 | 84,03 | 6,73 | 02244054 | 86,71 | 6,66 |
| 01941010 | 88,19 | 7,60 | 02244058 | 90,32 | 5,53 |
| 01941011 | 95,16 | 8,27 | 02244062 | 80,49 | 6,89 |
| 01941018 | 83,14 | 6,65 | 02244063 | 65,66 | 8,85 |
| 01941019 | 84,76 | 6,02 | 02244064 | 86,06 | 5,93 |
| 01942001 | 83,03 | 7,12 | 02244068 | 71,04 | 5,97 |
| 01942002 | 79,67 | 5,56 | 02244071 | 81,47 | 6,09 |
| 01942008 | 90,04 | 10,66 | 02245064 | 70,22 | 6,26 |
| 01942021 | 76,17 | 5,20 | 02245065 | 92,92 | 6,10 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01942029 | 95,67 | 4,77 | 02245070 | 72,94 | 6,13 |
| 01942030 | 98,20 | 5,96 | 02245074 | 69,66 | 6,24 |
| 01942031 | 88,59 | 5,58 | 02245077 | 81,38 | 6,94 |
| 01943001 | 85,49 | 6,62 | 02245081 | 80,23 | 6,08 |
| 01943002 | 94,34 | 7,61 | 02245083 | 74,67 | 5,68 |
| 01943004 | 82,62 | 5,89 | 02245085 | 76,84 | 5,28 |
| 01943005 | 83,11 | 5,61 | 02245086 | 71,97 | 8,59 |
| 01943006 | 87,29 | 5,70 | 02245087 | 71,72 | 5,26 |
| 01943007 | 92,00 | 6,63 | 02245088 | 73,69 | 7,02 |
| 01943008 | 93,91 | 5,58 | 02245089 | 88,12 | 6,93 |
| 01943009 | 85,65 | 6,36 | 02245090 | 79,29 | 6,13 |
| 01943010 | 93,22 | 5,15 | 02245104 | 75,08 | 6,69 |
| 01943011 | 85,10 | 7,95 | 02245107 | 88,31 | 8,37 |
| 01943012 | 82,10 | 4,91 | 02246048 | 77,51 | 7,15 |
| 01943022 | 103,39 | 6,23 | 02246050 | 76,34 | 7,51 |
| 01943023 | 81,31 | 5,77 | 02246127 | 79,24 | 4,92 |
| 01943024 | 93,07 | 10,26 | - | - | - |

APÊNDICE D – Fator K por estação – Percentil 99%

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------|------------|---------|----------|------------|---------|
| 01442021 | 80,69 | 8,66 | 01943025 | 98,84 | 7,64 |
| 01443001 | 71,94 | 7,49 | 01943027 | 94,94 | 8,07 |
| 01443003 | 79,61 | 7,35 | 01943035 | 81,78 | 6,98 |
| 01443004 | 75,14 | 5,43 | 01943042 | 96,10 | 8,03 |
| 01443007 | 71,78 | 6,11 | 01943049 | 82,52 | 7,50 |
| 01443008 | 73,96 | 5,91 | 01943055 | 92,38 | 9,97 |
| 01443009 | 70,86 | 6,35 | 01943061 | 86,68 | 7,78 |
| 01444000 | 85,65 | 7,81 | 01944000 | 85,19 | 5,88 |
| 01444001 | 81,91 | 6,70 | 01944003 | 83,01 | 5,90 |
| 01444003 | 80,75 | 6,87 | 01944004 | 86,11 | 7,67 |
| 01444005 | 97,06 | 8,04 | 01944005 | 76,08 | 4,95 |
| 01541003 | 63,20 | 7,98 | 01944009 | 80,28 | 8,76 |
| 01541004 | 95,36 | 6,03 | 01944010 | 85,73 | 7,28 |
| 01541010 | 75,01 | 6,62 | 01944011 | 83,36 | 7,11 |
| 01541013 | 78,17 | 8,29 | 01944016 | 85,53 | 11,38 |
| 01542000 | 75,78 | 7,95 | 01944020 | 92,02 | 5,50 |
| 01542003 | 37,79 | 6,57 | 01944021 | 84,09 | 6,81 |
| 01542005 | 64,53 | 6,89 | 01944024 | 81,81 | 7,01 |
| 01542006 | 90,15 | 6,94 | 01944026 | 88,96 | 9,61 |
| 01542007 | 88,72 | 6,91 | 01944027 | 92,19 | 6,17 |
| 01542008 | 71,70 | 8,20 | 01944031 | 76,94 | 6,63 |
| 01542009 | 70,38 | 6,84 | 01944032 | 80,90 | 7,19 |
| 01542014 | 75,21 | 8,68 | 01944049 | 90,35 | 9,24 |
| 01542015 | 80,09 | 8,85 | 01944052 | 87,46 | 7,59 |
| 01542016 | 65,11 | 10,22 | 01944055 | 87,01 | 7,04 |
| 01543001 | 78,63 | 6,99 | 01944059 | 88,05 | 6,64 |
| 01543002 | 71,39 | 7,56 | 01944062 | 99,16 | 6,39 |
| 01543003 | 69,74 | 6,38 | 01945000 | 75,61 | 7,11 |
| 01543004 | 74,20 | 7,81 | 01945008 | 91,74 | 7,80 |
| 01543007 | 75,26 | 5,97 | 01945019 | 86,17 | 7,21 |
| 01543010 | 87,04 | 6,70 | 01945035 | 82,90 | 7,97 |
| 01543011 | 71,92 | 6,50 | 01945038 | 83,38 | 8,58 |
| 01543013 | 85,72 | 6,95 | 01945039 | 78,98 | 6,53 |
| 01544005 | 75,26 | 7,34 | 01946000 | 84,09 | 8,92 |
| 01544006 | 68,44 | 7,58 | 01946002 | 90,11 | 9,01 |
| 01544009 | 56,89 | 6,64 | 01946004 | 82,06 | 7,11 |
| 01544010 | 64,05 | 7,09 | 01946005 | 78,45 | 8,74 |
| 01544011 | 83,55 | 7,76 | 01946007 | 80,31 | 7,41 |
| 01544012 | 86,27 | 6,90 | 01946008 | 84,33 | 6,92 |
| 01544013 | 84,75 | 10,96 | 01946009 | 90,04 | 9,32 |
| 01544014 | 77,67 | 7,94 | 01946010 | 81,80 | 7,65 |
| 01544015 | 72,31 | 7,62 | 01946011 | 77,43 | 6,78 |
| 01544017 | 74,16 | 6,62 | 01946022 | 77,31 | 6,21 |
| 01544018 | 74,01 | 7,78 | 01947001 | 79,21 | 5,61 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01544019 | 67,65 | 7,69 | 01947002 | 83,91 | 10,78 |
| 01544030 | 75,31 | 6,26 | 01947006 | 81,19 | 7,32 |
| 01544032 | 75,02 | 6,76 | 01947007 | 85,20 | 7,72 |
| 01545002 | 88,34 | 6,28 | 01947008 | 77,17 | 7,52 |
| 01546000 | 81,72 | 8,17 | 01947009 | 106,15 | 7,75 |
| 01546001 | 77,95 | 6,25 | 01947016 | 85,94 | 6,93 |
| 01546010 | 83,97 | 10,88 | 01948001 | 79,38 | 8,23 |
| 01640000 | 76,08 | 7,30 | 01948003 | 87,41 | 8,74 |
| 01640001 | 70,06 | 12,56 | 01948005 | 89,02 | 5,79 |
| 01640007 | 72,47 | 7,34 | 01948006 | 83,51 | 6,71 |
| 01641001 | 71,82 | 6,85 | 01948007 | 85,56 | 6,43 |
| 01641002 | 72,29 | 7,24 | 01948010 | 92,91 | 7,54 |
| 01641007 | 73,24 | 7,30 | 01949000 | 92,53 | 9,78 |
| 01641008 | 92,05 | 8,77 | 01949002 | 85,02 | 7,42 |
| 01641010 | 70,80 | 7,81 | 01949003 | 79,51 | 7,52 |
| 01641011 | 84,40 | 8,14 | 01949004 | 81,91 | 6,65 |
| 01641012 | 80,48 | 6,91 | 01949005 | 101,33 | 8,61 |
| 01642000 | 67,10 | 6,94 | 01949006 | 90,84 | 7,90 |
| 01642002 | 74,50 | 5,94 | 01949007 | 80,12 | 5,99 |
| 01642004 | 97,12 | 6,74 | 01950011 | 85,84 | 6,11 |
| 01642005 | 108,20 | 9,36 | 02041005 | 83,75 | 9,03 |
| 01642006 | 69,98 | 6,37 | 02042000 | 84,97 | 10,98 |
| 01642007 | 74,83 | 8,31 | 02042002 | 78,58 | 6,14 |
| 01642008 | 80,38 | 8,66 | 02042005 | 81,25 | 7,03 |
| 01642013 | 78,17 | 9,65 | 02042008 | 86,25 | 7,07 |
| 01642014 | 74,46 | 7,94 | 02042009 | 73,70 | 6,06 |
| 01642026 | 82,29 | 6,13 | 02042010 | 82,26 | 9,34 |
| 01642027 | 78,91 | 8,56 | 02042011 | 85,48 | 7,80 |
| 01642028 | 65,05 | 8,35 | 02042014 | 86,36 | 6,85 |
| 01643002 | 69,05 | 9,46 | 02042015 | 84,65 | 7,99 |
| 01643003 | 82,53 | 7,45 | 02042016 | 79,93 | 8,15 |
| 01643004 | 63,46 | 8,13 | 02042017 | 82,62 | 6,61 |
| 01643005 | 72,37 | 8,24 | 02042018 | 82,97 | 7,59 |
| 01643006 | 74,86 | 7,63 | 02042031 | 82,40 | 10,13 |
| 01643007 | 71,09 | 5,22 | 02043002 | 88,06 | 8,45 |
| 01643013 | 87,42 | 6,23 | 02043004 | 90,48 | 10,90 |
| 01643015 | 105,71 | 11,27 | 02043005 | 72,83 | 7,65 |
| 01643017 | 86,89 | 8,11 | 02043009 | 86,93 | 6,53 |
| 01643018 | 107,82 | 8,60 | 02043010 | 75,94 | 9,85 |
| 01643020 | 65,38 | 6,26 | 02043011 | 87,27 | 6,72 |
| 01644000 | 71,29 | 6,20 | 02043013 | 80,84 | 10,03 |
| 01644001 | 102,24 | 8,92 | 02043014 | 85,55 | 7,32 |
| 01644002 | 70,40 | 6,15 | 02043018 | 77,98 | 6,04 |
| 01644005 | 66,05 | 6,26 | 02043025 | 87,25 | 8,41 |
| 01644006 | 72,98 | 5,65 | 02043026 | 75,98 | 7,75 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01644010 | 52,94 | 7,74 | 02043027 | 83,93 | 8,23 |
| 01644012 | 88,75 | 7,47 | 02043042 | 95,30 | 7,93 |
| 01644013 | 73,42 | 6,53 | 02043043 | 88,80 | 5,83 |
| 01644014 | 65,70 | 8,99 | 02043056 | 75,08 | 7,83 |
| 01644015 | 80,15 | 7,36 | 02043057 | 67,10 | 5,74 |
| 01644018 | 103,79 | 11,35 | 02043058 | 80,08 | 7,56 |
| 01644019 | 70,18 | 7,21 | 02043060 | 82,53 | 6,42 |
| 01644022 | 64,94 | 6,32 | 02044001 | 83,65 | 9,49 |
| 01644023 | 88,41 | 8,85 | 02044003 | 87,30 | 6,50 |
| 01644024 | 56,03 | 6,58 | 02044005 | 82,48 | 7,41 |
| 01644025 | 73,25 | 7,29 | 02044006 | 81,42 | 6,70 |
| 01644027 | 71,99 | 6,24 | 02044007 | 88,86 | 8,42 |
| 01644028 | 79,15 | 6,27 | 02044008 | 80,26 | 7,84 |
| 01645000 | 84,43 | 8,31 | 02044009 | 87,02 | 7,36 |
| 01645001 | 85,95 | 7,78 | 02044012 | 98,76 | 10,30 |
| 01645002 | 86,18 | 6,08 | 02044016 | 87,44 | 7,34 |
| 01645003 | 85,26 | 7,94 | 02044019 | 83,98 | 6,53 |
| 01645005 | 81,23 | 7,09 | 02044020 | 84,29 | 7,49 |
| 01645007 | 74,60 | 7,44 | 02044021 | 93,95 | 7,81 |
| 01645009 | 83,05 | 8,30 | 02044024 | 87,91 | 6,00 |
| 01645013 | 90,93 | 6,86 | 02044026 | 83,00 | 8,45 |
| 01645019 | 96,22 | 10,68 | 02044037 | 80,85 | 7,46 |
| 01646000 | 74,11 | 5,15 | 02044038 | 85,58 | 5,96 |
| 01646001 | 89,02 | 6,80 | 02044040 | 69,17 | 7,02 |
| 01646003 | 85,35 | 8,25 | 02044041 | 89,60 | 9,46 |
| 01646004 | 85,06 | 7,12 | 02044042 | 90,57 | 7,47 |
| 01740000 | 80,67 | 9,04 | 02044043 | 94,87 | 9,16 |
| 01740002 | 78,17 | 6,00 | 02044047 | 81,18 | 8,77 |
| 01740026 | 77,19 | 9,26 | 02044050 | 80,18 | 9,66 |
| 01741001 | 69,57 | 7,31 | 02044052 | 87,52 | 8,84 |
| 01741003 | 78,06 | 8,68 | 02044053 | 94,06 | 7,48 |
| 01741006 | 74,01 | 9,43 | 02044054 | 85,00 | 7,19 |
| 01741007 | 89,85 | 8,14 | 02045001 | 91,79 | 7,85 |
| 01741009 | 83,73 | 7,69 | 02045002 | 81,47 | 14,62 |
| 01741012 | 78,32 | 7,95 | 02045004 | 73,25 | 9,00 |
| 01742000 | 124,96 | 7,97 | 02045005 | 89,48 | 6,59 |
| 01742008 | 75,17 | 8,59 | 02045010 | 96,42 | 7,85 |
| 01742014 | 78,03 | 7,23 | 02045011 | 89,85 | 6,67 |
| 01742019 | 79,55 | 7,81 | 02045012 | 81,52 | 8,11 |
| 01742020 | 71,81 | 7,07 | 02045013 | 88,59 | 7,98 |
| 01742022 | 80,89 | 7,16 | 02045020 | 84,52 | 9,59 |
| 01742023 | 89,94 | 7,52 | 02045021 | 79,20 | 7,39 |
| 01743002 | 83,81 | 7,34 | 02045026 | 76,54 | 6,15 |
| 01744002 | 81,59 | 8,40 | 02046001 | 73,36 | 6,97 |
| 01744005 | 91,07 | 7,96 | 02046007 | 77,99 | 8,21 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01744009 | 85,22 | 7,72 | 02046009 | 74,53 | 7,56 |
| 01744010 | 75,42 | 8,88 | 02046011 | 78,70 | 6,87 |
| 01744025 | 85,98 | 8,35 | 02046013 | 92,76 | 14,04 |
| 01744026 | 88,46 | 9,41 | 02047037 | 82,27 | 6,40 |
| 01744030 | 66,78 | 8,42 | 02048049 | 83,85 | 7,59 |
| 01745000 | 80,38 | 8,19 | 02049070 | 84,95 | 12,00 |
| 01745001 | 93,31 | 8,41 | 02142000 | 86,59 | 9,06 |
| 01745007 | 81,23 | 8,73 | 02142001 | 94,82 | 9,58 |
| 01745014 | 82,23 | 10,83 | 02142002 | 96,45 | 8,42 |
| 01746001 | 86,71 | 6,05 | 02142003 | 86,31 | 7,71 |
| 01746002 | 90,80 | 8,01 | 02142006 | 91,29 | 8,33 |
| 01746006 | 77,94 | 7,50 | 02142008 | 88,08 | 7,92 |
| 01746007 | 88,19 | 7,20 | 02142009 | 82,07 | 7,21 |
| 01746012 | 87,58 | 8,51 | 02143000 | 81,52 | 8,94 |
| 01746017 | 90,19 | 6,80 | 02143001 | 76,44 | 7,73 |
| 01746018 | 75,89 | 6,16 | 02143003 | 87,41 | 7,30 |
| 01746019 | 92,67 | 5,92 | 02143005 | 88,48 | 7,01 |
| 01747005 | 87,86 | 6,88 | 02143006 | 75,47 | 7,78 |
| 01841001 | 93,12 | 8,91 | 02143009 | 79,24 | 6,96 |
| 01841003 | 82,45 | 8,01 | 02143010 | 84,74 | 6,34 |
| 01841006 | 77,49 | 7,30 | 02143011 | 83,16 | 9,08 |
| 01841007 | 84,91 | 7,24 | 02143012 | 78,93 | 6,24 |
| 01841008 | 87,94 | 8,58 | 02143013 | 77,88 | 9,08 |
| 01841011 | 85,33 | 7,96 | 02143016 | 86,10 | 8,94 |
| 01841014 | 81,51 | 5,15 | 02143017 | 93,89 | 6,87 |
| 01841015 | 88,94 | 7,53 | 02143018 | 79,16 | 9,88 |
| 01841018 | 74,39 | 7,25 | 02143019 | 79,96 | 7,44 |
| 01841019 | 77,95 | 5,52 | 02143020 | 84,11 | 6,87 |
| 01841020 | 84,53 | 6,62 | 02143022 | 81,17 | 6,87 |
| 01842005 | 86,86 | 11,90 | 02143055 | 75,17 | 6,76 |
| 01842007 | 87,86 | 7,32 | 02143056 | 87,77 | 6,23 |
| 01842008 | 84,27 | 12,12 | 02143062 | 94,70 | 8,35 |
| 01842020 | 78,86 | 7,20 | 02144000 | 77,25 | 5,59 |
| 01843000 | 78,38 | 8,14 | 02144001 | 73,06 | 5,91 |
| 01843002 | 79,86 | 9,71 | 02144004 | 72,06 | 6,99 |
| 01843003 | 87,07 | 7,08 | 02144005 | 78,38 | 6,71 |
| 01843009 | 86,27 | 10,66 | 02144006 | 77,73 | 7,28 |
| 01843011 | 82,25 | 6,67 | 02144007 | 84,74 | 5,98 |
| 01843012 | 94,01 | 7,83 | 02144009 | 85,99 | 12,47 |
| 01844000 | 83,55 | 6,13 | 02144010 | 74,59 | 8,30 |
| 01844001 | 75,92 | 7,50 | 02144016 | 84,87 | 5,75 |
| 01844003 | 74,32 | 6,18 | 02144018 | 85,78 | 7,25 |
| 01844009 | 79,50 | 7,23 | 02144019 | 80,79 | 7,47 |
| 01844010 | 78,48 | 7,15 | 02144020 | 84,48 | 8,49 |
| 01844015 | 82,31 | 7,42 | 02144021 | 79,06 | 7,28 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01844017 | 80,16 | 6,53 | 02144022 | 87,26 | 7,77 |
| 01844018 | 77,32 | 7,01 | 02144023 | 86,16 | 6,69 |
| 01844019 | 98,22 | 5,94 | 02144024 | 76,08 | 6,90 |
| 01845002 | 82,83 | 6,37 | 02144025 | 83,63 | 8,38 |
| 01845004 | 89,40 | 7,99 | 02144026 | 82,48 | 7,81 |
| 01845014 | 75,19 | 7,41 | 02144032 | 83,23 | 7,53 |
| 01845021 | 81,52 | 7,80 | 02144037 | 78,63 | 7,04 |
| 01846002 | 88,64 | 8,06 | 02144038 | 76,56 | 7,58 |
| 01846003 | 77,68 | 6,27 | 02145001 | 77,92 | 10,63 |
| 01846004 | 85,98 | 8,70 | 02145003 | 81,26 | 5,78 |
| 01846005 | 91,14 | 7,00 | 02145007 | 77,36 | 9,36 |
| 01846006 | 91,84 | 8,21 | 02145008 | 77,46 | 6,81 |
| 01846016 | 87,99 | 7,04 | 02145017 | 74,39 | 8,77 |
| 01846017 | 87,67 | 7,21 | 02145018 | 64,69 | 7,45 |
| 01846018 | 82,91 | 9,05 | 02145020 | 65,67 | 7,57 |
| 01846019 | 99,35 | 7,91 | 02145021 | 81,89 | 6,60 |
| 01846023 | 104,59 | 7,19 | 02145022 | 77,77 | 11,38 |
| 01847000 | 87,92 | 6,59 | 02145023 | 80,16 | 6,69 |
| 01847001 | 88,91 | 6,81 | 02145024 | 74,29 | 9,91 |
| 01847003 | 80,75 | 8,60 | 02145032 | 91,85 | 8,59 |
| 01847007 | 104,78 | 6,52 | 02145036 | 89,87 | 10,03 |
| 01847008 | 96,92 | 5,99 | 02145041 | 80,10 | 8,81 |
| 01847010 | 76,80 | 6,89 | 02145043 | 80,58 | 6,94 |
| 01848000 | 85,13 | 8,99 | 02146026 | 79,72 | 7,42 |
| 01848004 | 87,72 | 7,65 | 02146027 | 70,96 | 7,75 |
| 01848006 | 85,59 | 7,29 | 02146028 | 84,32 | 10,95 |
| 01848008 | 95,48 | 11,90 | 02146029 | 83,41 | 8,28 |
| 01848009 | 90,10 | 7,48 | 02146030 | 81,61 | 8,03 |
| 01848010 | 95,79 | 9,78 | 02146036 | 73,16 | 9,71 |
| 01849000 | 83,18 | 6,08 | 02146048 | 82,85 | 6,65 |
| 01849002 | 82,43 | 7,01 | 02146081 | 82,63 | 8,07 |
| 01849006 | 85,51 | 7,83 | 02146084 | 79,70 | 8,90 |
| 01849017 | 91,00 | 6,66 | 02147054 | 80,51 | 6,75 |
| 01941000 | 90,77 | 6,45 | 02243019 | 85,90 | 6,39 |
| 01941004 | 83,03 | 7,40 | 02243202 | 87,18 | 7,00 |
| 01941005 | 75,03 | 8,64 | 02244036 | 87,41 | 6,32 |
| 01941006 | 83,22 | 9,19 | 02244054 | 86,28 | 10,19 |
| 01941010 | 88,19 | 7,60 | 02244058 | 86,05 | 5,88 |
| 01941011 | 95,16 | 8,27 | 02244062 | 79,58 | 7,01 |
| 01941018 | 83,14 | 6,65 | 02244063 | 65,66 | 8,85 |
| 01941019 | 81,58 | 6,69 | 02244064 | 89,57 | 6,66 |
| 01942001 | 79,06 | 9,14 | 02244068 | 78,76 | 6,19 |
| 01942002 | 80,43 | 7,00 | 02244071 | 80,43 | 7,10 |
| 01942008 | 90,04 | 10,66 | 02245064 | 73,46 | 6,35 |
| 01942021 | 89,25 | 7,29 | 02245065 | 86,81 | 8,47 |

| ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K | ESTAÇÃO | MÉDIA (mm) | FATOR K |
|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| 01942029 | 100,23 | 7,01 | 02245070 | 71,67 | 7,53 |
| 01942030 | 102,00 | 11,90 | 02245074 | 75,57 | 8,85 |
| 01942031 | 84,23 | 7,67 | 02245077 | 72,63 | 7,99 |
| 01943001 | 85,49 | 6,62 | 02245081 | 82,12 | 6,24 |
| 01943002 | 94,34 | 7,61 | 02245083 | 75,01 | 7,45 |
| 01943004 | 81,92 | 7,80 | 02245085 | 81,31 | 6,97 |
| 01943005 | 76,65 | 7,56 | 02245086 | 71,97 | 8,59 |
| 01943006 | 87,17 | 6,28 | 02245087 | 76,27 | 9,18 |
| 01943007 | 97,33 | 7,57 | 02245088 | 75,22 | 8,47 |
| 01943008 | 86,49 | 6,41 | 02245089 | 87,18 | 8,36 |
| 01943009 | 81,88 | 7,41 | 02245090 | 76,95 | 6,32 |
| 01943010 | 92,03 | 6,31 | 02245104 | 84,23 | 8,82 |
| 01943011 | 88,83 | 8,12 | 02245107 | 88,31 | 8,37 |
| 01943012 | 85,43 | 9,13 | 02246048 | 77,51 | 7,15 |
| 01943022 | 103,39 | 6,23 | 02246050 | 73,93 | 7,68 |
| 01943023 | 87,19 | 7,40 | 02246127 | 83,21 | 7,77 |
| 01943024 | 93,07 | 10,26 | - | - | - |

APÊNDICE E – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965)

Figura 0.1 – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965) – Clima Semiárido

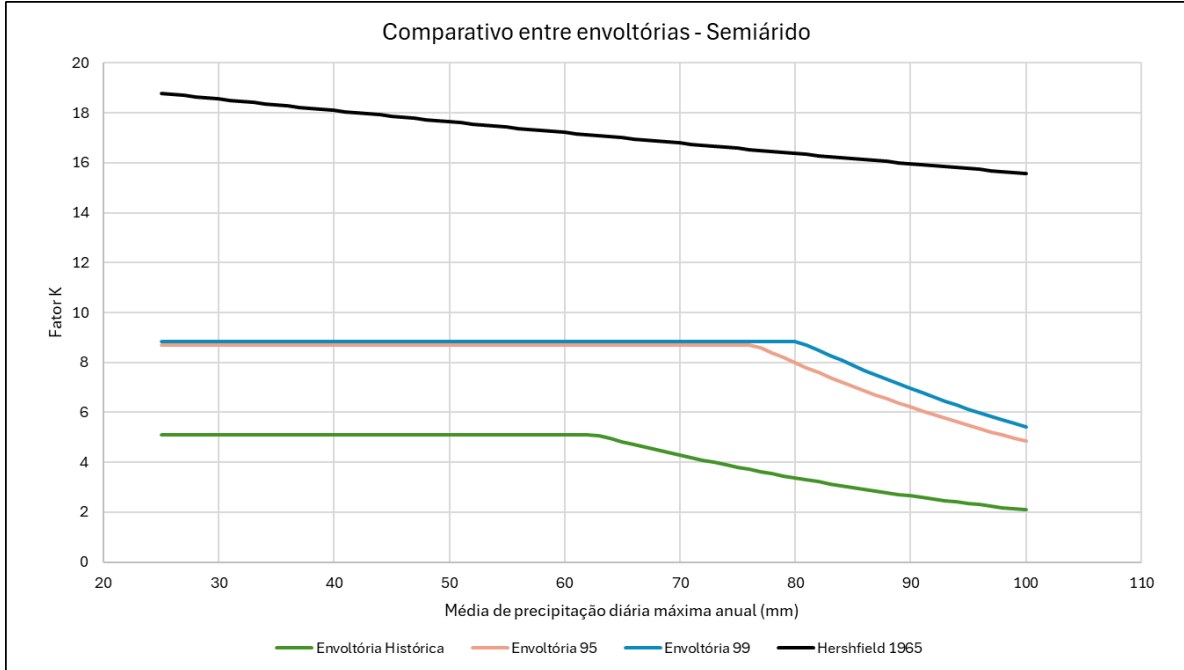


Figura 0.2 – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965) – Clima Temperado

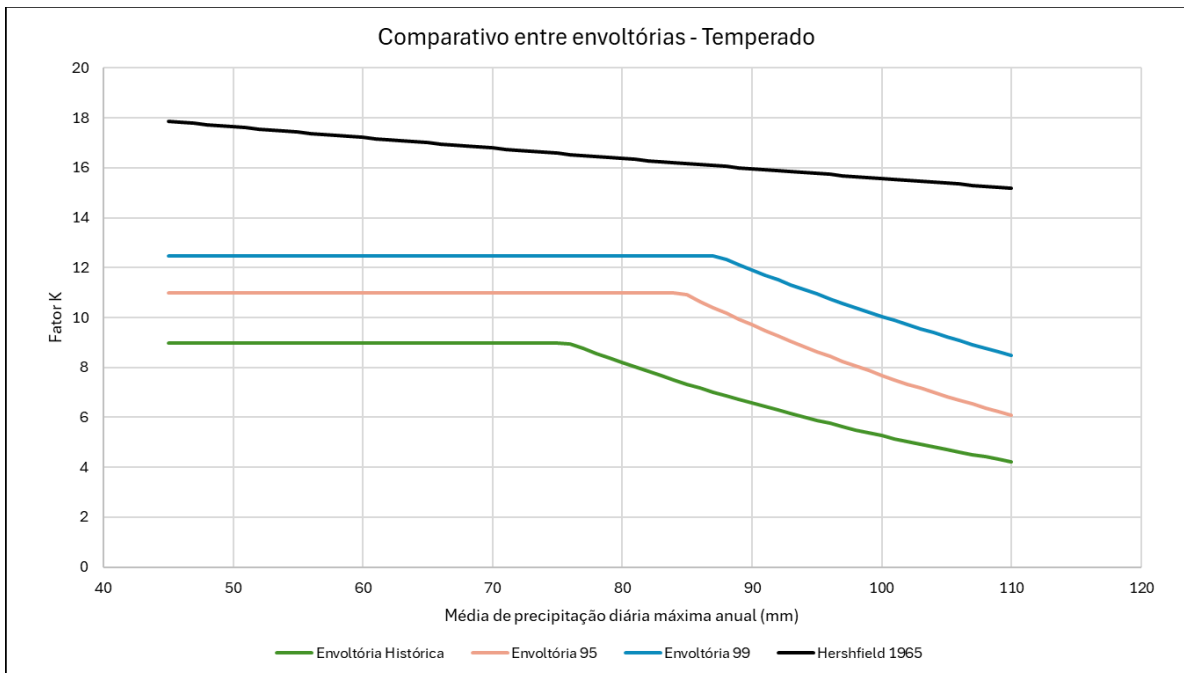


Figura 0.3 – Comparativo entre resultados e a envoltória de Hershfield (1965) – Clima Tropical

