



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DE AGRICULTURA
ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

Monografia científica

**ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE OCORRÊNCIAS DE EVENTOS EXTREMOS NA
BACIA DO LIMPOPO**

Monografia Científica apresentada e defendida como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica, Agrícola e Água Rural

Autor: Romário Joaquim Marrengula

Tutor: Eng. Lateiro Salvador de Sousa, PhD

Lionde, Dezembro de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

PÁGINA DE ROSTO

Monografia científica sobre "*Análise Probabilística de Ocorrências de Eventos Extremos na Bacia do Limpopo*" apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica, Agrícola e Água Rural na Divisão da Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para a culminação do Curso.

Tutor: Eng. Lateiro Salvador de Sousa, PhD

Avaliador 1:

(Eng^o Henriques Salimo)

Avaliador 2:

(Eng^o Luis Maloa)

Lionde, Novembro de 2021

ÍNDICE

RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema e Justificativa	1
1.2. Objectivos	2
1.2.1. Geral	2
1.2.2. Especifico	2
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Séries Temporais	4
2.2. Bacia Hidrográfica	4
2.3. Métodos Para Preenchimento de Falhas	4
2.4. Eventos Extremos	5
2.5. Factores Determinantes da Ocorrência de Eventos Extremos	6
2.5.1. Sistemas de Drenagem	6
2.5.2. Precipitação	6
2.5.3. Determinação de Caudais de Ponta de Cheia	7
2.5.4. Intensidade Média de Precipitação	7
2.6. Modelos Hidrológicos	7
2.6.1. Método Racional	8
2.6.2. Método Racional Generalizado	8
2.6.3. Método de Martino	8
2.6.4. Método do Soil Conservation Service	8
2.7. Análise de frequência hidrológica	9
2.8. Métodos Estatísticos	9

2.8.1. Método de Gumbel	10
2.8.3 Distribuição de Weibull	11
2.8.4. Método de Log - Pearson Tipo III (Lp III)	12
2.8.5. Distribuição Log-Normal.....	12
2.8.6. Distribuição Normal.....	12
2.8.7. Distribuição Logística.....	13
2.9. Aderência da distribuição	13
2.10. Análise de tendência e mudança na precipitação.....	13
2.11. Critério de informação de Akaike (AIC)	14
2.12. Critério de informação Bayesiano (BIC)	14
III. METODOLOGIA	15
3.1. Descrição da Área de Estudo	15
3.2. Materiais	16
3.3. Preenchimento de Falhas	17
3.4. Método De Gumbel.....	17
3.5. Distribuição Log-Normal.....	18
3.6. Distribuição Normal.....	19
3.7. Distribuição de Weibull	19
3.8. Distribuição Logística.....	19
3.9. Análise de tendência e mudança na precipitação.....	19
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1. Preenchimento de Dados.....	20
4.2 Caracterização Hidrológica das Principais Estações na Bacia	21
4.3 Método de Gumbel	22
4.4. Distribuição Log-normal (Galton).....	22

4.5. Distribuição Logística.....	26
4.6. Distribuição Normal (Gauss).....	29
4.7. Distribuição de Weibull.....	32
4.8. Análise de tendência e mudança na precipitação.....	35
V. CONCLUSÃO.....	39
VI. RECOMENDAÇÕES.....	40
VII. LISTA BIBLIOGRÁFICA.....	41
VIII. ANEXO.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da área de estudo (Bacia hidrográfica do Limpopo)	16
Figura 2: Análises de precipitações médias e acumuladas para as estações de Xai-xai, Chókwè, Macia, Chibuto, Manjacaze, Alto Changane, Maniquenique, Massagena, Massingir, Bilene e Chicualacuala.....	22
Figura 3: Distribuição de Galton (Normal-Standard) para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).....	25
Figura 4: Distribuição Logistic para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).	28
Figura 5: Distribuição Normal (Gauss) para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA), Maniquenique (MNQNQ).	31
Figura 6: Distribuição de Weibull para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUAL)	34
Figura 7: Teste de tendência Mann-Kendall (Teste Bilateral) com valores Mínimos Xai-xai, Chókwè, Macia, Chibuto, Manjacaze, Changane, Maniquenique, Massagena, Massingir, Bilene, Chicualacuala.....	37
Figura 8: Teste de tendência Mann-Kendall (Teste Bilateral) com valores Máximos Xai-xai, Chókwè, Macia, Chibuto, Manjacaze, Changane, Maniquenique, Massagena, Massingir, Bilene, Chicualacuala.....	38
Figura 9: Serie temporal das estações da Bacia do rio Limpopo	46
Figura 10: Histograma resumindo o teste de MK com valores máximos e mínimos	46
Figura 11: Sereis Temporárias com o erro padrão das estações da bacia do Limpopo: Xai-xai, Chókwè, Macia, Chibuto, Manjacaze, Changane, Maniquenique, Massagena, Massingir, Bilene, Chicualacuala.....	47
Figura 12: Histograma da distribuição de Galton (log-normal) para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN),	

Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).....	48
Figura 13: Histograma da distribuição logística para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).....	49
Figura 14: Histograma da distribuição Normal (Guass) para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).....	50
Figura 15: Histograma da distribuição de Weibull para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).....	51
Figura 16: Imagem satélite das estações da Bacia Hidrográfica do Limpopo.....	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores da média reduzida Y_n para o método de Gumbel em função do tamanho da amostra N	11
Tabela 2 Valores do desvio padrão reduzido S_n para o método de Gumbel em função do tamanho da amostra N	11
Tabela 3: Materiais	16
Tabela 4: Precipitações máximas tem em conta os períodos de retornos	22
Tabela 5: Resultados do teste de Galton	23
Tabela 6: Resultados da distribuição logística.....	26
Tabela 7: Resultados da distribuição normal	29
Tabela 8: Resultados do teste de Weibull.....	32
Tabela 9: Estatística dos Critérios de Akaike e Bayesiano para os ajustes das distribuições de Galton, Logística, Normal e Weibull.....	33
Tabela 10: Resultados do teste de tendência de MK de valores mínimos	35
Tabela 11: Resultados do teste de MK com valores máximos	35

LISTA DE ABREVIATURAS

INAM	-	Instituto Nacional de Meteorologia
ISPG	-	Instituto Superior Politécnico de Gaza
RLS	-	Regressão linear simples
RLM	-	Regressão linear Múltipla
MPR	-	Media ponderada Regional
Fdp	-	Função de densidade de probabilidade
MK	-	Mann – Kendall
BIC	-	Critério de informação Bayesiano
AIC	-	Critério de informação de Akaike
Tr	-	Período de Retorno
KS	-	Teste de Kolmogorov-Smirnov
Q-Q	-	Qui-Quadrado
FDA	-	Função de distribuição acumulada



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que esta monografia de Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor Eng. Lateiro Salvador de Sousa, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

12 de Dezembro de 2021

Assinatura
Romário Marréngula
(Romário Joaquim Marréngula)

DEDICATÓRIA

Dedico com todo o meu afeto....

Aos meus Pais Joaquim Marrengula e Massiquine Mussá

Aos meus irmãos: Constância, Julião, Isidro, Noé e Wesley

E aos demais familiares e amigos

Em memória dos meus avos Julião Capetine e Constância Wane

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e pela saúde, que me iluminou durante essa caminhada difícil e divertida e por ter-me permitido chegar a esta realização ou melhor, conquista académica.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe Massiquine Ibraimo e ao meu pai Joaquim Marrengula e aos meus irmãos, o meu muito obrigado pelo apoio dedicado e carinho durante a caminhada.

Ao corpo dos docentes do departamento de hidráulica, pela paciência e pela educação e conhecimento transmitido, pois vocês permitiram e contribuíram para que apresentasse um bom desempenho durante o processo de formação académica.

Ao meu colega e amigo Plácido Fidelino Nhadevele que juntos perdemos varias noites nos estudos.

Aos meus colegas Alberto Marcos, Élcio Samuel, Idelson Estevão, Nélia Bila, Nélia Dalúvia, Vânia dos Santos, Mirza Xavier, Carla Raul, Telma Pedro, Paulo Chissico, Herminio Ofumane, Nelson Zefanias, Heldimiro Afonso, Sebastião Mandlate e aos demais docentes.

Ao docente Lateiro Salvador de Sousa, pela confiança, compreensão, orientação e pela paciência prestada e por ter compartilhado suas experiencias académicas, o meu muito obrigado.

Ao meu amigo de infância Edfar Daniel Muhate que sempre esteve me apoiando nessa jornada.

À todos que directo ou indirectamente contribuíram na minha formação.

Muito Obrigado (Nhibonguidre)!

RESUMO

A ocorrência de inundações e alagamentos, tanto urbanos como de campos agrícolas podem ser associados aos eventos extremos, que por vezes, atingem cidades. O problema é intensificado pela limitada capacidade de obras hidráulicas instaladas nesses locais. Estudos nessa matéria muitas vezes são difíceis de realizar em tempos reais. Recorrendo-se muitas vezes aos modelos estatísticos diversos incluindo os de Gumbel, Distribuição de Weibull, Distribuição Log-Normal, Distribuição Normal, Distribuição Logística e outras. A aplicação de modelagem probabilística em estudos hidrológicos é extremamente importante no que tange a previsão de eventos extremos associados a um período de retorno ou a determinada frequência de ocorrência, como as vazões mínimas ou máximas. O presente trabalho visou analisar a probabilidade de ocorrências de eventos extremos na Bacia do Limpopo. Para o efeito usaram-se dados de precipitação dos últimos 60 anos (1965-2020) obtidos no INAM. Os dados foram processados para avaliação nos métodos estatísticos de Gumbel, Weibull, Log-Normal (Galton), Normal (Gauss) e Logístico. O processo de preenchimento de falhas foi realizado com recurso ao método de regressão linear múltipla (RLM). De acordo com distribuição de Gumbel, a precipitação máxima diária para o período de retorno de 50 anos ($T_r = 50$ anos), observou-se na estação de Chókwè com aproximadamente 730 mm. A estação com menor valor de precipitação máxima diária foi a de Massangena, com cerca de 170 mm. Dentre os métodos estatísticos analisados, o de Gumbel mostrou-se mais eficaz para descrever as probabilidades de ocorrência de eventos extremos na Bacia de Limpopo, seguido de Galton, Weibull e Logístico. Este estudo mostrou o potencial existente nestes métodos para descrever a probabilidade de ocorrência de eventos extremos na Bacia do Rio Limpopo e procurar relacioná-los com episódios meteorológicos, no contexto das mudanças climáticas e não só.

Palavras-chaves: Precipitação; Distribuição de probabilidade; Métodos estatísticos; Distribuição de Gumbel, Galton e de Gauss; e Teste de Mann-Kendall.

ABSTRACT

The occurrence of floods and flooding, both urban and agricultural fields can be associated with extreme events, which sometimes affect cities. The problem is intensified by the limited capacity of hydraulic works installed in these locations. Studies in this field are often difficult to carry out in real time. Often resorting to various statistical models including Gumbel, Weibull Distribution, Log-Normal Distribution, Normal Distribution, Logistic Distribution and others. The application of probabilistic modeling in hydrological studies is extremely important when it comes to predicting extreme events associated with a return period or a certain frequency of occurrence, such as minimum or maximum flows. The present work aimed to analyze the probability of occurrences of extreme events in the Limpopo Basin. For this purpose, precipitation data for the last 60 years (1965-2020) obtained from INAM were used. Data were processed for evaluation using the statistical methods of Gumbel, Weibull, Log-Normal (Galton), Normal (Gauss) and Logistic. The gap filling process was performed using the multiple linear regression (RLM) method. According to the Gumbel distribution, the maximum daily rainfall for the 50-year return period ($T_r = 50$ years) was observed at Chókwè station with approximately 730 mm. The station with the lowest daily maximum rainfall was Massangena, with around 170 mm. Among the statistical methods analyzed, Gumbel's was the most effective to describe the probability of occurrence of extreme events in the Limpopo Basin, followed by Galton, Weibull and Logistic. This study showed the potential existing in these methods to describe the probability of occurrence of extreme events in the Limpopo River Basin and try to relate them to meteorological episodes, in the context of climate change and beyond.

Keywords: Precipitation; Probability distribution; Statistic methods; Gumbel, Galton and Gauss distributions; and Mann-Kendall test.

I. INTRODUÇÃO

O uso das distribuições de probabilidade de eventos extremos para estimar, é recorrente na hidrometeorologia e hidrologia, e tem desempenhado um papel importante dentro da gestão e concepção da engenharia dos recursos hídricos, podendo servir para melhorar o rigor de intervenções com efeitos hidrológicos (Omena, *et al.*, 2013). A aplicação de modelagem probabilística em estudos hidrológicos é extremamente importante no que tange a previsão de eventos extremos associados a um período de retorno ou a determinada frequência de ocorrência, como os caudais mínimos ou máximos. O ajuste de distribuições de probabilidade ao conjunto de dados hidrológicos envolve a estimativa dos seus parâmetros. (Carvalho, *et al.*, 2018). Isto ocorre devido a impermeabilização crescente das bacias hidrográficas, e a ocupação inadequada das regiões ribeirinhas aos cursos de água (Ramos *et al.*, 1999).

A precipitação pluviométrica é uma variável climática que possui uma distribuição aleatória no espaço e no tempo, exercendo forte influência nas condições ambientais (Mello e Oliveira, 2016). O estudo de métodos para o preenchimento de falhas em séries temporais tem o objetivo de contribuir para a geração de dados mais confiáveis, que promovam o avanço de pesquisas nas áreas afins (Mello, Kohls e Oliveira, 2017). O crescimento das áreas urbanas provoca um aumento da impermeabilização do solo que por sua vez conduz ao agravamento dos caudais de escorrência pluviais, levando assim à ocorrência de inundações mais frequentes. Adicionalmente, as actividades que ocorrem nestas áreas causam um aumento da disponibilidade de contaminantes no solo, que são captados e disseminados pelas águas pluviais (Santos, 2010).

O presente trabalho visa abordar sobre a análise probabilística de ocorrências de eventos extremos na Bacia do Limpopo, observar os parâmetros a estudar para a resolução da ocorrência de eventos que afectam a Bacia do Limpopo.

1.1. Problema e Justificativa

Devido ao aquecimento global, resultado de um aumento de temperatura media global, há registos de ocorrência de eventos extremos climáticos em partes diferentes da Terra, sendo necessário reflectir à dinâmica do clima, sob o ponto de vista dos impactos das suas manifestações sobre as comunidades, sociais e ambientais, permitindo, formular estratégias de

adaptação e mitigação, que não estejam focadas somente no período de sua ocorrência. A Bacia do Limpopo situa-se numa faixa ambiental vulnerável à ocorrência e aos efeitos de eventos extremos como inundações e chuvas. A elevada precipitação pluviométrica culmina com as inundações, tendo como consequências as descargas de represas dos países vizinhos, facto este que impossibilita a gestão de caudais, para que haja um escoamento admissível para evitar com que a bacia fique submersa.

Na Bacia do Limpopo verifica se problemas de escoamento e inundações que vão se intensificando a cada época. Desta forma, em apoio a isso, à necessidade com que haja à condução de estudos que possibilitem a interpretação dos factores que interferem no funcionamento. A mudança climática reflecte um aumento crescente da temperatura global bem como alterações na composição da atmosfera, que por sua vez provocam mudanças no ciclo das chuvas, temperatura, assim como em outros padrões relacionados com a atmosfera e o clima. O resultado final é uma mudança contínua nos processos de captação e escoamento das águas da chuva e na disponibilidade da água, com efeitos profundos sobre os ecossistemas e comunidades que dependem destes.

Segundo, Lucca (2012) afirma que o problema das enchentes em áreas urbanas existe em muitas cidades, e suas causas são diversificadas, tais como assoreamento do leito dos rios, impermeabilização das áreas de infiltração na bacia de drenagem, factores climáticos de ilhas de calor, el niño, etc. Portanto existe diversas medidas para o controle de enchentes resultantes do processo de urbanização, entretanto sua eficácia está atrelada a sua correta execução, ao monitoramento e manutenção das infraestruturas de forma periódica.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral

- ✚ Analisar as probabilidades de ocorrência de eventos extremos na Bacia do Limpopo.

1.2.2. Específico

- ✚ Avaliar os principais factores determinantes da ocorrência de eventos extremos na Bacia do Limpopo;
- ✚ Determinar os ajustes das funções de distribuição de probabilidades;

✚ Definir a tendência e mudança na precipitação.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo de um posto de medição de chuvas é formar uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos (ou a variação das intensidades de chuva ao longo das tormentas). Normalmente, as séries podem apresentar erros de leitura, de transcrições e digitação, defasagem de horário de leituras, ausência de informações, entre outros, tornando-as impróprias às suas utilizações imediatas. Por esses motivos os dados deverão submeter-se às técnicas de depuração e preenchimento de falhas, de modo a se tornarem mais homogêneos possíveis antes de serem usados (Salgueiro, 2015).

A gestão e o planejamento dos recursos hídricos dependem do entendimento do comportamento do sistema com base nos dados observados. Ter o conhecimento de como se apresenta os fenômenos hidrológicos ou hidrometeorológicos extremos dá subsídios para que se diminuam impactos decorrentes destes eventos naturais, mitigando problemas socioeconômicos de grande escala (Omena, *et al.*, 2013).

A chuva possui variabilidade espacial e temporal e não se distribui uniformemente sobre a bacia hidrográfica. A determinação dos intervalos de duração de chuva, bem como sua intensidade e frequência, são fundamentais para estruturas hidráulicas tanto em áreas urbanas quanto para áreas rurais. Em áreas urbanas, sua estimativa e caracterização são importantes para o cálculo dos hidrogramas utilizados no dimensionamento de obras hidráulicas, de controle de cheias, como reservatórios de detenção e os sistemas de micro e macrodrenagem (Sartorelli, 2013).

Segundo Sartorelli (2013), afirma que a vulnerabilidade é determinada pelas condições físicas sociais, econômicas, políticas, técnicas, institucionais, ambientais que podem atuar de maneira a aumentar a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto de eventos perigosos.

O termo drenagem urbana é entendido como o conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos relacionados às enchentes, bem como diminuir os prejuízos causados por elas e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável (Tasca, 2012).

2.1. Séries Temporais

Séries temporais de dados são conjuntos de dados de mesma natureza observados em diferentes instantes de tempo. Dados de séries temporais caracterizam-se por não ser independentes, seja a curto, médio e longo prazo. Isto é, há dependência das observações vizinhas, de modo que se torna possível modelar essa dependência. (Rihbane, 2018).

Em particular, no contexto ambiental, tem-se o monitoramento de variáveis meteorológicas ou climáticas como temperatura e umidade relativa do ar diária, precipitação pluviométrica, velocidade do vento, fluxo de calor no solo entre outros (Rihbane, 2018).

2.2. Bacia Hidrográfica

Para Silveira (2009), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação a qual converge os escoamentos para um único local de saída, seu exutório, sendo composta essencialmente por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem composta por cursos de água que confluem até que resulte em um canal único no exutório.

Aspectos que induzem os planejadores a nomearem a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão, por ser um sistema natural bem demarcado no espaço, onde suas interações físicas são associadas e assim sendo, simples de serem compreendidas, tornando as capazes de refletir as semelhanças de causa e efeito (Santos, 2017).

Usando a bacia hidrográfica como unidade de trabalho, o planejamento torna-se mais apropriado e permite conciliar a produção com a preservação ambiental, devidos os seus limites serem formados naturalmente, por meio do divisor de águas (Santos, 2017).

De acordo com Christofletti (1999), áreas inferiores a 100 km^2 são consideradas como pequenas bacias, as com áreas entre 100 e 1000 km^2 como médias e as maiores que 1000 km^2 , como grandes.

2.3. Métodos Para Preenchimento de Falhas

Diante disto e notório que quanto mais aumenta o monitoramento através de coletores de dados, sensores, a probabilidade de ocorrer falhas em series temporais tende a aumentar, independente do motivo, sendo por intempéries da natureza, falha de equipamento e sensores, conectividade, entre outros.

As metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual, em que é aplicado o método de ponderação regional, regressão linear e potenciais múltiplas, entretanto observou um melhoramento nas estimativas quando se aplicou vetor regional combinado com os demais métodos. Com isso empiricamente pode se dizer que, técnicas de preenchimento de falhas têm resultados melhores quando se combina vários métodos para realizar as estimativas (Rihbane, 2018).

Segundo Silva & Soares (2017) diz que média de três estações: Independente do número de postos utilizados para a correção da falha, a fórmula permanece a mesma, mudando apenas o denominador que corresponde ao total de postos utilizados, sendo que este será 2 se os postos também forem, ou três se forem utilizados três postos, e assim sucessivamente.

Segundo Mello, Kohls and Oliveira (2017), afirma que o método de Ponderação Regional (MPR): Neste método são selecionados pelo menos 3 postos e que se localizem em uma região climática semelhante ao posto a ser preenchido. Este método consiste em estabelecer regressões lineares entre estações com dados a serem preenchidos, Y , e cada um dos postos vizinhos.

2.4. Eventos Extremos

Segundo Mahumane (2019) Os sistemas ambientais caracterizam-se por serem altamente dinâmicos e apresentarem uma variabilidade natural em seu ritmo, da qual fazem parte os eventos extremos, ou seja, eventos anómalos ou ainda podem ter a designação de ocorrências excepcionais.

Evento extremo é uma ocorrência que se distancia da média e que apresenta uma incidência mais rara, podendo ter graus diversos de magnitude e intensidade.

Os eventos extremos podem ser referidos como grandes desvios de um estado climático moderado que possui um potencial de destruição: chuvas intensas, vendavais e furacões, grandes secas (Marengo, 2010).

São extremos hidrológicos que podem resultar em secas e inundações. O conhecimento sobre as mudanças nos eventos extremos é necessário por causa das consequências devastadoras que deles provém. É possível que as mudanças estejam acontecendo, porém ainda não existem informações suficientes para que seja detetável. Como os extremos são raros, necessário seria a construção de uma série composta especificamente de dados extremos, e não de séries que

permitam participação predominante de valores normais analisados em meio aos dados de pico (Salgueiro, 2015).

2.5. Factores Determinantes da Ocorrência de Eventos Extremos

Segundo Torres, *et al* (2019) afirma que os factores que influenciam na ocorrência de eventos extremos são:

- ✚ Inundações, enchentes e alagamentos;
- ✚ Deslizamentos, desmoronamentos e escorregamentos da terra;
- ✚ Seca.

2.5.1. Sistemas de Drenagem

Os sistemas de drenagem são classificados como de microdrenagem e de macrodrenagem, sendo:

- ✚ A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais nos loteamentos ou na rede primária urbana. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender a drenagem de precipitações com risco moderado.
- ✚ A macrodrenagem abrange áreas superiores a 4 km² ou 400 ha, sendo que esses valores não devem ser tomados como absolutos porque a malha urbana pode possuir as mais diferentes configurações. Este tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores às da microdrenagem com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais (Manual de Drenagem Urbana, 2017).

2.5.2. Precipitação

O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas e topográficas, e por seu clima. Os fatores climáticos mais importantes são a precipitação, principal “*input*” do balanço hidrológico de uma região, sua distribuição e modos de ocorrência, e a evaporação, responsável direta pela redução do escoamento superficial (Hidrologia Básica, 2005).

A precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma determinada área ou bacia hidrográfica (Sartorelli, 2013).

A disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é um fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. A determinação da intensidade de precipitação é importante para o controle de inundação e da erosão do solo. Por sua capacidade para produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia (Hidrologia Básica, 2005).

2.5.3. Determinação de Caudais de Ponta de Cheia

Para o dimensionamento dos componentes da rede de drenagem de águas pluviais, é essencial conhecer os caudais que os atravessam nos momentos mais críticos, ou seja, os caudais de ponta de cheia existem três tipos de abordagens diferentes para a sua determinação, nomeadamente através de (Martins, 2000):

- ✚ Fórmulas empíricas, com base na experiência, sem que os resultados sejam associados a probabilidades de ocorrência;
- ✚ Fórmulas cinemáticas, que tem em consideração as características do movimento da água na bacia;
- ✚ Fórmulas de base estatística, que entram em consideração com os registos de cheias anteriores.

Preferencialmente, o cálculo destes caudais deve ter por base o tratamento estatístico de uma amostra com um grande número de caudais medidos.

2.5.4. Intensidade Média de Precipitação

Segundo Santos (2010) afirma que para o cálculo dos caudais de ponta de cheia através dos métodos supra mencionados é essencial ter conhecimento da intensidade média de precipitação (i), durante um tempo de precipitação (tp), para um período de retorno associado (t). Este conceito é expresso pelas curvas de intensidade duração-frequência (IDF).

2.6. Modelos Hidrológicos

São utilizados como instrumentos cuja função trata da compreensão do funcionamento de uma bacia hidrográfica (Coelho, 2013).

Segundo Leitão et al., (2008) os modelos hidrológicos mais utilizados são os seguintes:

- ✚ Método Racional;
- ✚ Método Curva-Tempo;
- ✚ Hidrograma Unitário;
- ✚ Modelos de Reservatório.

2.6.1. Método Racional

A forma mais simples e também mais usada, tanto nacional como internacionalmente (Marques e Sousa, 2008), para a determinação de caudais de ponta de cheia bacias hidrográficas de pequena e média dimensão é recorrendo ao método racional (Matos, 2003).

2.6.2. Método Racional Generalizado

O Método Racional Generalizado é exactamente o que o seu nome diz, uma generalização do Método Racional, tornando-o susceptível de aplicação a bacias com qualquer percentagem de área impermeável (Costa, 1956 em Matos, 2003).

2.6.3. Método de Martino

As áreas urbanizadas de baixo-relevo (inclinação das vertentes inferior a 5%) são propícias a intercepções e armazenamentos dentro da própria bacia, pelo que o Método Racional tem, como se referiu, tendência a sobrestimar os caudais (Costa e Lança, 2001). O Método De Martino surge assim para eliminar esta sobrevalorização, incluindo na sua formulação uma nova variável, o coeficiente de armazenamento, ψ , atendendo desta forma ao efeito de acumulação e consequente atraso nos caudais de ponta que se fazem sentir numa rede de colectores (Noraqua, 2007).

2.6.4. Método do Soil Conservation Service

O Método do Soil Conservation Service, também designado método do hidrograma unitário, é o método aplicado a bacias de dimensão superior. O facto de apresentar uma metodologia completa e consistente permite o cálculo de hidrogramas de cheia em bacias das quais não haja dados hidrométricos suficientes (Lourenço, 2014).

2.7. Análise de frequência hidrológica

Os processos hidrológicos são aleatórios. Isto significa que suas realizações não podem ser a *priori* conhecidas. Através da estatística e da teoria das probabilidades, comparam-se as características de um modelo teórico com as do processo natural a partir da seleção de algum “modelo probabilístico” que se ajuste a esse processo, conhecido como “inferência estatística”. Na comparação dos modelos teóricos ajustados ao empírico, obtido a partir da amostra, pode-se selecionar um deles, através de “testes de hipóteses”. Nesse caso, a hipótese descreve se algum dos modelos teóricos selecionados é adequado para representar o processo em análise (Salgueiro, 2015).

Segundo Salgueiro (2015) os estudos estatísticos permitem verificar com que frequência as precipitações ocorrem com uma dada magnitude, estimando a probabilidade teórica de ocorrência das mesmas. A literatura estatística dispõe de muitas distribuições teóricas. Essas distribuições são modelos que procuram representar o comportamento de determinado evento em função da frequência de sua ocorrência.

Considerando a homogeneidade, a independência e a representatividade das séries de dados como atributos exigidos, assinalaram que a utilização da técnica de análise de frequência tem desempenhado um papel importante na prática da engenharia.

2.8. Métodos Estatísticos

- ✚ Método De Gumbel;
- ✚ Distribuição de Weibull;
- ✚ Método De Log - Pearson Tipo III (Lp III);
- ✚ Distribuição Log-Normal;
- ✚ Distribuição Normal;
- ✚ Distribuição Logística.

Análise exploratória de dados é necessária sempre que os dados estão sendo examinados, ou uma análise estatística é realizada. A análise exploratória de dados envolve o uso de gráficos para explorar, entender e apresentar os dados tornando-se um componente essencial de qualquer análise estatística. Os gráficos são traçados e depois analisados de modo que as características importantes dos dados possam ser vistas claramente (Salgueiro, 2015).

Segundo Salgueiro (2015) ao realizar um teste estatístico é sempre necessário considerar os seguintes pressupostos:

Normalidade – pressuposto de que os dados assumem que são normalmente distribuídos. Essa suposição é violada se os dados não seguir a distribuição especificada;

Homogeneidade – pressuposto de que os dados assumem que são homogêneos. Essa suposição é violada se houver variações sazonais ou quaisquer outros ciclos nos dados;

Independência – pressuposto de que os dados assumem que são independentes. Essa suposição é violada se houver autocorrelação (correlação temporal) ou correlação espacial (correlação entre as séries das estações pluviométricas).

2.8.1. Método de Gumbel

A teoria dos extremos de amostras ocasionais, Gumbel demonstrou que, se o número de vazões máximas anuais tende para infinito, a probabilidade “P” de uma dada descarga ser superada por um certo valor da variável aleatória é dada pela equação seguinte, para um número infinito de elementos (Departamento Nacional De Infra-Estrutura De Transportes, 2005).

A teoria de valores extremos fornece as bases teóricas para a utilização dos modelos que dela derivam, como entre outras a distribuição Gumbel para máximos. Porém, consideraram que a distribuição de Gumbel é a distribuição extremamente usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas. Concluíram que a distribuição teórica de Gumbel é a mais adequada para estimar as probabilidades de ocorrência de eventos extremos de precipitação para diversas durações, após analisar dados de milhares de estações pluviométricas nos Estados Unidos (Salgueiro, 2015).

Tabela 1: Valores da média reduzida Y_n para o método de Gumbel em função do tamanho da amostra N

<i>N = sample size</i>										
<i>N</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.5220
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5283	0.5296	0.5309	0.5320	0.5332	0.5343	0.5353
30	0.5362	0.5371	0.5380	0.5388	0.5396	0.5402	0.5410	0.5418	0.5424	0.5430
40	0.5436	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5463	0.5468	0.5473	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.5530	0.5533	0.5535	0.5538	0.5540	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.5550	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.5570	0.5572	0.5574	0.5576	0.5578	0.5580	0.5581	0.5583	0.5585
90	0.5586	0.5587	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.5598	0.5599
100	0.5600									

Fonte: Tomaz (2014)

Tabela 2 Valores do desvio padrão reduzido S_n para o método de Gumbel em função do tamanho da amostra N

<i>N = sample size</i>										
<i>N</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9833	0.9971	1.0095	1.0206	1.0316	1.0411	1.0493	1.0565
20	1.0628	1.0696	1.0754	1.0811	1.0864	1.0915	1.0961	1.1004	1.1047	1.1086
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.1226	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.1388
40	1.1413	1.1436	1.1458	1.1480	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.1590
50	1.1607	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
60	1.1747	1.1759	1.1770	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.1890	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.1930
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.1980	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2020	1.2026	1.2032	1.2038	1.2044	1.2049	1.2055	1.2060
100	1.2065									

Fonte: Tomaz (2014)

2.8.3 Distribuição de Weibull

Segundo Araújo *et al.*, (2010), afirma que a distribuição de Weibull tem sua função de densidade de probabilidade mais comumente apresentada da seguinte forma:

$$F(x) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma\right]; \text{ para } x \geq \alpha \quad (1)$$

Onde: $F(X) = 0$ para outros intervalos; X - variável aleatória; $\alpha \geq 0, \beta > 0, \gamma > 0$, os parâmetros da distribuição.

2.8.4. Método de Log - Pearson Tipo III (Lp III)

A distribuição de Log-Pearson Tipo III (LP-III) constitui-se de uma variação da distribuição de Pearson Tipo III onde são calculados os logaritmos das descargas, adotando-se o mesmo ajustamento da distribuição de Pearson III (Departamento Nacional De Infra-Estrutura De Transportes, 2005).

2.8.5. Distribuição Log-Normal

Segundo Sartorelli (2013) afirma que a suposição é que os logaritmos das chuvas seguem uma distribuição normal. Para isso o cálculo estatístico é aplicado sobre os logaritmos das chuvas, em vez de manusear diretamente com os valores de chuva.

A distribuição lognormal aparece na literatura tendo sido considerada inicialmente em 1879 por Francis Galton. Apenas em 1930 foi considerada por Gibrat como sendo um pilar para a aleatoriedade. A distribuição lognormal é graficamente representada por uma curva em forma de lombas. As características desta curva auferem-lhe boas capacidades de modelar bens cuja taxa de avarias vai aumentando sempre ao longo do tempo de utilização (Fernandes, 2013).

$$f(t) = \frac{1}{\sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t' - \bar{t}'}{\sigma'} \right)^2} \quad (2)$$

$$t \geq 0, -\infty < \bar{t}' < \infty, \sigma' > 0$$

2.8.6. Distribuição Normal

Segundo Fernandes (2013), a distribuição normal ou curva de Gauss é a distribuição mais utilizada em estatística. Esta distribuição foi apresentada por Carl Friedrich Gauss (1777-1885), considerado por muitos uma das mentes mais brilhantes de todos os tempos. A distribuição é graficamente representada por uma curva em forma Gaussiana (ou de sino) e simétrica relativamente à média. Esta distribuição é biparamétrica e a sua função densidade de probabilidade (de falha) é descrita por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma} \right)^2} \quad (3)$$

$$-\infty < t < \infty, -\infty < \bar{t} < \infty, \sigma > 0$$

2.8.7. Distribuição Logística

Segundo Melo and Lima (2021), afirmam que a distribuição Logística apresenta normalmente duas expressões: uma denominada de fórmula geral e outra de forma padrão. A expressão geral da função de densidade de probabilidade (fdp) Logística é dada pela equação:

$$f(x) = \frac{e^x}{[1 + e^{-x}]^2} \quad \text{para } x \in R \quad (4)$$

2.9. Aderência da distribuição

Para a definição do modelo que descreva o comportamento probabilístico de uma variável hidrológica, é imprescindível o ajuste ou aderência da distribuição teórica à curva da distribuição empírica dos valores amostrais, ao nível de significância estatística desejado. Entre outros testes de aderência destacam-se os testes Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling e Filliben (Salgueiro, 2015).

Na aprovação ou não da distribuição, a diferença da frequência calculada com a frequência empírica deve ser menor que o valor crítico encontrado em tabelas próprias de cada teste, de acordo com o nível de significância usado, sendo que, quanto mais próximo de zero for esse valor, o modelo representará de forma mais precisa os dados amostrais (Salgueiro, 2015).

2.10. Análise de tendência e mudança na precipitação

- ✚ **Teste de Mann-Kendall** – Teste estatístico não paramétrico usado para verificar se há tendência em séries temporais de dados. A Hipótese nula H_0 é que não existe uma tendência nos dados. Os N valores da série temporal $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ são reagrupados em ordem crescente $(R_1, R_2, R_3, \dots, R_n)$ (Britto, 2015).

O teste de Mann-Kendall é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se uma série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Nesse sentido, por se tratar de um método não paramétrico, ele não requer distribuição normal dos dados (Melo and Lima, 2021).

- ✚ **Teste de Spearman-Rho** – Teste estatístico não paramétrico usado para verificar se há tendência em séries temporais de dados. A Hipótese nula h_0 é que não existe uma tendência nos dados.

- ✚ **Teste de Regressão Linear** – Testes estatístico paramétrico que serve para verificar se há tendência em séries temporais de dados.

2.11. Critério de informação de Akaike (AIC)

Segundo Yamanouchi (2018), diz-que este critério também é conhecido por marginal AIC no contexto do modelo linear misto, baseia-se na informação de Kullback-Leibler e é muito conhecido e utilizado para selecionar modelos. Akaike mostrou que o modelo introduzido pela estimação de máxima verossimilhança tende assintoticamente ao número de parâmetros a serem estimados no modelo. O critério de informação de Akaike é definido por:

$$AIC = -2 \log (\varphi) + 2 [(P + 1) + 1] \quad (5)$$

Onde: φ é a função de verossimilhança do modelo; P a quantidade de Parâmetros θ

2.12. Critério de informação Bayesiano (BIC)

O BIC é um critério de seleção baseado na função de verossimilhança, de forma que baixos valores indicam menos variáveis explicativas e melhor ajuste. Desta forma, selecionar o menor BIC significa adotar um modelo que maximiza a cobertura das probabilidades relacionadas aos dados. O BIC, expresso matematicamente, corresponde a:

$$BIC = -2 \log (\varphi) + [(P + 1) + 1] \cdot \log (n) \quad (6)$$

Onde: φ é a função de verossimilhança do modelo; P a quantidade de Parâmetros θ e n a quantidade de observações Yamanouchi (2018).

III. METODOLOGIA

3.1. Descrição da Área de Estudo

Para o estudo foi escolhido a Bacia hidrográfica do Limpopo, centrado no curso médio do rio Limpopo, tendo como limites a norte do rio Limpopo o distrito de Massingir, Mabalane e Guija, a sul o distrito de bilene e o rio Mazumuchope que o separa do distrito de Magude, este confina com o distrito de Bilene e Magude e a oeste com os distritos de Magude e Massingir (MAE, 2005).

O Rio Limpopo tem a sua nascente na África do Sul e tem uma extensão de cerca de 1.750 km que se estende pelo Botswana, Zimbabwe, África do Sul e Moçambique, desagua no Oceano Índico. O rio tem uma bacia de drenagem de aproximadamente 408.000 quilómetros quadrados abrangendo diferentes zonas climáticas e topográficas, bem como diversos tipos de uso da terra, incluindo centros populacionais, terras de cultivo e áreas naturais, como a Área de Conservação Transfronteiriça do Grande Limpopo. A bacia hidrográfica do rio Limpopo tem aproximadamente 17 milhões de habitantes, que se projecta a aumentar para quase 23 milhões de habitantes até 2040. A população da parte moçambicana da bacia é de aproximadamente 572.000 pessoas (32.000 no troço do Médio-Baixo Limpopo e 540.000 no Baixo Limpopo) (AIAS, 2018).

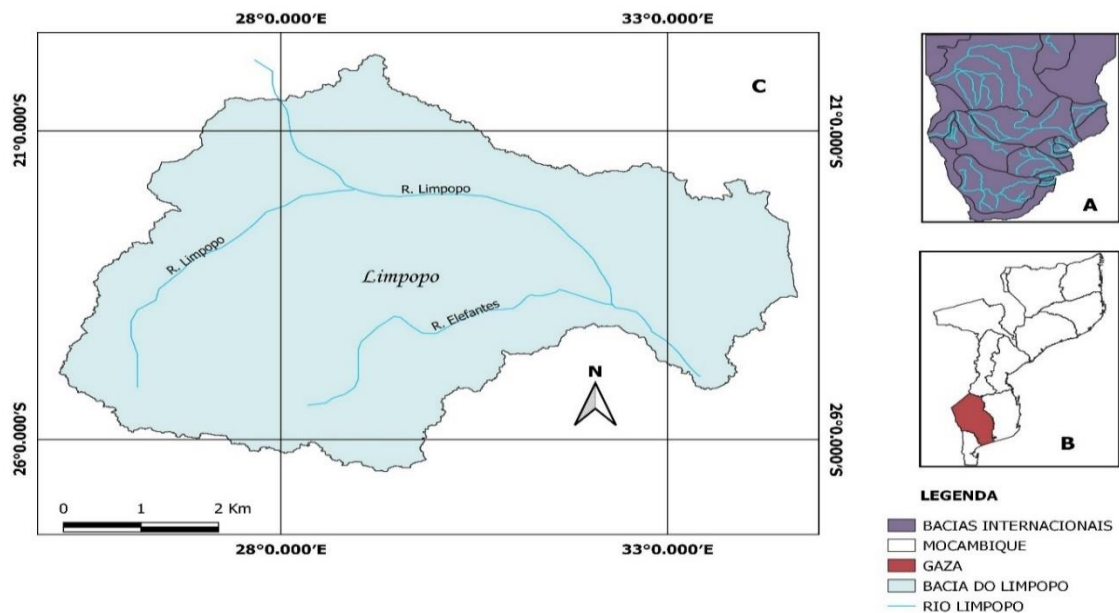


Figura 1: Mapa da área de estudo (Bacia hidrográfica do Limpopo)

A - Mapa de Bacias internacionais;

B - Mapa de Moçambique e Província de Gaza;

C – Mapa da Bacia do Rio Limpopo.

3.2. Materiais

Para a realização desse trabalho foram necessários os seguintes materiais:

Tabela 3: Materiais

Materiais	Aplicação
Microsoft Excel	Para o processamento das equações
Microsoft Word	Para a compilação da informação
Notebook	Para anotações
Google Earth e QGIS	Extracção de imagem e coordenadas da área em estudo
Statistic 9.0	Software auxiliar para o preenchimento de falhas

XLSTAT 2021

Software que auxilia o processamento de dados na análise estatística

3.3. Preenchimento de Falhas

Realizado o trabalho usou-se uma série de dados pluviométricos (dados de entradas) das precipitações da Bacia do Limpopo, referentes aos anos de 1965 a 2015, considerando um tempo de retorno de 50 anos, referentes a 11 estações nomeadamente: Xai-xai, Chókwe, Massingir, Maniquenique, Manjacaze, Chicualacuala, Macia, Bilene, Massangena, Changane, Chibuto.

Para melhor estruturar a série histórica dos dados pluviométricos da Bacia do Limpopo, foram testados dois métodos de preenchimento de falhas nomeadamente:

- Regressão Linear simples;
- Regressão Linear Múltipla.

Regressão Linear simples (RLS): as precipitações de um posto pluviométrico com falhas e de um posto vizinho são relacionadas de acordo com a correlação de Pearson

$$y_c = x_{1i} + a_1 x_{2i} + \dots + a_n - 1 x_{ni} + a_n \quad (7)$$

Regressão Linear Múltipla (RLM):

$$y_{ci} = a_0 \times x_{1i}^{a_1} \times x_{2i}^{a_2} \times x_{3i}^{a_3} \quad (8)$$

Os dados pluviométricos obtidos no ISPG derivados do INAM possuíam défice de dados e erros de digitação, face a este motivo teve que se submeter as técnicas de preenchimento de falhas para que haja homogeneidade dos dados, antes de serem processados. Na realização do preenchimento de falhas recorreu-se ao do Excel e o software statistic 9.0, que auxilia na obtenção de equações para o preenchimento de falhas e gera gráficos de regressão e os coeficientes de correlação (r).

Foram aplicados para a análise estatística cinco métodos nomeadamente: Gumbel, Log-normal (Galton), Normal (Guass), Logistic, Weibull, com o auxílio do software XLSTAT (2021).

3.4. Método De Gumbel

Baseado na teoria dos extremos de amostras ocasionais, Gumbel demonstrou que, se o número de caudais máximos anuais tende para infinito, a probabilidade “P” de uma dada

descarga ser superada por um certo valor da variável aleatória é dada pela equação seguinte:

Para analisar as maiores precipitações, é usada a distribuição de Gumbel;

$$X_T = X_m + K \cdot \sigma \quad (11)$$

Onde: X_T : valor extremo para um determinado período de retorno

X_m : valor medio da amostra

σ : desvio padrão da amostra

K : Factor de frequência determinado por:

$$K = (y_T - y_n) / S_n \quad (12)$$

Onde: K : factor de Frequência

$$Y_t = -(\text{Ln} (\text{Ln} (T / (T - 1)))) \quad (13)$$

T : período de retorno (anos)

y_n : media reduzida pela tabela (1) em função do tamanho da amostra N

N : tamanho da amostra

S_n : desvio padrão reduzido fornecido pela tabela (2) em função do tamanho da amostra (N)

3.5. Distribuição Log-Normal

A função densidade da distribuição Log-normal a dois parâmetros e a três parâmetros são representadas pela seguinte equação:

$$\log x = \overline{\log x} + K \cdot \sigma \quad (14)$$

Onde:

X é o logaritmo da precipitação máxima para uma dada probabilidade;

\bar{x} é a media dos logaritmos das precipitações máximas anuais;

σ é o desvio padrão dos logaritmos das vazões máximas anuais; e K é o obtido de tabelas de distribuição normal.

3.6. Distribuição Normal

A distribuição é graficamente representada por uma curva em forma Gaussiana (ou de sino) e simétrica relativamente à média.

Esta distribuição é biparamétrica e a sua função densidade de probabilidade (de falha) é descrita por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right)^2} \quad (15)$$

$$-\infty < t < \infty, -\infty < \bar{t} < \infty, \sigma > 0$$

3.7. Distribuição de Weibull

Segundo Araújo *et al.*, (2010), afirma que a distribuição de Weibull tem sua função de densidade de probabilidade mais comumente apresentada da seguinte forma:

$$F(x) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma\right]; \text{ para } x \geq \alpha \quad (16)$$

3.8. Distribuição Logística

Segundo Melo and Lima (2021), afirmam que a distribuição Logística apresenta normalmente duas expressões: uma denominada de fórmula geral e outra de forma padrão. A expressão geral da função de densidade de probabilidade (fdp) Logística é dada pela equação:

$$f(x) = \frac{e^x}{[1+e^{-x}]^2} \quad \text{para } x \in R \quad (17)$$

Uma vez ajustados os parâmetros para as séries históricas, foram utilizados o Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC) para verificar qual modelo foi mais adequado.

3.9. Análise de tendência e mudança na precipitação

Para a verificação da existência de tendências ou mudanças abruptas na precipitação, utilizaram-se os testes estatísticos associados ao software Xlstat.

Teste de Mann-Kendall – Teste estatístico não paramétrico usado para verificar se há tendência em séries temporais de dados. A Hipótese nula h_0 é que não existe uma tendência nos dados. Os N valores da série temporal ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) são reagrupados em ordem crescente. ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$).

Esse teste considera que na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples).

No teste de MK, uma tendência é considerada negativa ou positiva, indicando diminuição ou aumento nos atributos da série histórica analisada, caso o escore de MK (Kendall's tau) seja negativo ou positivo. Um valor positivo do coeficiente de MK indica uma tendência de aumento da variável, enquanto um valor negativo indica uma tendência de decréscimo, desde que significativos ao nível de 5% (Melo and Lima, 2021).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Preenchimento de Dados

O método aplicado para o preenchimento de falhas foi o método de regressão linear múltipla. Estatisticamente todos os métodos são aplicáveis, mas a regressão linear múltipla apresentou menor erro e o coeficiente de Pearson tendem a 1. Em alguns casos houve necessidade de aplicar a regressão linear simples.

Estas análises confirmaram que o método utilizado, mais sofisticado estatisticamente é, realmente, o que apresenta os melhores resultados. Porém, nem sempre existem dados disponíveis no mesmo período em mais de uma estação para realizar o preenchimento de falhas, sendo a única alternativa, neste caso, a utilização da regressão linear simples (Mello, Kohls and Oliveira, 2017).

Mello, Kohls and Oliveira, (2017), realizou o preenchimento de falhas mensais para dados de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa e precipitação,

empregando os métodos de regressão múltipla, média simples, média de três estações, proporção normal e análise harmônica.

4.2 Caracterização Hidrológica das Principais Estações na Bacia do Limpopo

A bacia de Limpopo caracteriza-se por apresentar variações consideráveis no seu padrão de precipitação, havendo meses com alta intensidade de precipitação, queda pluviométrica de curta-duração e geração de escoamentos superficiais consideráveis, na estação quente ou húmida. Grande parte disso pode estar associado a condições de aridez e semi-aridez, que caracteriza a região. Na Figura 2, ilustra-se as médias de precipitação mensal e a tendência do valor acumulado da precipitação. A partir desses gráficos fica evidente a propensão da bacia a ocorrência de determinados eventos extremos tais como cheias/inundações (na estação quente) e secas e estiagem (na estação fresca). Apesar de localizar-se a montante da bacia, as estações de Massangena, Chicualacuala e Massingir observam maior erraticidade pluviométrica em relação aos restantes pontos. Estações situadas ao longo da costa, tais como Bilene e Xai-xai, tende a observar relativamente maiores quedas pluviométricas, em relação as do interior da bacia.

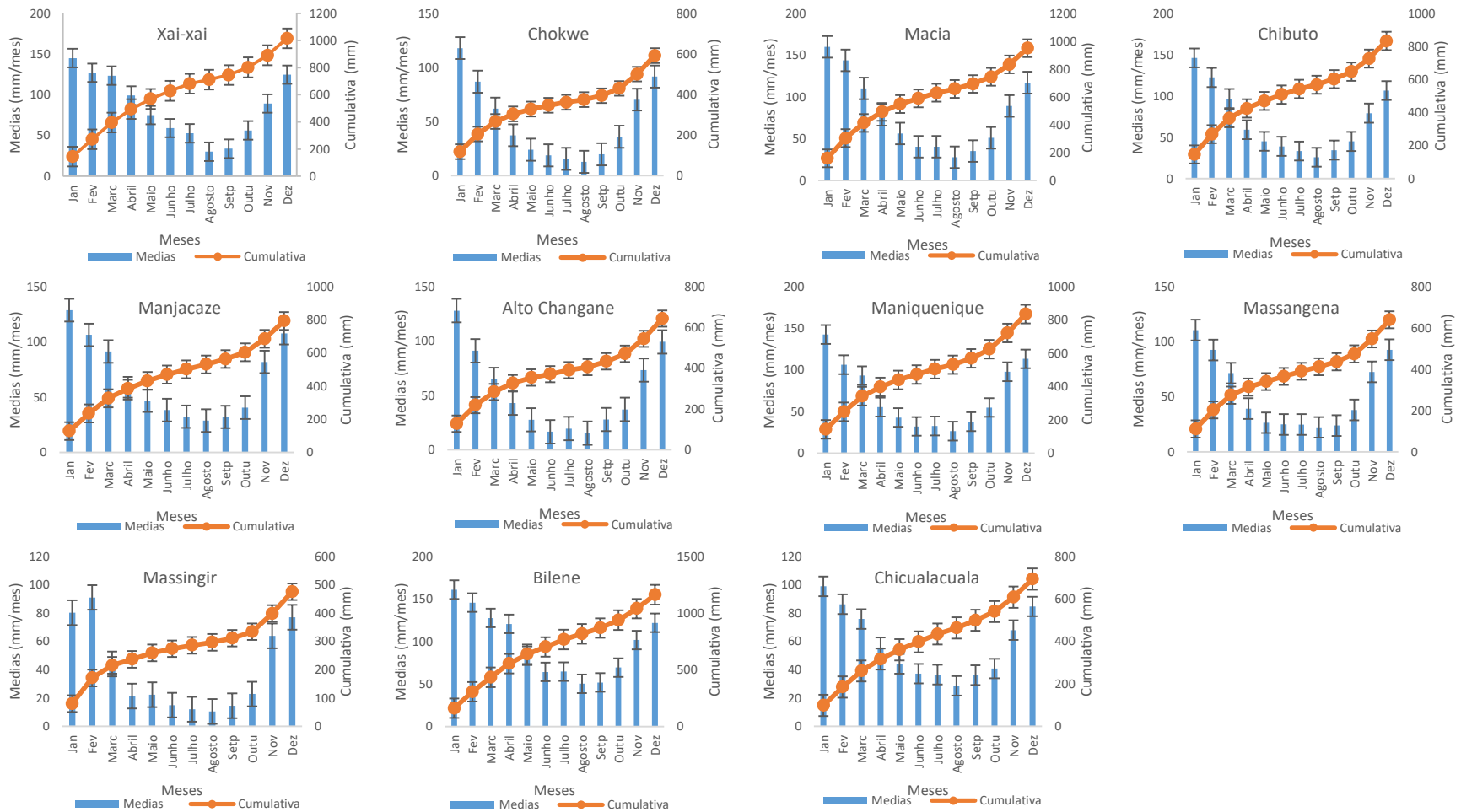


Figura 2: Análises de precipitações médias e acumuladas para as estações de Xai-xai, Chókwè, Macia, Chibuto, Manjacaze, Alto Changane, Maniquenique, Massangena, Massingir, Bilene e Chicualacuala.

4.3 Método de Gumbel

O valor da média reduzida fornecida pela Tabela 1 em função do tamanho da amostra $n = 50$ anos é $Y_n = 0.5485$ e para 51 anos (Estações pintadas a negrito na Tabela 4) é $Y_n = 0.5489$ e o valor dos desvio padrão para o $n = 50$ anos é $S_n = 1.1607$ e para $n = 51$ anos é $S_n = 1.1623$ de acordo com a Tabela 2.

Tabela 4: Precipitações máximas tendo em conta os períodos de retornos

Estações	Período de Retorno (Precipitação)		
	5	10	50
Xai-xai	265,32	321,62	445,55
Chokwe	371,75	457,68	646,8
Macia	323,24	397,65	561,41
Chibuto	323,24	397,65	561,41
Manjacaze	288,49	344,84	468,87
Changane	275,95	335,85	467,68
Maniquenique	330,57	409,76	584,05
Massagena	166,09	166,84	168,49
Massingir	254,16	329,27	494,58
Bilene	376,77	459,6	641,89
Chicualcuala	212,63	257,36	355,81

De acordo com Gumbel a precipitação máxima diária considerando $T_r = 50$ anos, para cada estação será ilustrado na tabela (4). Verificou-se que a estação de Chókwe é que possui maior valor de precipitação máxima diária de 646,8 mm e a estação com menor valor de precipitação máxima diária é a estação de Massagena com 168,49 mm. A distribuição de Gumbel tem sido bastante utilizada para modelagem probabilística de valores extremos (Caldeira *et al.*, 2015). Uma possível explicação é a proximidade dos ajustes da distribuição Gumbel pelos diferentes métodos de estimação dos parâmetros, evidenciados pelos valores das estatísticas de ajuste semelhantes, especialmente o coeficiente de correlação entre a frequência observada e teórica (Abreu *et al.*, 2018).

4.4. Distribuição Log-normal (Galton)

Esta distribuição apresentou uma assimetria positiva para os gráficos de todas as estações da Bacia, dando entender que os dados adequam-se a esta distribuição de Galton.

A Figura 2 mostra o comportamento da distribuição de probabilidade ajustada aos dados pluviométricos, mostrando o comportamento de cada estação. A Tabela 5 apresenta os dados respectivos ao teste estatístico realizado.

Neste teste foram verificadas a seguintes hipóteses:

Ho - A amostra segue uma distribuição Log-normal

Ha - A amostra não segue uma distribuição Log-normal

De acordo com o Teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), como o p-valor calculado é maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$, não rejeita-se a hipótese nula H_0 . Portanto aceita-se a hipótese nula que diz que segue a distribuição de Galton com um p-valor (bilateral). Segundo o teste de Qui-quadrado, como o p-valor calculado é maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$, não rejeita-se a hipótese nula H_0 . Se o p-valor calculado é menor que o nível de significância $\alpha = 0,05$, deve-se rejeitar a hipótese nula H_0 em favor da hipótese alternativa H_a . A fim de se analisar estatisticamente os ajustes identificando a melhor distribuição de probabilidade, o teste KS foi usado. A aderência das distribuições foi comprovada segundo o teste de KS ao nível de 0,05 de significância. Os p-valores que apresentaram valores superiores a 0,05 indicam que as distribuições descrevem satisfatoriamente os dados observados de chuva, o que oferece ao investigador um elevado nível de segurança (Melo and Lima, 2021).

Tabela 5: Resultados do teste de Galton

Estações	KS	Q-Q	P-valor (KS)	P-Valor (Q-Q)	BIC	AIC
Xai-Xai	Ho	Ho	0,807	0,678	631,467	627,604
Chókwè	Ho	Ha	0,362	0,024	608,54	604,677
Macia	Ho	Ho	0,88	0,297	632,445	628,582
Chibuto	Ho	Ho	0,983	0,752	616,948	613,085
Manjacaze	Ho	Ho	0,359	0,434	602,642	598,779
Changane	Ho	Ho	0,668	0,216	613,495	609,631
Maniquenique	Ho	Ho	0,93	0,205	616,654	612,791
Massagena	Ho	Ha	0,82	0,017	584,845	580,982
Massingir	Ho	Ha	0,574	0,003	594,282	590,419
Bilene	Ho	Ho	0,912	0,103	632,623	628,759
Chicualacuala	Ho	Ho	0,818	0,667	574,687	570,823

A distribuição de Galton ajustou-se bem para as estações da bacia. A figura (2) mostra o comportamento da distribuição de probabilidade ajustada aos dados pluviométricos. A estação de Chibuto apresentou melhor ajuste do calculado e do estimado, com o p-valor igual a 0,983 (KS) e 0,752 (Q-Q) sendo maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$. Dentre modelos probabilísticos ou distribuições de probabilidades, a Log-normal tem se ajustado bem a dados pluviométricos brasileiros. Além disso, possui maior facilidade operacional, quando comparada às demais distribuições (Aranda, Campos and de Almeida, 2016).

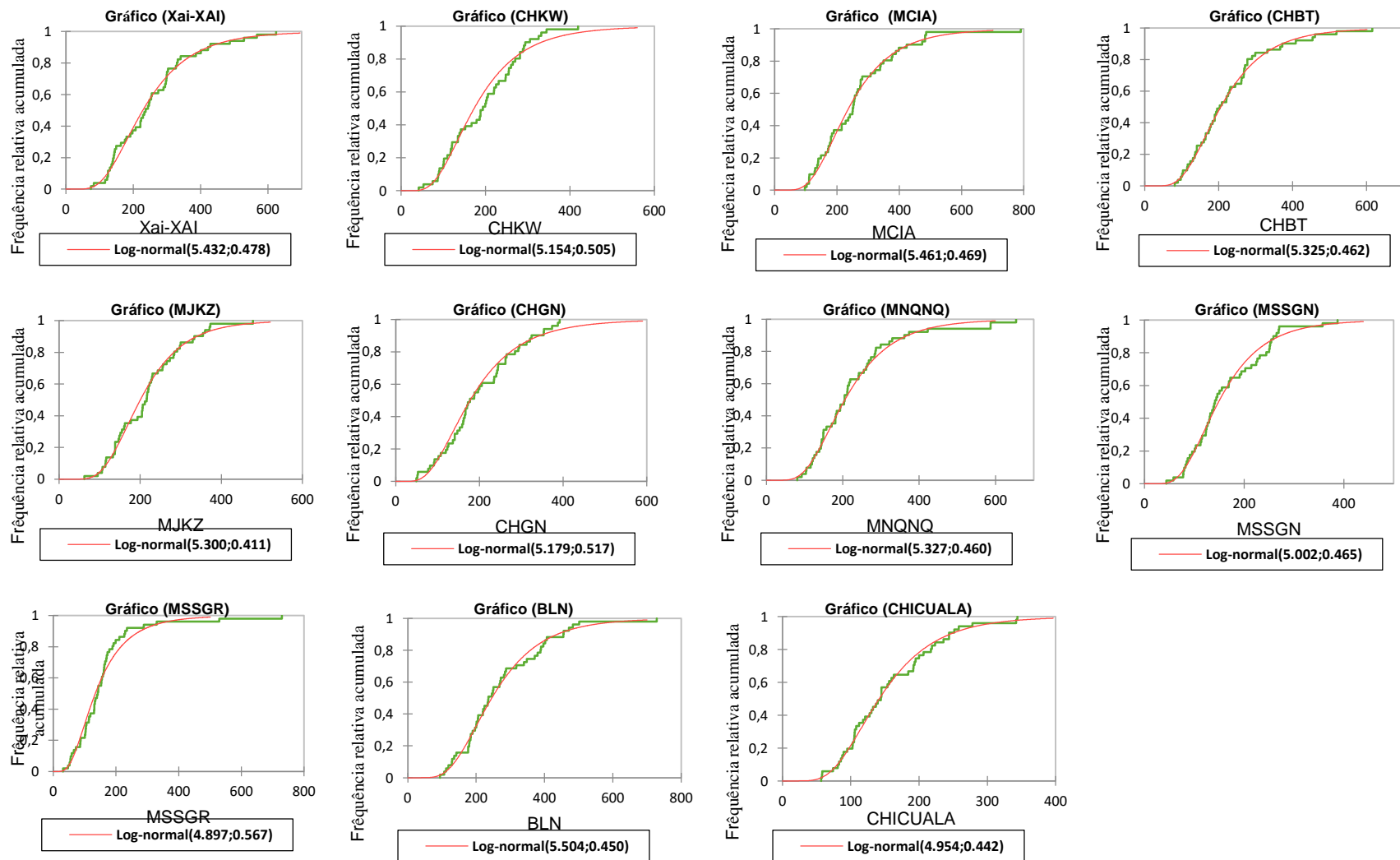


Figura 3: Distribuição de Galton (Normal-Standard) para as estações de Xai-xai (XX), Chókwe (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).

4.5. Distribuição Logística

Esta distribuição apresentou uma assimetria positiva para os gráficos de todas as estações, dando entender que os dados adequam-se a distribuição logística.

A Figura 3 mostra o comportamento da distribuição de probabilidade ajustada aos dados pluviométricos, mostrando o comportamento de cada estação.

Neste teste foram verificadas as seguintes hipóteses:

Ho - A amostra segue uma distribuição Logística

Ha - A amostra não segue uma distribuição Logística

A distribuição logística ajustou-se de bem para as estações. A estação de Manjacaze apresentou melhor ajuste do valor calculado e do estimado, com o p-valor igual a 0,777 (KS) e 0,188 (Q-Q) sendo maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$.

Tabela 6: Resultados da distribuição logística

Estações	KS	Q-Q	P-valor (KS)	P-Valor (Q-Q)	BIC	AIC
Xai-Xai	Ho	Ha	0,729	0,014	641,717	637,853
Chokwe	Ho	Ho	0,64	0,093	609,225	605,361
Macia	Ho	Ha	0,657	<0,001	644,597	640,733
Chibuto	Ho	Ha	0,703	0,017	630,505	626,641
Manjacaze	Ho	Ho	0,777	0,188	606,841	602,978
Changane	Ho	Ho	0,705	0,114	615,146	611,282
Maniquenique	Ho	Ha	0,635	<0,001	633,475	629,611
Massagena	Ho	Ha	0,435	0	594,059	590,195
Massingir	Ho	Ha	0,552	<0,001	612,146	608,282
Bilene	Ho	Ha	0,672	0,002	643,789	639,926
Chicualacuala	Ho	Ho	0,672	0,092	584,379	580,515

A distribuição Logística apresentou um ajuste de quase 100% dos dados, porém, outras distribuições também apresentaram resultados satisfatórios. Isso mostrou que essa série de dados pode ser representada por outras distribuições e, com isso, é válido propor novos trabalhos utilizando essas distribuições de probabilidade.

Segundo Mello e Lima (2021) afirma que o investigador, no uso dessas informações possibilita a tomada de decisões, no que se refere a determinação de zoneamentos agrícolas da região,

previsões probabilísticas de ocorrência de evento climático, bem como estimativas de quantidade de precipitação caída em um determinado período.

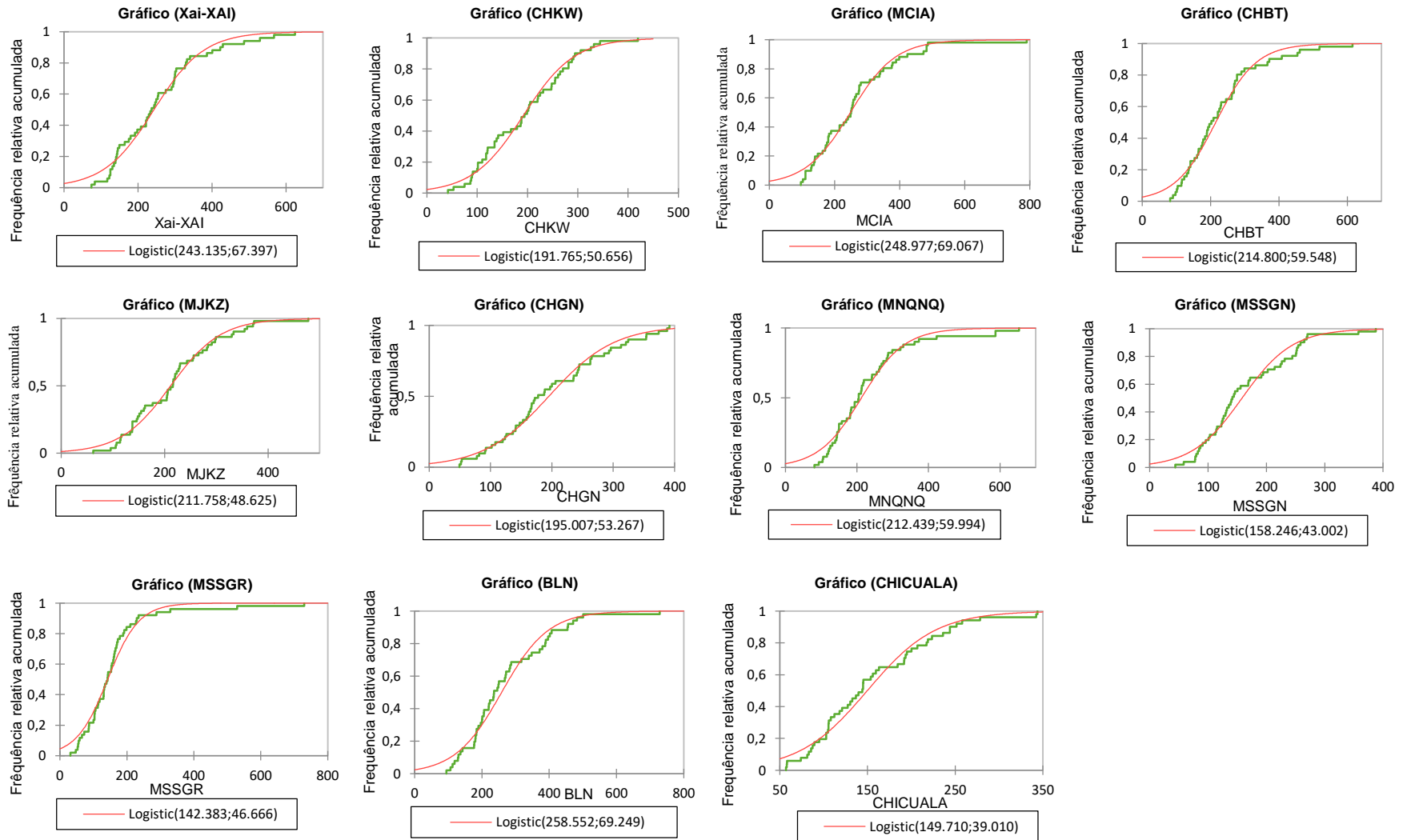


Figura 4: Distribuição Logistic para as estações de Xai-xai (XX), Chókwe (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).

4.6. Distribuição Normal (Gauss)

Esta distribuição apresentou uma assimetria positiva para os gráficos de todas as estações, dando entender que os dados adequam-se a esta distribuição normal.

A Figura 4 mostra o comportamento da distribuição de probabilidade ajustada aos dados pluviométricos, mostrando o comportamento de cada estação.

Tabela 7: Resultados da distribuição normal

Estações	KS	Q-Q	P-valor (KS)	P-Valor (Q-Q)	BIC	AIC
Xai-Xai	Ho	Ha	0,492	0,004	643,332	639,468
Chokwe	Ho	Ho	0,629	0,165	606,185	602,321
Macia	Ho	Ha	0,178	<0,001	649,3	645,436
Chibuto	Ho	Ha	0,259	0,002	634,616	630,675
Manjacaze	Ho	Ho	0,58	0,167	606,269	602,405
Changane	Ho	Ho	0,528	0,179	612,498	608,634
Maniquenique	Ho	Ha	0,115	<0,0001	642,142	638,278
Massagena	Ho	Ha	0,191	0	593,376	589,512
Massingir	Ha	Ha	0,014	<0,0001	635,575	631,712
Bilene	Ho	Ha	0,268	<0,0001	645,555	641,691
Chicualacuala	Ho	Ho	0,313	0,071	583,885	580,021

Neste teste foram verificadas a seguintes hipóteses:

Ho - A amostra segue uma distribuição Normal

Ha - A amostra não segue uma distribuição Normal

A distribuição normal ou de Gauss ajustou-se de bem para as estações. A estação de Chókwe apresentou melhor ajuste do valor calculado e do estimado, com o p-valor igual a 0,629 (KS) e 0,165 (Q-Q) sendo maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$, tendo como média 193,93 e desvio padrão de 83,37. Os p-valores que apresentaram valores superiores a 0,05 indicam que a distribuição descreve satisfatoriamente os dados observados de precipitação. O procedimento empregado consiste na comparação gráfica dos quantis teóricos com os quantis dos dados amostrais, mostrando a linearidade entre os dados ajustados e os empíricos, de forma que quanto

mais próximos os pontos da linha de referência maior é a certeza de que os dados ajustados se comportam em relação à determinada distribuição (Aranda, Campos and de Almeida, 2016).

Um estudo referente as precipitações máximas anuais em Presidente Prudente usando a distribuição Gumbel, mostra que a maioria dos pontos do Q-Q plot estão sensivelmente ao longo de uma reta, havendo apenas uma relação não-linear bastante acentuada entre os quantis teóricos e empíricos das distribuições, o que implica que o ajustamento das distribuições à série de precipitação máxima anual é recomendável. (Aranda, Campos and de Almeida, 2016). Outra forma de avaliar graficamente o ajuste da distribuição é a utilização dos gráficos de probabilidades. Neste caso, o ajuste dos dados pode ser comparado em termos da probabilidade acumulada, comparando a função de distribuição acumulada (FDA) empírica e a função de distribuição acumulada ajustada (Aranda, Campos and de Almeida, 2016).

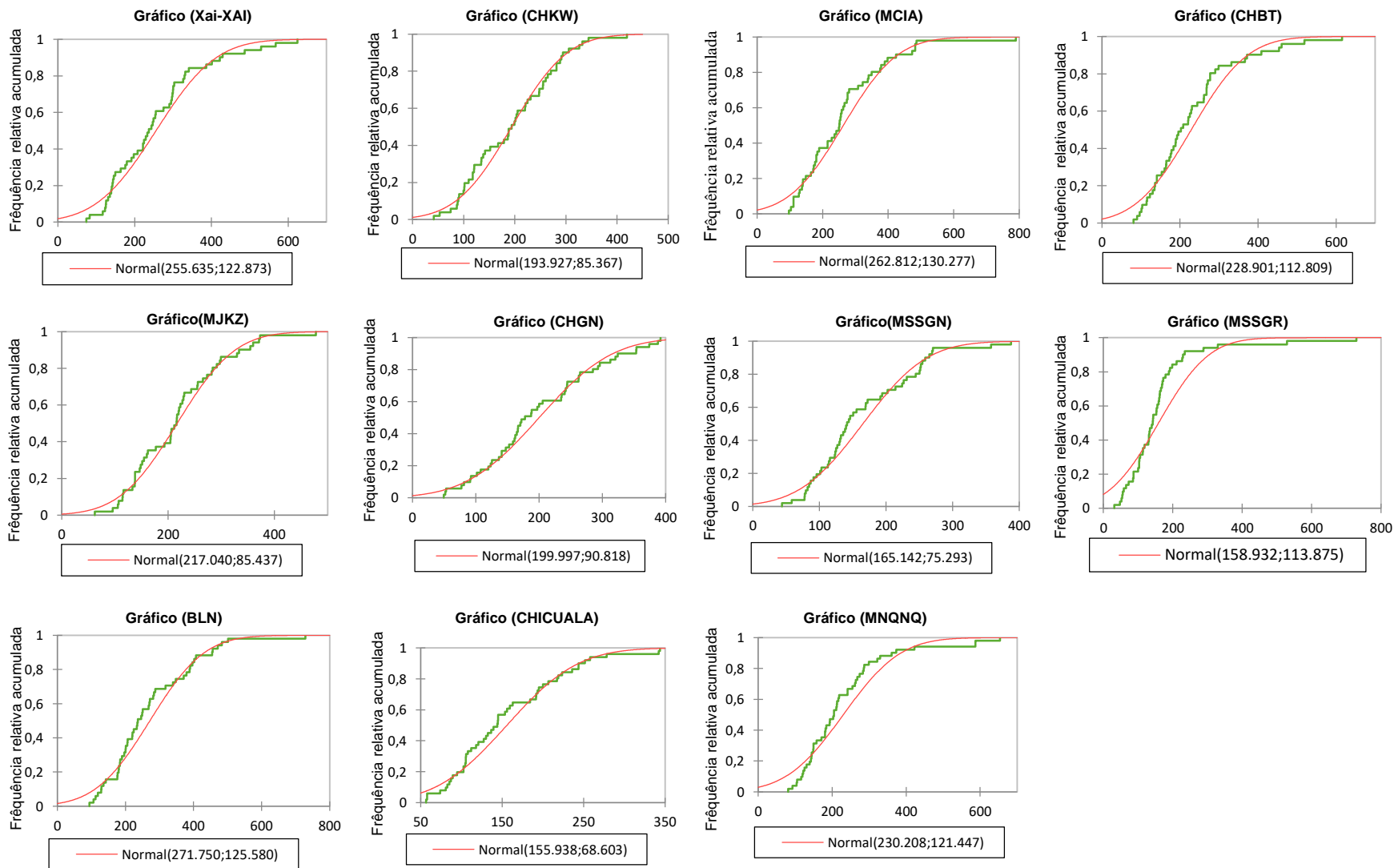


Figura 5: Distribuição Normal (Gauss) para as estações de Xai-xai (XX), Chókwe (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA), Maniquenique (MNQNG).

4.7. Distribuição de Weibull

Esta distribuição apresentou uma assimetria positiva para os gráficos de todas as estações, dando entender que os dados adequam-se a esta distribuição de Weibull 2.

A figura (5) mostra o comportamento da distribuição de probabilidade ajustada aos dados pluviométricos, mostrando o comportamento de cada estação.

Tabela 8: Resultados do teste de Weibull

Estações	KS	Q-Q	P-valor (KS)	P-Valor (Q-Q)	BIC	AIC
Xai-Xai	Ho	Ho	0,748	0,149	636,305	632,442
Chókwè	Ho	Ho	0,836	0,307	602,986	599,122
Macia	Ho	Ha	0,458	0,001	640,73	636,866
Chibuto	Ho	Ho	0,461	0,183	626,06	622,196
Manjacaze	Ho	Ho	0,743	0,309	603,689	599,826
Changane	Ho	Ho	0,904	0,339	608,702	604,838
Maniquenique	Ho	Ha	0,421	0,013	630,426	626,562
Massagena	Ho	Ha	0,428	0,005	587,879	584,016
Massingir	Ha	Ha	0,193	<0,0001	608,903	605,039
Bilene	Ho	Ha	0,54	0,02	639,19	635,326
Chicualacuala	Ho	Ho	0,658	0,312	578,93	575,066

Neste teste foram verificadas a seguintes hipóteses:

Ho - A amostra segue uma distribuição de Weibull

Ha - A amostra não segue uma distribuição Weibull

A distribuição de Weibull ajustou-se bem para as estações. A estação de Changane apresentou melhor ajuste do valor calculado e do estimado, com o p-valor igual a 0,904 (KS) e 0,339 (Q-Q) sendo maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$.

Observa-se uma assimetria a direita, com valor mediano um pouco menor do que a média, com agrupamento dos dados mais na esquerda da distribuição.

O teste não-paramétrico de Kolmogorov-Sminorv (KS) é amplamente utilizado na literatura para verificar o ajuste de distribuições empíricas em hidrologia (Santos *et al.*, 2018).

A Figura 4 apresenta o gráfico descritivo de assimetria proposto por Santos *et al.*, (2018) de ajuste de distribuição, que fornece uma indicação de qual distribuição pode se ajustar aos dados.

Com relação a estatística do teste de KS (Tabela 8), menores valores da estatística fornecem maiores valores de p-valor e, isto é, maior aderência dos dados à distribuição de probabilidade em análise (Santos *et al.*, 2018).

Cabe ressaltar que, para uma análise de gerenciamento de recursos hídricos, caracterização de enchentes e secas, dentre outras aplicações, é necessárias séries longas de precipitação. No entanto, os registros históricos de precipitação com resolução espacial e temporal desejada são quase sempre insuficientes (Santos *et al.*, 2018).

As estatísticas obtidas através dos critérios de Akaike e Bayesiano para os ajustes das distribuições, estão apresentados na Tabela 9. O melhor ajuste dentre os analisados é a estação de Chicualacuala (menores BIC e AIC), que corresponde à distribuição de Galton (Log-normal).

Cada modelo ajustado recebe um valor de AIC e BIC, sendo considerado o de melhor ajuste aquele que possui os menores valores para ambos critérios. Por si só, o valor do AIC e BIC para um determinado conjunto de dados não tem significado, tornando-se útil quando são comparados mais de um modelo (Maciel, 2020).

Tabela 9: Estatística dos Critérios de Akaike e Bayesiano para os ajustes das distribuições de Galton, Logística, Normal e Weibull

Estações	Galton		Logística		Normal		Weibull	
	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC
Xai-Xai	631,467	627,604	641,717	637,853	643,332	639,468	636,305	632,442
Chokwe	608,54	604,677	609,225	605,361	606,185	602,321	602,986	599,122
Macia	632,445	628,582	644,597	640,733	649,3	645,436	640,73	636,866
Chibuto	616,948	613,085	630,505	626,641	634,616	630,675	626,06	622,196
Manjacaze	602,642	598,779	606,841	602,978	606,269	602,405	603,689	599,826
Changane	613,495	609,631	615,146	611,282	612,498	608,634	608,702	604,838
Maniquenique	616,654	612,791	633,475	629,611	642,142	638,278	630,426	626,562
Massagena	584,845	580,982	594,059	590,195	593,376	589,512	587,879	584,016
Massingir	594,282	590,419	612,146	608,282	635,575	631,712	608,903	605,039
Bilene	632,623	628,759	643,789	639,926	645,555	641,691	639,19	635,326
Chicualacuala	574,687	570,823	584,379	580,515	583,885	580,021	578,93	575,066

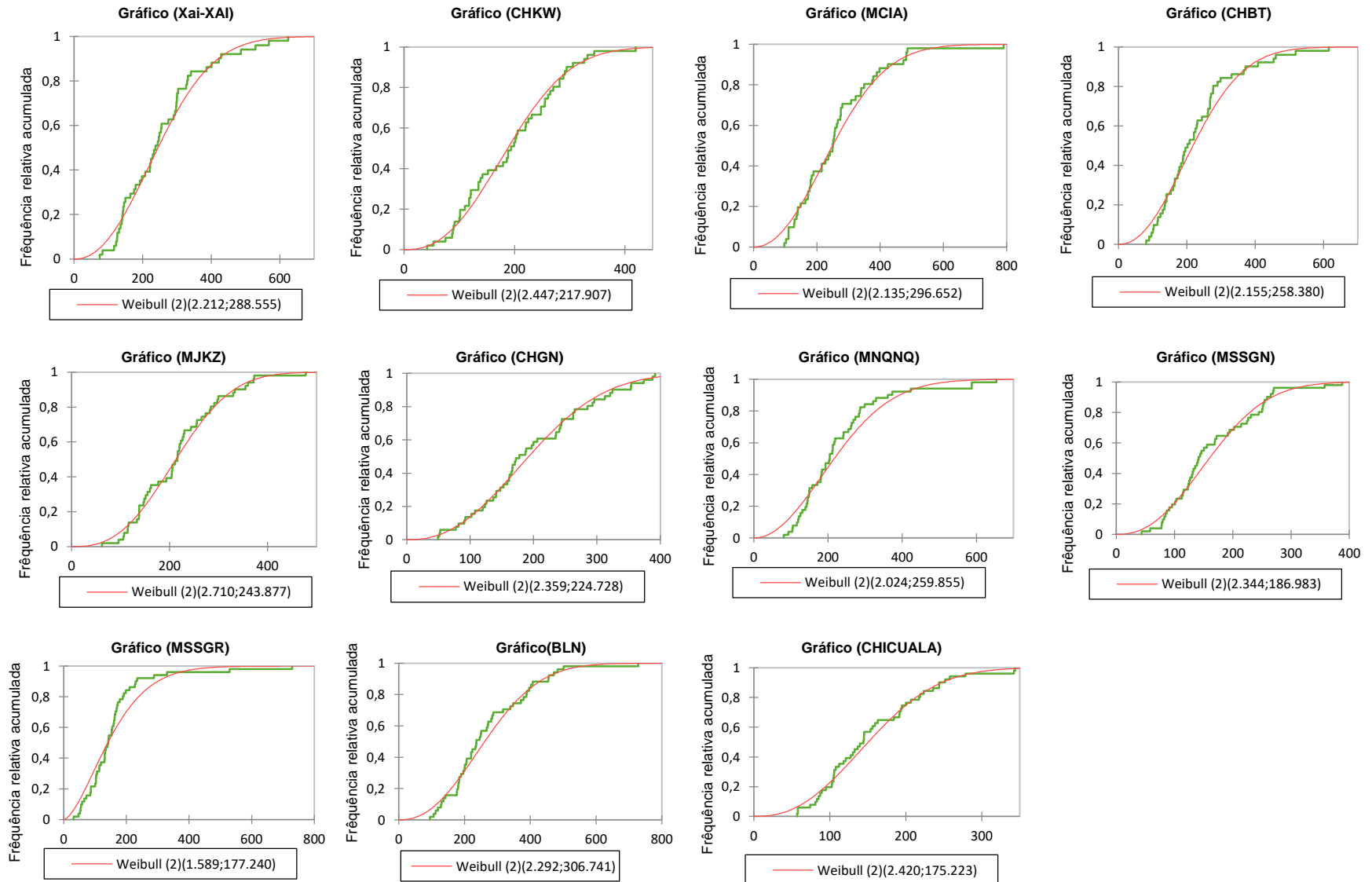


Figura 6: Distribuição de Weibull para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUAL)

4.8. Análise de tendência e mudança na precipitação

Teste de Mann-Kendal

A Tabela 10 resume os resultados obtidos durante a verificação do teste de tendência das variáveis hidrológicas, utilizando o software XLSTAT (2021), independente das significâncias estatísticas que lhes corresponderam a partir dos testes estatísticos.

Tabela 10: Resultados do teste de tendência de MK de valores mínimos

Série\Teste	Tau de Kendall	p -valor	Inclinação de Sen
Xai-xai	-0,135	0,167	-0,079
Chókwè	0,062	0,535	0,004
Macia	-0,225	0,022	-0,109
Chibuto	-0,041	0,678	-0,008
Manjacaze	0,155	0,113	0,185
Changane	-0,163	0,096	-0,041
Maniquenique	0,001	1,000	0,000
Massagena	-0,040	0,689	0,000
Massingir	-0,253	0,010	-0,040
Bilene	0,042	0,672	0,068
Chicual	0,238	0,015	0,410

A tabela abaixo apresenta o resumo do teste de tendência de Mann-Kendall, que verificou-se que os p-valores são maiores que o nível de significância.

Tabela 11: Resultados do teste de MK com valores máximos

Série\Teste	Tau de Kendall	p-valor	Inclinação de Sen
Xai-Xai	0,056	0,570	0,553
Chokwe	0,026	0,795	0,336
Macia	0,071	0,472	0,700
Chibuto	0,060	0,541	0,674
Manjacaze	-0,008	0,940	-0,035
Changane	0,043	0,664	0,393
Maniquenique	0,005	0,968	0,044
Massagena	-0,048	0,626	-0,394
Massingir	-0,123	0,210	-0,896
Bilene	0,097	0,324	0,845
Chicual	0,035	0,727	0,309

Interpretação do teste:

Ho: Não há tendência na série

Ha: Há uma tendência positiva na série

A figura (6) apresenta gráficos com o teste de tendência das estações da Bacia e a inclinação de sen. Olhando para a tabela (10), como o p-valor calculado é maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$, não rejeita-se a hipótese nula H_0 .

A Figura 7 apresenta gráficos com o teste de tendência das estações da Bacia e a inclinação de sen. Olhando para a Tabela 10, como o p-valor calculado é menor que o nível de significância $\alpha = 0,05$, deve-se rejeitar a hipótese nula H_0 em favor da hipótese alternativa H_a . Deste modo, as estações de Macia, Massingir e Chicualacula apresentam uma tendência positiva na serie, devido ao p-valor que é menor que o nível de significância.

Em geral os estudos sobre tendências climáticas negligenciam a correlação serial nas séries temporais; correlações seriais positivas (negativas) aumentam (diminuem) a probabilidade de rejeitar a hipótese nula (Lopes, 2013).

Segundo Britto (2015), afirma que a existem de testes que são mais utilizados para verificação da tendência e do salto na média e mediana. As análises de mudanças abruptas mostraram que nas séries temporais, além das tendências, as mudanças também podem existir simultaneamente, e que alguns testes podem determinar os anos em que os saltos ocorreram.

As tendências dos eventos e episódios extremos basearam-se em regressões lineares, calculadas por meio do Excel, e no teste estatístico de Mann-Kendall, o qual configura-se como um teste não paramétrico que procura terminar se uma tendência é significativamente identificável em uma série temporal, podendo esta ser negativa, zero ou positiva (Goudard and Mendonça, 2017).

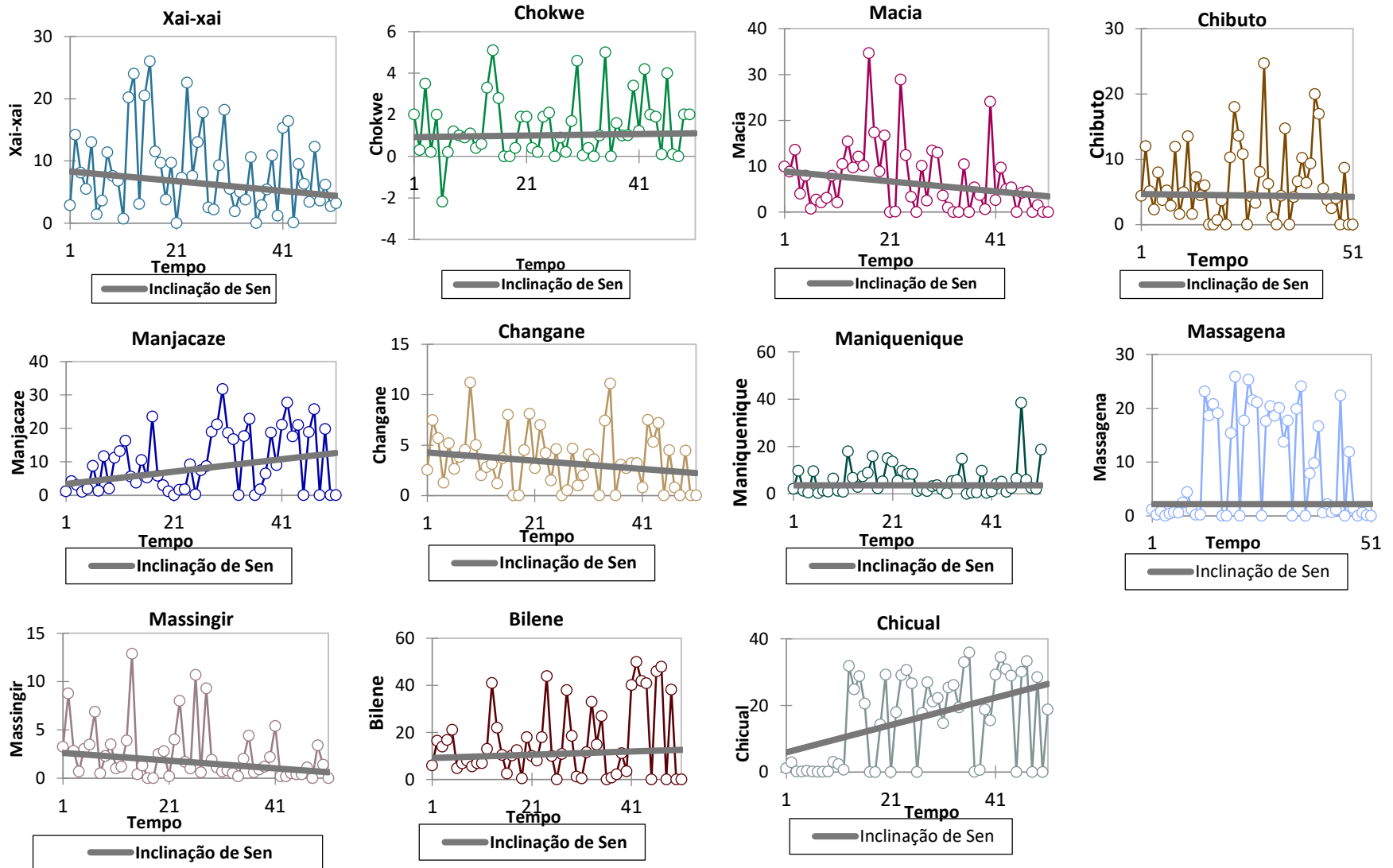


Figura 7: Teste de tendência Mann-Kendall (Teste Bilateral) com valores Mínimos Xai-xai, Chók̀wè, Macia, Chibuto, Manjacaze, Changane, Maniquenique, Massagena, Massingir, Bilene, Chicualacuala

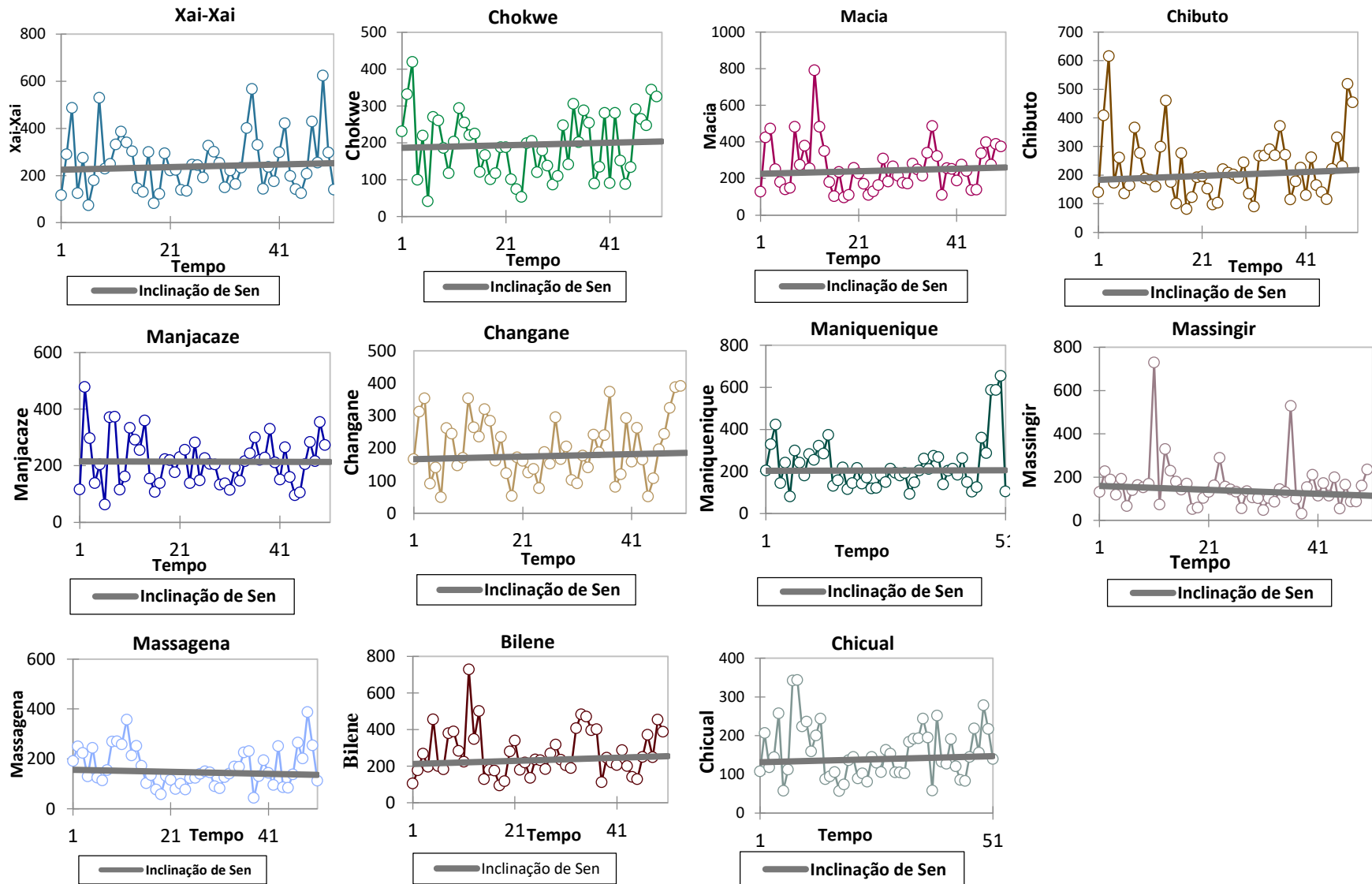


Figura 8: Teste de tendência Mann-Kendall (Teste Bilateral) com valores Máximos Xai-xai, Chókùwè, Macia, Chibuto, Manjacaze, Changane, Maniquenique, Massagena, Massingir, Bilene, Chicualacuala

V. CONCLUSÃO

Os factores determinantes para a ocorrência de eventos extremos na Bacia do Limpopo deve a sua localização e condições climáticas, por essa razão é uma região muito propensa a esses eventos extremos devido ao baixo nível de precipitação e défice de escoamento superficial devido as suas condições topográficas.

O p-valor apresentou por grande parte das distribuições maiores valores, superando o nível de significância de 5%, tendo assim aceiteada a hipótese nula (H_0) que segue a distribuição do teste realizado. O melhor ajuste dentre os analisados é a estação de Chicualacuala (menores BIC e AIC), que corresponde à distribuição de Galton (Log-normal).

O teste de tendência de Mann-Kendall apresentou uma tendência positiva nos valores mínimos e uma inclinação de sen aceitável.

Os testes estatísticos aplicados no estudo foram bastante satisfatórios, pois eles apresentam uma distribuição de ajuste eficiente, pois observou-se que todos os métodos são aplicáveis a esta serie. Os gráficos das distribuições apresentavam uma simetria positiva e optima para todos os métodos estudados e estimados.

O padrão de precipitação sugere ser o principal factor que explica a vulnerabilidade da Bacia de Limpopo para ocorrência de eventos extremos.

VI. RECOMENDAÇÕES

Sugere-se a continuidade do trabalho no que se refere a análise probabilística de ocorrências de eventos extremos estudando a componente de temperatura para analisar o evento extremo seca.

A bacia do rio Limpopo é bastante grande é necessário reforçar a rede pluviográfica.

VII. LISTA BIBLIOGRÁFICA

- AIAS, **Criar Resiliência Climática na Bacia do Limpopo em Moçambique**: RNT; Draft; 2018; http://www.smec.com/application/files/1515/3620/8106/Port_Trans_18-9_4_NTS_-_draft_Final.pdf;
- ALVES, Silva Thiago, **Modelagem Hidráulica Do Canal Do Rio Granjeiro, Crato/Ce, Utilizando o Programa Computacional Hec-Ras**, Universidade Federal Do Ceará, 2013;
- ANDRESSA Fabiane Tasca, **Gestão Da Drenagem Urbana Na Bacia Hidrográfica Do Rio Itajaí-Açu**, Brasil, 2012;
- ARANDA, H.H., Campos, W. de S. and de Almeida, T.T., **Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de vitória-es**, *Revista Brasileira de Climatologia*, 19, 2016 p. 15;
- ARAÚJO, E.M. *et al.*, **Evaluation of six distributions of probability at maximum temperature series in Iguatu - CE, Brazil**, *REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA*, 2010, 41(1). doi:10.5935/1806-6690.20100005;
- BRITTO, H.P.D., **Eventos Extremos Máximos De Precipitação Na Sub- Bacia 39 E O Caso Do Alerta Na Cidade De Recife-Pe**, 2015 p. 212.
- CALDEIRA, T.L. *et al.*, **Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul**, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(3), 2015, pp. 197–203. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p197-203.
- CARVALHO Abreu Marcel, *et al.*, **Crítérios para Escolha de Distribuições de Probabilidades em Estudos de Eventos Extremos de Precipitação**, Brasil, 2018;
- CHRISTOFOLETTI. A., **Modelagem de sistemas ambientais**, São Paulo: Edgard Blücher. 1999;
- COELHO Machado Filipe Miguel, **Modelação Hidráulica de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável**, 2013;
- Departamento Nacional De Infra-Estrutura De Transportes, Manual De Hidrologia Básica Para Estruturas De Drenagem**, 2 ed. Rio de Janeiro, 2005;
- FERNANDES, F. de S., **Testes de Ajuste a Distribuições Estatísticas e Métodos para Estimação dos Parâmetros em Análises de Fiabilidade**, 2013, p. 91;

GOUDARD, G. and Mendonça, F. de A. **Eventos e episódios pluviiais extremos: a configuração de riscos hidrometeorológicos em Curitiba (Paraná - Brasil)**, 2020, *IdeAs* [Preprint], (15). doi:[10.4000/ideas.8082](https://doi.org/10.4000/ideas.8082).

LAURENÇO, R., **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis**, Coimbra: Instituto Politécnico de Coimbra, 2014;

LEITÃO, J. P., MATOS, J. S., PRODANOVIC, D. E MAKSIMOVIC, C. **Modelos de simulação do escoamento superficial em meio urbano** - potencialidades e limitações. 13º Encontro Nacional de Saneamento Básico, 2008, Covilhã.

LOPES, J.R.F., **Aplicação Do Teste De Mann-Kendall Para Análise De Tendência Pluviométrica No Estado Do Ceará**, 2013, 30(3), p. 17.

LOPES, T.R., *et al*, **Regionalização de Vazões Máximas e Mínimas para a Bacia do Rio Ivaí - PR**. Irriga, v. 21, n. 1, 2016;

LUCCA Tácito Almeida, **Avaliação Da Gestão Da Drenagem Urbana Na Bacia Hidrográfica Do Rio Belém Em Curitiba**, Brasil, 2012;

MACIEL, I.P., **Relação intensidade-duração-frequência de precipitações extremas no contexto de mudanças climáticas e na ausência de dados pluviógrafos**, 2020, p. 66. Available at: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28371>;

MAHUMANE, Américo António, **A Ocorrência de Eventos Climáticos Extremos de Precipitação e a sua Relação com Fenómenos El Niño e La Niña na Cidade de Xai-Xai**, Universidade Pedagógica de Maputo, 2019;

Manual de Drenagem Urbana, Toledo – PR, 2017;

Manual De Hidrologia Básica Para Estruturas De Drenagem, 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

MARENGO, J. A., **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, Brasil. 2010;

MARQUES Coutinho Marlon, **Avaliação Do Desempenho Da Modelagem Hidráulica Unidimensional E Bidimensional Na Simulação De Eventos De Inundação Em Colatina**, Universidade Federal de Minas Gerais, 2015;

MARQUES, A. S., de Lima, J. P., Sousa, J., Simões, N. E., & Pina, R., **Hidrologia Urbana - Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos**, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013;

MARQUES, C. M. **Avaliação do desempenho de modelagem hidráulica unidimensional, bidimensional na simulação de eventos de inundação em colatina**. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

MARQUES, J., SOUSA, J., **Hidráulica Urbana. Sistemas de Abastecimento de água e de drenagem de águas residuais**, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2008.

MARTINS, F., J., P., **Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais**, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2000;

MATOS, J., S., **Ambiente e Saneamento - Sistemas de Drenagem Urbana**, ITS press, Lisboa, 2003;

MELLO, Y.R. de, Kohls, W. and Oliveira, T.M.N., **Uso de Diferentes Métodos para o Preenchimento de Falhas em Estações Pluviométricas**, Boletim de Geografia, 2017, 35(1), p. 112. doi:[10.4025/bolgeogr.v35i1.30893](https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i1.30893);

MELO, V. da S. and Lima, L.M., **Caracterização da Chuva da Microrregião de Catolé do Rocha no Estado da Paraíba Baseada em Estatística Aplicada**, Revista Brasileira de Meteorologia, 2021, 36(1), pp. 97–106. doi:[10.1590/0102-77863610006](https://doi.org/10.1590/0102-77863610006);

Ministério de Administração Estatal, **Perfil do Distrito de Chókwè – Província de Gaza**, 2005;

NORAQUA, **Estudo do sistema de drenagem de águas pluviais**, Estação do Campo 24 de Agosto Porto, 2007;

OLIVEIRA SANTOS, V., **Identificação E Análise De Tendências Das Variáveis Hidrológicas E Mudanças No Uso E Ocupação Das Terras No Alto Curso Da Bacia Hidrográfica Do Rio Uberaba, Em Minas Gerais**. Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, 2016. doi:[10.14393/ufu.di.2018.93](https://doi.org/10.14393/ufu.di.2018.93).

OMENA M. Benício Emanuel., et al., **Eventos Extremos De Chuva Na Bacia Hidrográfica Do Mundaú**, Brasil, 2013;

RIHBANE, F, E, C. **Preenchimento de Falhas de Séries Micrometeorológicas Utilizando Técnicas Estatísticas Combinadas**, Cuiabá, 2018. 73p. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso;

RÚBIA Yara Mello, NOVAIS Oliveira T., Maria, **Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville**, Brasil - Curitiba 2016;

SALGUEIRO, J. H., **Eventos extremos máximos de precipitação na Sub-bacia 39 e o caso. Recife**, 2015;

SANTOS Böeck Juliano, **Modelagem Hidrológica Hec-Hms Da Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Lavapés**, Botucatu-Sp, Brasil – São Paulo, 2017;

SANTOS, J., P., M., **Gestão de Águas Pluviais Urbanas: Mudança do Paradigma nos Sistemas Públicos de Drenagem: Um Caso Aplicado à Cidade do Porto**, 2010;

SANTOS, R.S. dos *et al.*, **Caracterização de extremos mensais de precipitação em cacaoal (ro)**, 2018, *Revista Brasileira de Climatologia*, 22. doi:[10.5380/abclima.v22i0.55285](https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55285);

SILVEIRA. A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In.: Hidrologia: ciência e aplicação**, 4. ed. Porto Alegre: UFRGS. 2009. cap. 2. p. 35-51;

SOARES, N.K. de C. and Silva, C.A. **Comparação de metodologias para preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos: média aritmética x ponderação regional com base em regressão linear**, in *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017, pp. 1931–1941. doi:[10.20396/sbgfa.v1i2017.2403](https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2403).

TIRADENTES, S.G.S. and Mamedes, I.M., **Eventos extremos de precipitação: uma análise da região de curitiba – PR**, (s/d), p. 4;

TORRES, Roger Rodrigues, et al., **Eventos Extremos, Mudanças Climáticas e Adaptação no Estado de São Paulo**, São Paulo, 2019;

TUCCI Carlos E. M., **Gestão da Drenagem Urbana**, Brasília, 2012;

YAMANOUCHI, T.K., **Seleção de modelos lineares mistos utilizando critérios de informação**, Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica. Universidade de São Paulo, 2018. doi:[10.11606/D.11.2018.tde-08032018-131129](https://doi.org/10.11606/D.11.2018.tde-08032018-131129).

VIII. ANEXO

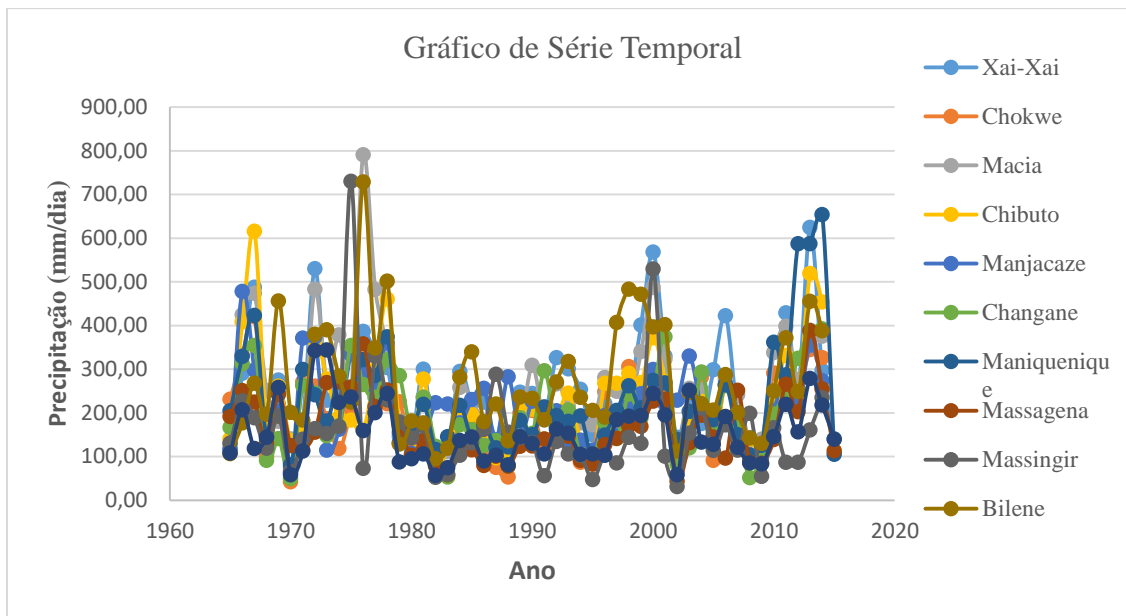


Figura 9: Serie temporal das estações da Bacia do rio Limpopo

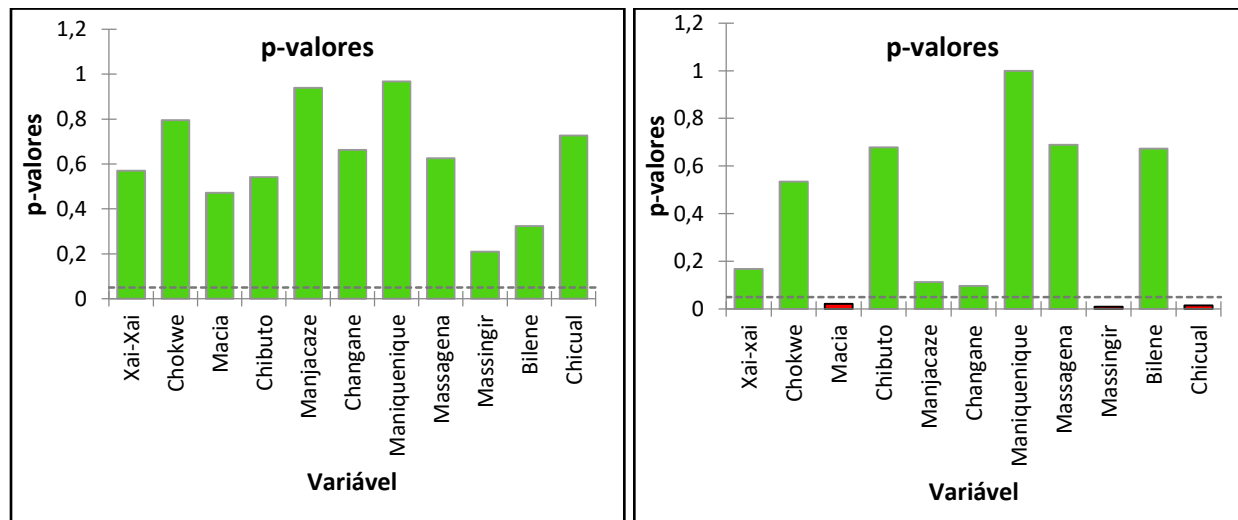


Figura 10: Histograma resumindo o teste de MK com valores máximos e mínimos

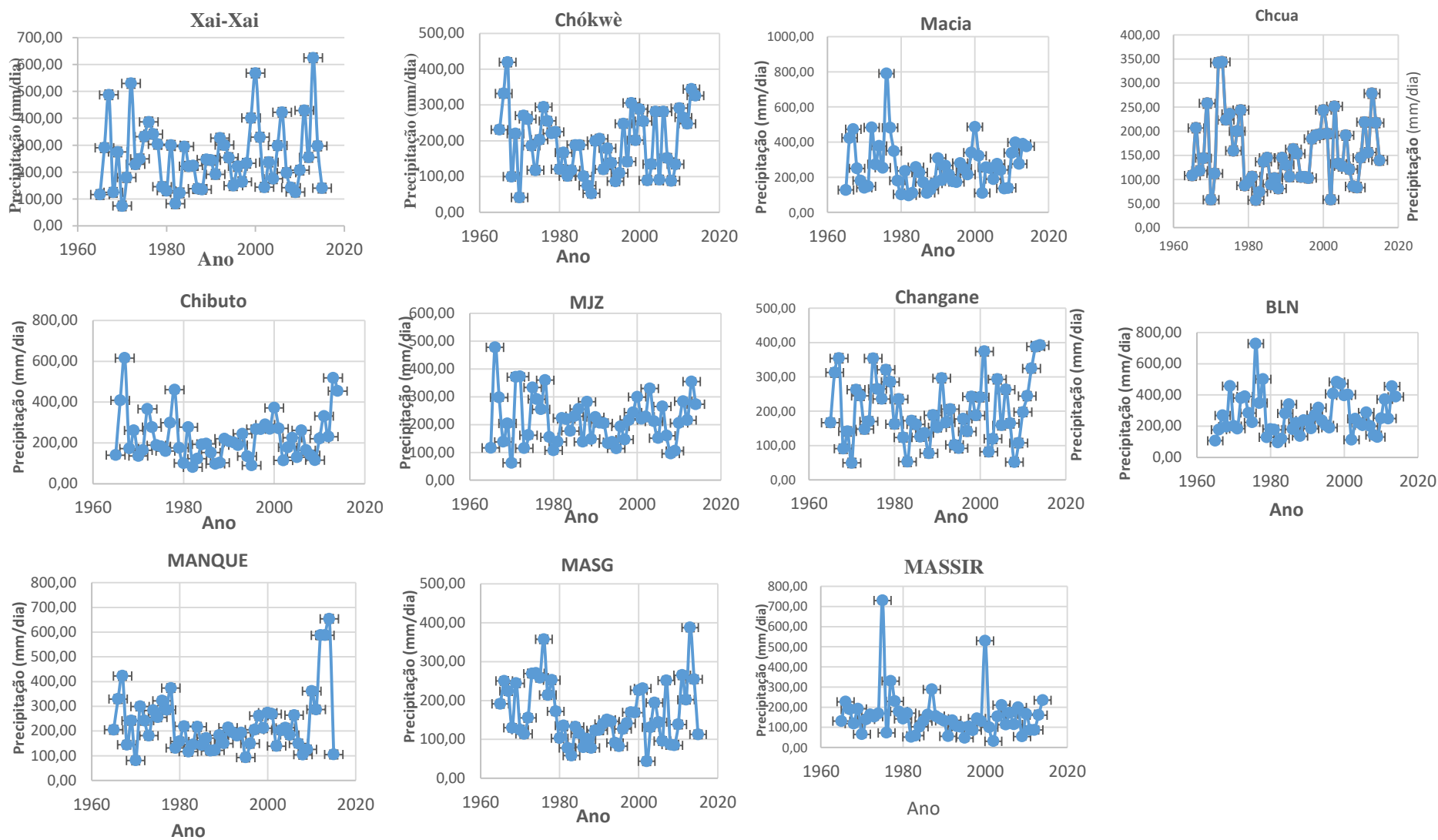


Figura 11: Sereis Temporárias com o erro padrão das estações da bacia do Limpopo: Xai-xai, Chókwe, Macia, Chibuto, Manjacaze, Changane, Maniquenique, Massagena, Massingir, Bilene, Chicualacuala

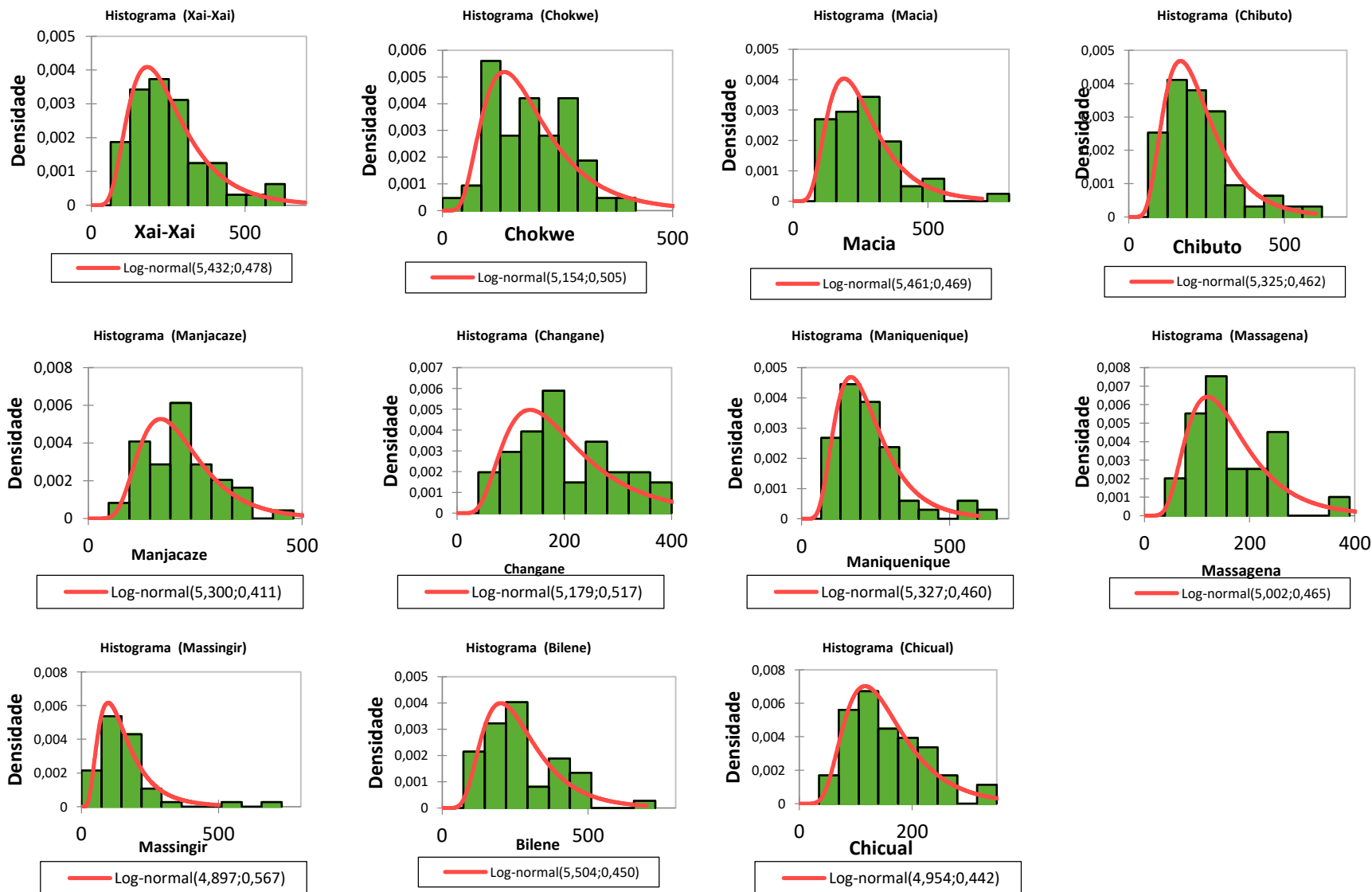


Figura 12: Histograma da distribuição de Galton (log-normal) para as estações de Xai-xai (XX), Chókùwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).

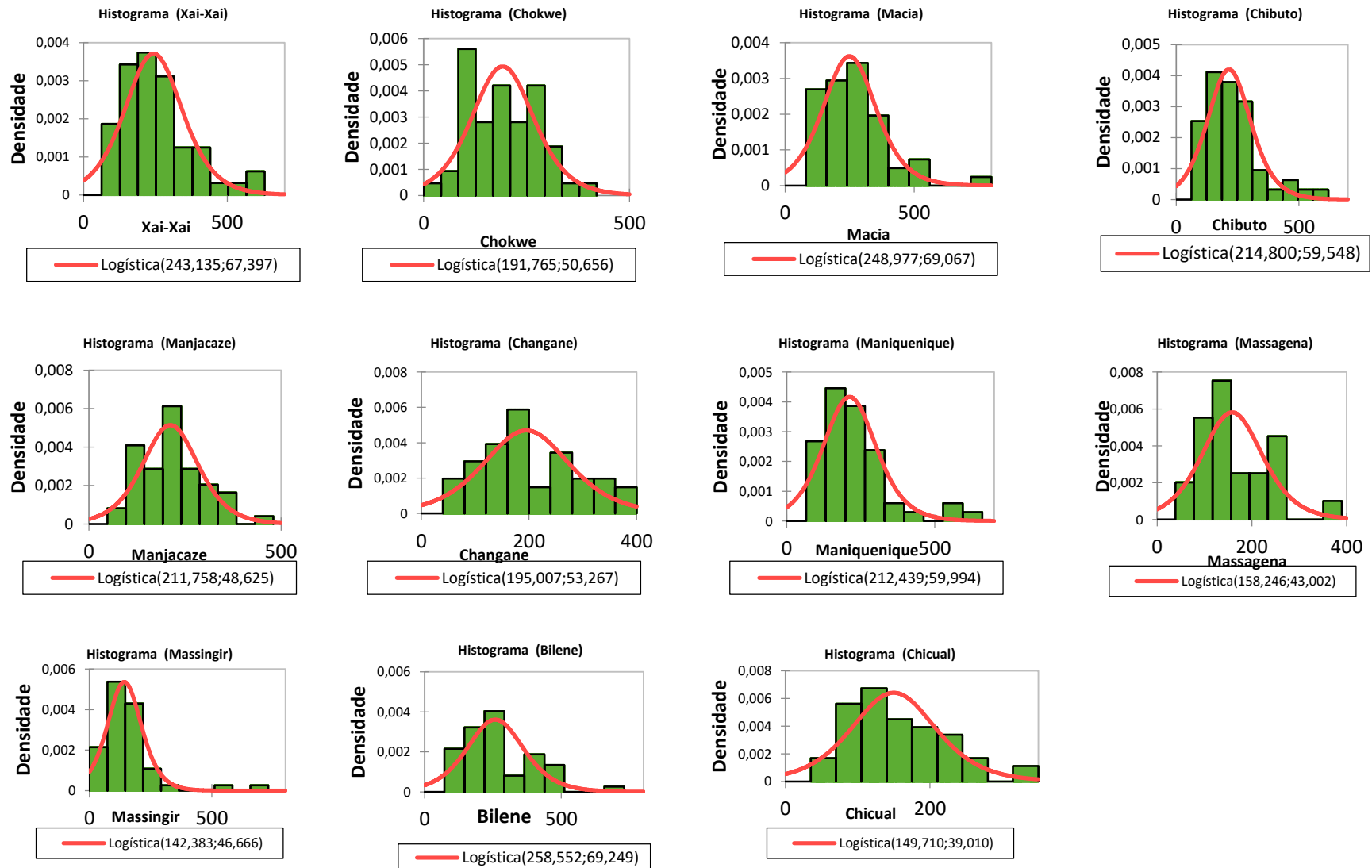


Figura 13: Histograma da distribuição logística para as estações de Xai-xai (XX), Chókwe (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).

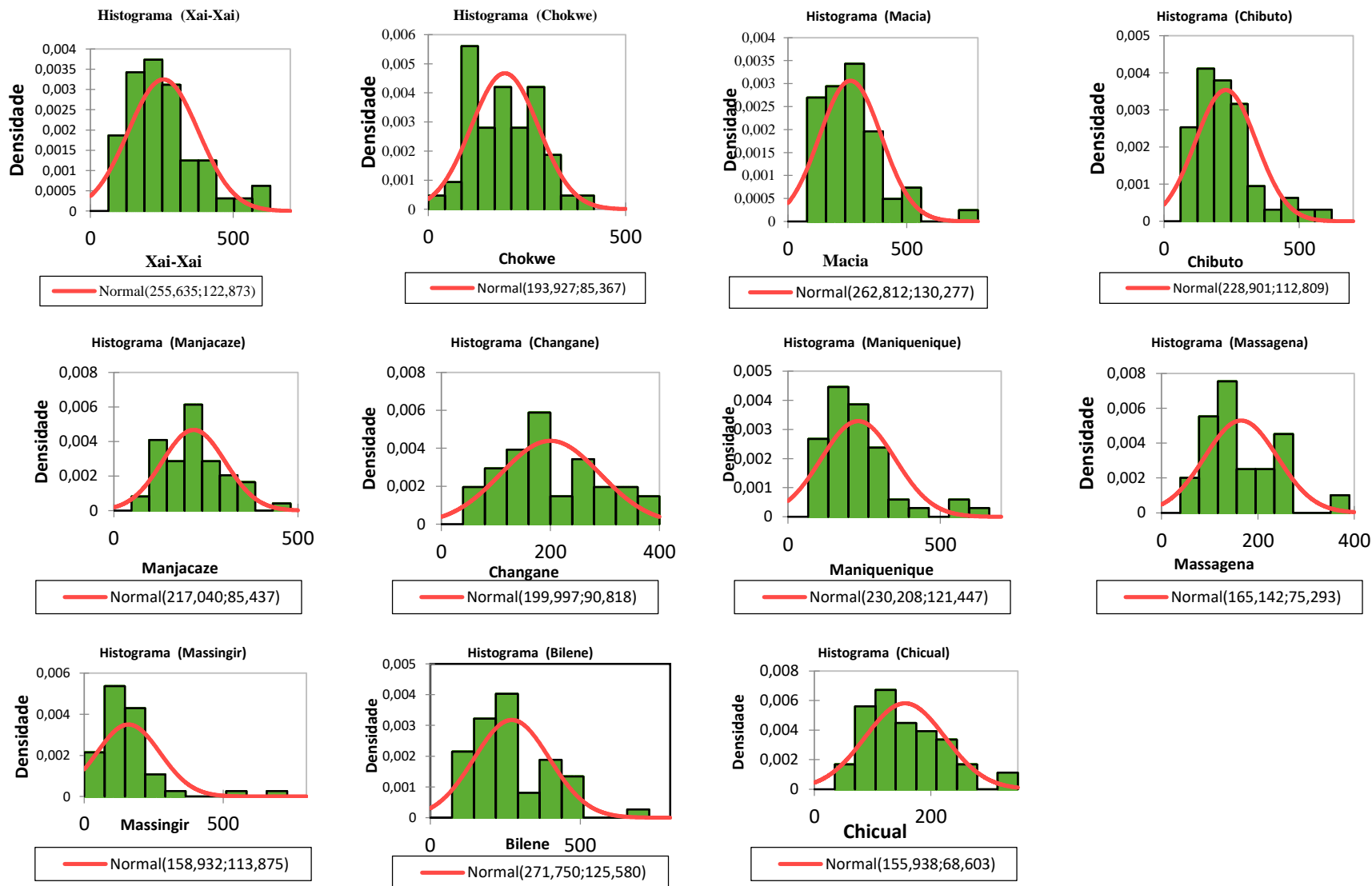


Figura 14: Histograma da distribuição Normal (Guass) para as estações de Xai-xai (XX), Chók>wè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).

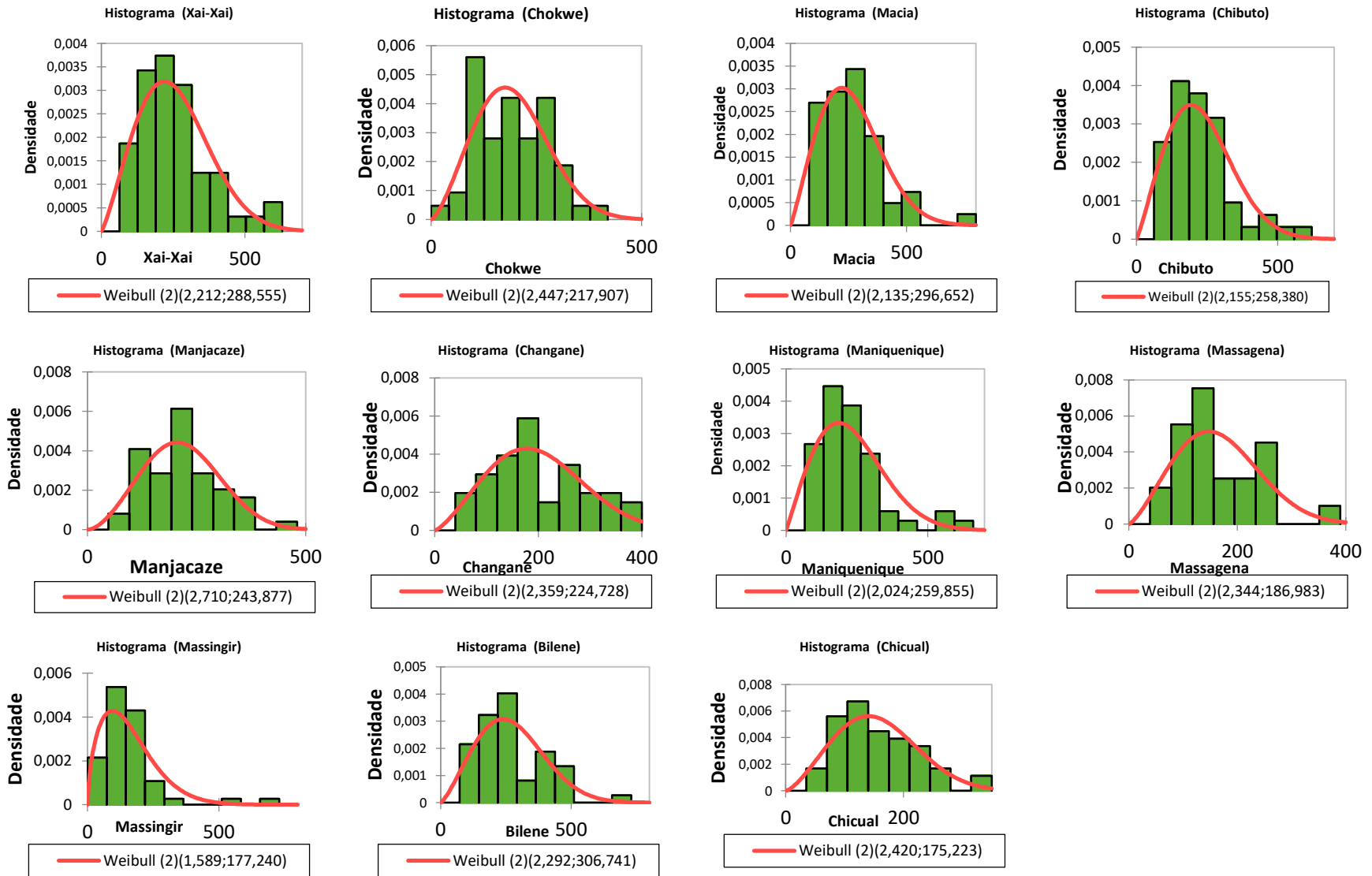


Figura 15: Histograma da distribuição de Weibull para as estações de Xai-xai (XX), Chókwè (CHKW), Macia (MCIA), Chibuto (Chib), Manjacaze (MJKZ), Changane (CHGN), Maniquenique (MNQNQ), Massagena (MSSGN), Massingir (MSSGR), Bilene (BLN), Chicualacuala (CHICUALA).



Figura 16: Imagem satélite das estações da Bacia Hidrográfica do Limpopo