



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DIVISÃO DE AGRICULTURA

CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

Monografia Científica

**Concepção das Curvas Intensidade – Duração – Frequência dos Municípios de Xai-Xai,
Macia e Chókwè na Província de Gaza.**

Monografia apresentada e defendida na Divisão de Agricultura no curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural – ISPG em cumprimento do requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural

Autor: Plácido Fidelino Nhadevele

Tutor: Mário Tauzene Afonso Matangue

Co-tutor: Xavier Simão Tindio

Lionde, Novembro de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Projeto de Licenciatura sobre “Concepção das Curvas Intensidade – Duração – Frequência dos Municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè na Província de Gaza” apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural

Co – supervisor: Mário Tauzene Afonso Matangue

(Professor Doutor Mário Tauzene Afonso Matangue)

Avaliador 1: Philipa Namagugu Ncube

(Eng. Philipa Ncube)

Avaliador 2: Fernando Brazão Tembe

(Eng. Fernando Brazão Tembe)

Lionde, Novembro de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia de investigação sobre a Determinação das Curvas Intensidade – Duração – Frequência dos Municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè na Província de Gaza apresentado ao curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Tutor: Mário Tauzene Afonso Matangue

Co-tutor: Xavier Simão Tindio

Lionde, Novembro de 2021

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vii
DECLARAÇÃO	xi
DEDICATÓRIA	xii
AGRADECIMENTOS	xiii
RESUMO	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Problema e Justificação	17
1.2. Objetivos	18
1.2.1. Geral:.....	18
1.2.2. Específicos	18
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1. Precipitação	19
2.2. Formação da precipitação.....	20
2.3. Chuvas intensas	20
2.4. Série pluviométrica	21
2.5. Análise dos dados da série pluviométrica	21
2.5.1. Relação da intensidade, duração e frequência das precipitações	21
2.5.2. Preenchimento de falhas pluviométricas	22
2.6. Realização dos testes de aderência dos dados a distribuição estatística de eventos extremos	24
2.6.1. Distribuição de Gumbel	24
2.7. Teste de aderência ou qualidade de ajuste	25
2.7.1. Teste de Kolmogorov-Smirnov	26
2.7.2. Teste de Anderson-Darling.....	26

2.7.3.	Teste de Qui-Quadrado.....	26
2.8.	Coeficientes de desagregação da chuva	27
2.9.	Determinação dos parâmetros da equação Intensidade, Duração e Frequência.....	28
3.	METODOLOGIA.....	29
3.1.	Caracterização da área em estudo	29
3.2.	Obtenção dos dados meteorológicos	30
3.3.	Materiais.....	31
3.4.	Análise dos dados pluviométricos.....	32
3.5.	Coeficiente de Correlação de Pearson.....	32
3.6.	Preenchimento de falhas dos dados pluviométricos.....	34
3.6.1.	Erros Médios.....	34
3.7.	Realização dos testes de aderência.....	35
3.8.	Coeficientes de desagregação das chuvas	36
3.8.1.	Aplicação da distribuição de Gumbel	37
3.8.2.	Verificação de ocorrência de outliers dos coeficientes de desagregação fornecidos pela (WMO, 2009).....	40
3.9.	Determinação dos parâmetros da equação Intensidade, Duração e Frequência.....	40
3.9.1.	Obtenção a equação IDF.....	41
3.10.	Construção das curvas intensidade duração e frequência.....	43
3.11.	Cálculo da vazão máxima.....	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1.	Correção dos dados	43
4.1.1.	Correlação de Pearson	43
4.2.	Classificação dos coeficientes de correlação	44
4.3.	Preenchimento de falhas pluviométricas.....	45

4.3.1. Análise do erro médio para o Município de Xai-Xai	45
4.3.2. Análise do erro médio para o Município da Macia	46
4.3.3. Análise do erro médio para o Município de Chókwè	47
4.4. Variação das precipitações	48
4.4.1. Comparação dos erros segundo os métodos usando o teste de Kruskal Wallis	50
4.4. Teste de aderência	51
4.5.1. Município de Xai-Xai	51
4.5.2. Município da Macia	52
4.5.3. Município de Chókwè	53
4.5.4. Estatísticas descritivas dos testes de aderência	54
4.6. Desagregação da chuva diária	55
4.6.1. Distribuição de Gumbel	55
4.6.2. Estimativas da precipitação máxima pelo método de Gumbel	56
4.7. Parâmetros da equação dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè	59
4.8. Aplicações de regressão potencial, linear e exponencial	63
4.9. Determinação das constantes “b”, “k”, “m” e “n”	63
4.10. Importância das equações I-D-F	66
4.11. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do Município de Xai-Xai	66
4.12. Cálculo da vazão máxima de enchentes do município de Chókwè	69
4.13. Aplicação das curvas intensidade duração e frequência	69
5. CONCLUSÃO	71
6. RECOMENDAÇÕES	72
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
8. ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Constantes do modelo de desagregação de chuvas diárias	27
Tabela 2. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas da província de Gaza utilizados no estudo	31
Tabela 3. Valores do coeficiente de correlação e sua classificação	33
Tabela 4. Correlação da precipitação total média mensal das estações referentes aos municípios de Chókwè (Chók), Macia (Mac), Xai-Xai (Xai), Bilene (Bil), Changane (Chang), Chibuto (Chib), Chicualacuala (Chic), Maniquenique (Mani), Manjacaze (Manj) e Massingir (Mass)....	44
Tabela 5. Variáveis, valores do coeficiente de correlação e sua classificação	45
Tabela 6. Descrição simples dos dados dos testes de aderência	55
Tabela 7. Estimativas da precipitação máxima dada pela distribuição estatística de Gumbel, realizada para cada período de retorno.	55
Tabela 8. Estimativa da precipitação máxima realizada pela distribuição de Gumbel, para cada tempo de retorno do município de Xai-Xai, Macia e Chókwè	56
Tabela 9. Estimativas de diferentes tempos (duração, coeficientes de desagregação) segundo o seu período de retorno do município de Xai-Xai e Macia.	57
Tabela 10. Estimativas de diferentes tempos (duração, coeficientes de desagregação) segundo o seu período de retorno do município de Chókwè	57
Tabela 11. Estimativas do tempo de duração em relação a intensidade da chuva segundo o seu período de retorno referente ao município de Xai-Xai e Macia.	58
Tabela 12. Estimativas do tempo de duração em relação a intensidade da chuva segundo o seu período de retorno referente ao município de Chókwè.....	58
Tabela 13. Valores de R^2 para cada regressão.....	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Mapa de área em estudo.....	29
Gráfico 2. Representação dos Erros médios em percentagem (%) pelo método de ponderação regional, regressão linear múltipla, regressão linear simples e média de três (3) estações.	46
Gráfico 3. Representação dos Erros médios em percentagem (%) pelo método de ponderação regional, regressão linear múltipla, regressão linear simples e média de três (3) estações.	47

Gráfico 4. Representação dos Erros médios em percentagem (%) pelo método de ponderação regional, regressão linear múltipla, regressão linear simples e média de três (3) estações.	48
Gráfico 5. Variação das precipitações mensais: valores hidrológicos anuais completos mediante suas respectivas precipitações máximas mensais anuais do município de Chókwè, Xai-Xai, Macia.	50
Gráfico 6. Resultados de comparação das medianas dos erros pelo teste de Wallis	51
Gráfico 7. Histograma das distribuições de probabilidade e curva das distribuições escolhidas dos dados de precipitações anuais segundo distribuição de valores extremos do município de Xai-Xai.....	52
Gráfico 8. Histograma das distribuições de probabilidade e curva das distribuições escolhidas dos dados de precipitações anuais segundo distribuição de valores extremos do município de Macia.....	53
Gráfico 9. Histograma das distribuições de probabilidade e curva das distribuições escolhidas dos dados de precipitações anuais segundo distribuição de valores extremos do município de Chókwè.	54
Gráfico 10. Resumo de aplicações de regressão potencial para elaboração do gráfico da equação intensidade duração e frequência do município de Xai-Xai.	59
Gráfico 11. Resumo de aplicações de regressão potencial para elaboração do gráfico da equação intensidade duração e frequência do município de Macia.	61
Gráfico 12. Resumo de aplicações de regressão potencial para elaboração do gráfico da equação intensidade duração e frequência do município de Chókwè.....	62
Gráfico 13. Apresentação dos coeficientes de regressão mediante o seu período de retorno para posterior substituição na equação do município de Xai-Xai.	64
Gráfico 14. Apresentação dos coeficientes dos coeficientes de regressão mediante o seu período de retorno para posterior substituição na equação do município da Macia.	64
Gráfico 15. Apresentação dos coeficientes dos coeficientes de regressão mediante o seu período de retorno para posterior substituição na equação do município de Chókwè.....	65
Gráfico 16. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do município de Xai-Xai. ..	66
Gráfico 17. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do município da Macia.	67
Gráfico 18. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do município de Chókwè...	68

Gráfico 20. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do município de Chókwe referente a 10 anos de retorno. 70

INDICE DE EQUAÇÕES

(Equação 1)	22
(Equação 2)	23
(Equação 3)	23
(Equação 4)	24
(Equação 5)	24
(Equação 6 e Equação 7).....	25
(Equação 8)	25
(Equação 9)	26
(Equação 10)	26
(Equação 11)	26
(Equação 12)	28
(Equação 13)	32
(Equação 14)	33
(Equação 15)	34
(Equação 16)	35
(Equação 17)	35
(Equação 18)	37
(Equação 19)	38
(Equação 20)	38
(Equação 21)	38
(Equação 22)	39
(Equação 23)	39
(Equação 24)	39
(Equação 25)	39
(Equação 26)	40
(Equação 27)	40

(Equação 28).....	42
(Equação 29).....	42
(Equação 30).....	42
(Equação 31).....	42
(Equação 32).....	42
(Equação 33).....	42
(Equação 34).....	43
(Equação 35).....	65
(Equação 36).....	65
(Equação 37).....	66

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	DESIGNAÇÃO
RLM	– Regressão Linear Múltipla
RLS	– Regressão Linear Simples
TEM	– Media de três Estações
PR	– Ponderação Regional
IDF	– Intensidade Duração e Frequência
AD	– Anderson-Darling
χ^2	– Qui-Quadrado
KS	– Kolmogorov-Smirnov
ISPG	– Instituto Superior Politécnico de Gaza
INAM	– Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique
R^2	– Coeficiente de determinação
EAM	– Erro Absoluto Médio
EP	– Erro Percentual
REQM	– Raiz do Erro Quadrático Médio
Tr	– Período de Retorno



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que esta Monografia do Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações dos meus tutores, 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 acadêmico.

Lionde, Novembro de 2021

(Plácido Fidelino Nhadevele)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

A Deus por tornar tudo possível, aos meus pais Fidelino Henrique Nhadevele e Biatriz Abel Come, pela educação e paciência ao longo do curso, aos meus irmãos Teodomiro, Arlinda. À minha esposa Sheila Ao meu filho Iyandro e à memória dos meus avós por todo amor, carinho, dedicação para comigo no curso, de todos momentos da minha vida. Pela contribuição imprescindivelmente na formação da minha conduta moral, ética e religiosa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pela saúde, pela família, pelo amor, proteção ao longo da minha carreira estudantil.

Em especial agradeço aos meus pais, Fidelino Nhadevele e Biatriz Comé, que me proporcionaram a aprendizagem e oportunidades de crescimento pessoal assim como profissional. E aos meus irmãos, Teodomiro Fidelino e Arlinda Fidelino, a minha esposa, Sheila Bene, ao meu filho Iyandro, por me concederem o privilegio de estarmos juntos em todos momentos desta realização.

Ao meu tutor Dr. Mário Tauzene Afonso Matangue, por me conduzir na dedicação voltada a mim e ao trabalho, pelas orientações, conhecimentos transmitidos, pela paciência e amizade nesta etapa, e por tornar todo este processo repleto de muitos “risos” e ensinamentos para uma vida profissional além da academia.

Ao meu Co-Tutor Engenheiro Xavier Simão Tindio, que se dedicou bastante para a realização deste trabalho, pelos ensinamentos dados, instruções a seguir e pelo valor pós-graduação.

Ao Engenheiro Lateiro de Sousa, que se dedicou na disponibilidade dos dados para o alcance dos objetivos propostos no trabalho.

Ao Engenheiro Fernando Tembe e Engenheira Philipa Ncube pelo suporte durante a formação e nas devidas correções para o alcance deste trabalho.

A toda minha família que direta ou indiretamente contribuiu para a conclusão deste curso.

Agradecer incansavelmente aos meus colegas, amigos: Romário, Wilson, Silva, Naftal, Russo, Carminda, Teresa e Telma, pelos anos de parceria, incentivos e amizade em cada etapa do desenvolvimento e aprendizagem.

Aos demais docentes e colegas do curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural, pelos conhecimentos e convivência nesses (5) anos da minha formação.

RESUMO

O conhecimento das curvas intensidade, duração e frequência é muito importante para o dimensionamento de obras de drenagem, nas estimativas dos escoamentos superficiais em situações onde não existem dados de vazão. O estudo de chuvas intensas é feito por meio de relações entre a intensidade, a duração e a frequência que têm alterado a ocorrência de chuvas e conseqüentemente das inundações. Desta forma o estudo trata da determinação das relações para os municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè na Província de Gaza, devido a falta de estudos relacionados a estas Municípios. O objetivo deste estudo é de conceber a relação da intensidade, duração e frequência das chuvas diante dos dados meteorológicos pluviométricos referentes aos anos de 1965 a 2015, coletados pelo INAM e adquiridos pelo ISPG onde detetaram-se várias falhas nos dados, e o seu ajuste foi feito pelo método de (RLM) Regressão Linear Múltipla. Realizou-se o devido ajustamento aplicando a distribuição estatística de Gumbel objetivando obter os valores de precipitação máxima para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25 e 50anos. Baseou-se na verificação de ajuste que melhor adequa aos dados observados, pelo teste de aderências a nível de significância de 1%, tendo como resultado melhor o teste de Qui-Quadrado para Xai-Xai e Chókwè, Kolmogorov-Smirnov e Anderson Darling para Macia. Os coeficientes de desagregação das chuvas de durações menores que 24 horas, apresentaram resultados satisfatórios na construção da equação e curvas de intensidade, duração e frequência. Determinados os parâmetros das equações dos municípios de Xai-Xai ($K = 6023.9$, $m = 0.2046$, $b = 2$ e $n = 0.789$); Macia ($K = 6233.2$, $m = 0.219$, $b = 2$ e $n = 0.789$); Chókwè ($K = 4478.6$, $m = 0.203$, $b = 2$ e $n = 0.789$), contribuíram de uma forma satisfatória para a elaboração das curvas intensidade, duração e frequência, resultando dados com maiores intensidades para durações menores, mostrando que quanto maior o período de retorno maior será a intensidade. Deste modo esta pesquisa contribuirá na qualidade das obras hidráulicas como a estimação da erosão do solo e na determinação de vazões de projeto das pequenas bacias, permitindo que se use no dimensionamento de estruturas a nível dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè na Província de Gaza.

Palavras-chave: Chuvas Intensas; Relações IDF; Testes de Aderência; Distribuição Estatística de Gumbel.

ABSTRACT

The knowledge of the intensity, duration and frequency curves is very important for the design of drainage works, in the estimation of surface flow in situations where there is no flow data. The study of heavy rains is done through relationships between the intensity, duration and frequency that have changed the occurrence of rains and, consequently, of floods. Thus, the study deals with the determination of relationships for the municipalities of Xai-Xai, Macia and Chókwè in Gaza Province, due to the lack of studies related to these municipalities. The objective of this study is to conceive the relationship of intensity, duration and frequency of rainfall in light of rainfall meteorological data for the years 1965 to 2015, collected by INAM and acquired by ISPG, where several flaws in the data were detected, and their adjustment was done by the Multiple Linear Regression (RLM) method. The due adjustment was made by applying the Gumbel statistical distribution in order to obtain the maximum precipitation values for the return periods of 2, 5, 10, 20, 25 and 50 years. It was based on the verification of the fit that best suits the observed data, using the adhesion test at a significance level of 1%, with the best result being the Chi-Square test for Xai-Xai and Chókwè, Kolmogorov-Smirnov and Anderson Darling for Soft. The disaggregation coefficients of rainfall with durations shorter than 24 hours presented satisfactory results in the construction of the equation and intensity, duration and frequency curves. Determined the parameters of the equations of the municipalities of Xai-Xai ($K = 6023.9$, $m = 0.2046$, $b = 2$ and $n = 0.789$); Soft ($K = 6233.2$, $m = 0.219$, $b = 2$ and $n = 0.789$); Chókwè ($K = 4478.6$, $m = 0.203$, $b = 2$ and $n = 0.789$), satisfactorily contributed to the elaboration of intensity, duration and frequency curves, resulting in data with greater intensities for shorter durations, showing that the longer the period of the greater return will be the intensity. Thus, this research will contribute to the quality of hydraulic works such as the estimation of soil erosion and the determination of project flow rates for small basins, allowing it to be used in the dimensioning of structures at the level of the municipalities of Xai-Xai, Macia and Chókwè in the Province of Gaza.

Keywords: Heavy Rains; IDF relationships; Adhesion Tests; Gumbel Statistical Distribution.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Sarmiento *et al.*, (2017) as chuvas intensas têm uma carga hidrológica em que durante pouco tempo vem provocando impactos económicos, sociais, causando assim enchentes e desastres. Por conta disso o ambiente urbano precisa ser adequado para minimizar os riscos e problemas.

Os impactos advindos de eventos climáticos ou da ação humana no planeta têm alterado a ocorrência de chuvas intensas e conseqüentemente das inundações, ocorridas nos distritos da província de Gaza, com o objetivo de diminuir os prejuízos gerados por tais inundações, as obras hidráulicas devem ser projetadas com base nos valores de vazão máxima (ARAGÃO *et al.*, 2013; ZHAO *et al.*, 2012; FADHEL; RICO-RAMIREZ; HAN, 2017). O estudo da Intensidade Duração e Frequência é muito importante porque ela vai nos permitir a minimizar as enchentes de altas vazões provocadas pela precipitação (Sarmiento *et al.*, 2017).

Em Moçambique, segundo o Decreto nº 30, 2003, a rede pluviográfica é quase inexistente, dificultando o estudo das chuvas intensas de curta duração para diferentes regiões, com grande interesse em aplicações práticas para a drenagem pluvial, que tem apresentado vários obstáculos na implementação de projetos de drenagem pluvial devido a insuficiência de dados hidrológicos, devendo assim recorrer a metodologias que buscam preencher os problemas constatados.

Segundo Rangel & Hartwig (2017), uma das principais soluções para se estimar as precipitações intensas é a utilização da curva intensidade-duração-frequência (IDF), que resultam das análises matemáticas e estatísticas. Entre os métodos de desagregação de chuvas anuais e o método da curva IDF por meio do teste da hipótese nula e da hipótese alternativa, para o cálculo das chuvas máximas para os principais distritos de província.

O presente estudo tem como objetivo de conceber da relação entre a intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè da província de Gaza, diante dos dados meteorológicos que servem de base de estudos para a concepção dos sistemas de recursos hídricos, que por sua vez exigem uma definição extensa do modo em que os acontecimentos hidrológicos e meteorológicos sejam condicionados.

1.1. Problema e Justificação

Conforme Sarmiento *et al*, (2017) a insuficiência de dados de chuvas críticas de projetos e a falta da rede pluviográfica no país, têm levado os projetistas a buscarem alternativas que possam ser empregadas com segurança no dimensionamento de obras hidráulicas. Entretanto, no meio científico, tem-se buscado um modelo de desagregação de chuva diária de regiões similares, que leve à obtenção da relação IDF cujo o desvio entre o valor ajustado e o observado seja admissível de ser utilizado em projetos de obras hidráulicas, ou seja, na estimativa da chuva de projeto, que é um dos dados de entrada em modelos que fazem a transformação chuva-vazão.

Portanto, a carência de equações de chuvas intensas para a definição da vazão de projeto nos distritos da província de Gaza, levam os projetistas a trabalharem com equações de regiões vizinhas como a da Província de Maputo. Sendo que tais equações não correspondem à realidade da região.

Segundo o Decreto, nº 30/2003 de 1 de Julho, no anexo 11, em Moçambique para o dimensionamento de obras hidráulicas tais como, vertedores, galerias de águas pluviais, sistemas de drenagem agrícola, urbana e rodoviária, ou qualquer outra obra de drenagem, tem se recorrido as relações IDF da província de Maputo. Entretanto, a intensidade de precipitação varia de acordo com as características climáticas de cada região. Deste modo, é desconhecida a base de dados usados para a obtenção das curvas aplicados nas restantes regiões do País.

Deste modo a área de estudo em relação as restantes províncias têm se verificado como o maior problema no efeito da erosão e depósitos de sedimentos que são geradas do mau dimensionamento, condicionado pela falta de dados de chuvas críticas. Sabendo que todas obras hidráulicas como barragens, drenagens, diques, canais devem ser dimensionadas com conhecimento de vazão de área da obra para evitar inundações seja em áreas urbanas ou rural.

Assim sendo, o conhecimento das precipitações intensas de curta duração é de grande interesse nos projetos de obras hidráulicas, tais como: dimensionamento de galerias de águas pluviais, de telhados e calhas, condutos de drenagem, onde o coeficiente de escoamento superficial é bastante elevado. Para tal é necessária a determinação da curva Intensidade, Duração e Frequência (IDF).

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral:

- Conceber as curvas Intensidade Duração e Frequência dos Municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè

1.2.2. Específicos:

1. Reorganizar os dados da série pluviométrica dos anos 1965 a 2015;
2. Determinar o ajuste do teste de aderência da distribuição estatística dos dados pluviométricos (Gumbel);
3. Identificar os coeficientes de desagregação da precipitação;
4. Determinar os parâmetros da equação e de concordância.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Conforme Moraes & Jordão (2002), a água é um recurso natural fundamental para a vida, onde o crescimento populacional, às incertezas acerca dos fatores climáticos e a crescente poluição hídrica são causas de grande preocupação humana.

Segundo Santos *et al* (2014) de uma maneira geral, os impactos negativos que as vazões de enchentes causam à sociedade, tais como perdas econômicas, danos ao desenvolvimento e perdas de vidas humanas, levam a sociedade a repensar sobre os modelos existentes para planejamento e controle dessas vazões.

As estruturas hidráulicas destinadas a condução e contenção de excesso de água das chuvas como as barragens, bacias de retenção são projectadas mediante estimativas das precipitações futuras com objectivo de satisfazer questões relacionadas com a segurança que possam promover um projecto economicamente racional.

Segundo Tucci (2000) os dados de chuva de grande intensidade são fundamentais para a determinação do escoamento superficial onde a sua falta ou inexistência dificulta o cálculo seguro das vazões de enchentes ou vazões máximas.

2.1. Precipitação

Segundo Rodrigues, (2008) a precipitação é o nome dado a toda água na forma líquida ou sólida que cai da atmosfera em direção ao solo e que pode ser caracterizada por sua intensidade, duração e frequência.

Conforme Gusson & Monteiro (2017) a precipitação é originada de nuvens formadas pelo resfriamento de massas de ar ocasionado pela expansão ao se elevar na atmosfera, podendo assumir diversas formas, tais como chuva, neve, garoa, granizo e orvalho.

A ocorrência de precipitações é um processo que não permite uma previsão determinística com grande antecedência, passando a ser necessário para a grande maioria dos problemas hidrológicos, tratamentos dos dados de precipitação utilizando métodos estatísticos (Carvalho, 2007).

Segundo Calgaro (2006) os conhecimentos relacionados à distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial têm grande importância nas tomadas de decisões de ordem estratégica em atividades como a construção civil, transportes, dentre outras.

2.2. Formação da precipitação

Conforme Monteiro & Gusson (2017) a formação das precipitações está ligada à ascensão de massas de ar húmido. Essa ascensão provoca um resfriamento dinâmico, ou adiabático, que pode fazer o vapor atingir o seu ponto de saturação, também chamado nível de condensação – o ar expande nas zonas de menor pressão. A partir do nível de condensação, em condições favoráveis e com a existência de núcleos higroscópios, o vapor de água condensa, formando minúsculas gotas em torno desses núcleos. Enquanto as gotas não possuem peso suficiente para vencer a resistência do ar, elas ficarão mantidas em suspensão, na forma de nuvens e nevoeiros. Somente quando atingem tamanho suficiente para vencer a resistência do ar, elas se deslocam em direção ao solo.

2.3. Chuvas intensas

Conforme Dorneles, (2017) as chuvas intensas obedecem o conjunto de eventos da mesma perturbação meteorológica que tem uma duração de poucos minutos ou horas, caracterizada pelo máximo total precipitado num intervalo de tempo considerado.

Segundo Almeida, (2015) as chuvas intensas são determinadas como chuvas de alta intensidade, cuja elas ultrapassam um determinado valor mínimo. Por sua vez são caracterizadas pelas relações de intensidade, duração e frequência de uma dada ocorrência. A sua relação entre essas variáveis, com o tempo de resposta da bacia hidrográfica vai determinar os valores de pico de vazão do hidrograma gerado na bacia.

Segundo Dorneles (2017) a determinação da relação intensidade-duração-frequência através de registros pluviográficos apresenta grandes desafios, em função da escassez e dos obstáculos para a obtenção de registros pluviográficos, da baixa densidade da rede de pluviógrafos e do usualmente pequeno período de observações disponível.

Segundo Carvalho & Silva, (2006) A precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com determinada duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica. A precipitação tem efeito direto sobre a erosão do solo, em inundações em áreas urbanas e rurais, obras hidráulicas, entre outras. O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para conhecer-se a vazão de enchente de uma bacia.

2.4.Série pluviométrica

Segundo Júnior, (2013) o objetivo de um posto pluviométrico é produzir uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos, ou permitir o estudo da variação das intensidades ao longo das tormentas. Em qualquer caso, podem ocorrer períodos sem informações, ou com falhas nas observações, decorrentes de problemas com os aparelhos de registro ou ausência do operador do posto. Por isso, os dados coletados devem ser submetidos a uma análise preliminar, antes de serem utilizados.

Conforme Júnior, (2013) para o processo de tratamento dos dados, a estimativa dos valores de precipitação para cada tempo de recorrência, é realizada a partir da distribuição estatística de Gumbel. Por tanto será necessário determinar os valores de média e desvio padrão referentes as máximas precipitações anuais. Preliminarmente ao processamento de dados pluviométricos, é necessário proceder-se à detecção de erros grosseiros nas observações, originados normalmente de:

- Registros em dias que não existem (30 de Fevereiro, por exemplo);
- Registros de quantidades absurdas;
- Erros de transcrição (preenchimento errado da caderneta de campo); etc.

Somente após a identificação e correção destes erros é que os dados estarão prontos para terem um tratamento estatístico.

2.5.Análise dos dados da série pluviométrica

2.5.1. Relação da intensidade, duração e frequência das precipitações

Segundo Pereira, *et al* (2017) A IDF Intensidade-duração-frequência de um determinado local é obtida a partir de registros históricos de precipitação de pluviógrafos e pluviômetros. Esta precipitação é o máximo pontual que possui abrangência espacial reduzida. A curva IDF de determinado local fornece a intensidade da chuva para uma dada duração e período de retorno.

- A intensidade (i) é a precipitação por unidade de tempo, obtida como a relação ($i = \text{Precipitação}/\text{tempo}$). Expressa normalmente em mm/h ou mm/min.
- A duração (t) é o período de tempo durante o qual a chuva cai. Expressa normalmente por minuto, hora, dia, mês ou ano.

Segundo Freitas, (2016) o estudo da precipitação e suas características na escala temporal subhorária permitem um entendimento do processo de geração de vazão e dados com uma excelente precisão para determinação de curva IDF.

Segundo Freitas, (2016) as grandezas intensidade e duração são inversamente proporcionais e a relação entre elas podem ser obtidas da análise de registros pluviográficos. Dados de chuvas intensas são obtidos através destes mesmos registros, ou seja, diagramas de precipitação acumulada ao longo do tempo.

2.5.2. Preenchimento de falhas pluviométricas

O preenchimento de falhas é realizado objetivando a homogeneização da série histórica, por existência de períodos sem informações.

Deste modo para o preenchimento de falhas identificadas nos dados irá se realizar quatro (4) métodos mais comuns que são: Método de Regressão Linear Simples (MRLS), Método de Regressão Linear Múltipla (MRLM), Método de Media de Três Estações (MTE) e o Método de Ponderação Regional (MPR).

2.5.2.1. Método Regressão Linear Simples (MRLS)

Para o preenchimento de falhas, por meio desta técnica, é necessário o *input* de dados de apenas uma estação meteorológica vizinha com maior coeficiente de correlação.

Segundo Fernandez (2007), de todas as estações de apoio, apenas a estação que tiver o maior valor de correlação é a que entra na equação de regressão linear o método é dado pela expressão:

$$Y_m = aX + b + e \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

Y_m – É a variável dependente (dado a ser estimado);

X – É a variável independente (estação de apoio/vizinha);

a e b – São os coeficientes do modelo; e

“ e ” – Representa os erros ou resíduos da regressão.

Para estimar o dado faltante de acordo com a técnica de regressão linear, o X da equação deverá ser substituído pelo dado real, do período em questão, compilado na estação de apoio, o resultado da equação será o valor simulado para o preenchimento da falha.

2.5.2.2. Regressão Linear Múltipla (MRLM)

Segundo Fernandez (2007), esta técnica é geralmente usada para analisar a relação entre uma única variável dependente e diversas variáveis independentes. Pode-se fazer previsões com um modelo matemático obtido a partir desta análise. O objetivo é determinar um modelo matemático como:

$$Y_m = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{n-1}x_m + b_n \quad (\text{Equação 2})$$

2)

Onde:

Y_m – É variável dependente (dado a ser estimado);

n – É o número de postos considerados,

$b_0; b_1 b_2 \dots b_n$ – São os coeficientes a serem estimado se $x_1, x_2, \dots x_m$ dados registrados nos postos vizinhos no mesmo período.

Por tanto para a simulação de dados, por meio desta técnica, é necessário o *input* de dados das estações meteorológicas vizinhas com maior coeficiente de correlação entre elas.

2.5.2.3. Método da Média de Três Estações (MTE)

A média aritmética é utilizada, na aplicação dos métodos de média simples e de média de três estações, (Fernandez 2007) dada pela expressão:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

x_i – Representa os elementos do conjunto de dados e

n – O número de elementos da amostra.

2.5.2.4. Método de Ponderação Regional (MPR)

Conforme esclarecido por Alexandre (2009) o método de ponderação regional consiste na técnica ao qual “as falhas de um posto são preenchidas através de uma ponderação com base nos dados de pelo menos três postos vizinhos, que devem ser de regiões climatológicas semelhantes à do posto em estudo e o mais próximo possível do mesmo”. As estações meteorológicas vizinhas devem ser escolhidas de acordo com o maior coeficiente.

Para esta técnica o autor ainda orienta que para o preenchimento de falhas é necessário que os postos utilizados na equação tenham, no mínimo, dez anos de dados, dada pela expressão abaixo.

$$Y_{\text{estimado}} = \frac{1}{3} \left[\frac{X_1}{Xm_1} + \frac{X_2}{Xm_2} + \frac{X_3}{Xm_3} \right] * y_m \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

y_{est} – É o dado mensal a ser estimado;

y_m – É média do período no posto com falha em questão;

X_1, X_2 e X_3 – São dados correspondentes ao mês que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas;

Xm_1, Xm_2 e Xm_3 – São médias de dados no período nas três estações circunvizinhas.

2.6. Realização dos testes de aderência dos dados a distribuição estatística de eventos extremos

2.6.1. Distribuição de Gumbel

Segundo Carvalho & Silva, (2006) a distribuição de Gumbel conhecida como distribuição de eventos extremos ou de Fisher-Tippet é aplicada a eventos extremos em séries anuais, que devem conter os valores máximos observados em cada ano, ordenados em ordem decrescente no caso de vazões máximas.

Para obter os valores mínimos prováveis de um fenómeno a série deverá conter valores mínimos de cada ano ordenados de uma forma crescente, no caso de vazões mínimas.

A distribuição assume que os valores de X são limitados apenas no sentido positivo, consoante a seguinte formula mãe:

$$\gamma = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

γ – É a variável reduzida e o seu valor é deduzido tomando duas vezes o logaritmo neperiano na função de probabilidade;

T – Período de retorno

Aplicando esta distribuição, as frequências teóricas podem ser calculadas a partir da média e o desvio padrão da série de valores máximos da seguinte fórmula:

$$X = \bar{X} + S_x K \text{ e } K = \frac{\gamma - \bar{\gamma}_n}{S_n} \quad (\text{Equação 6 e Equação 7})$$

Onde:

X - Valor extremo com período de retorno T;

\bar{X} - Média dos valores extremos;

S_x - Desvio padrão dos valores extremos;

n - Número de valores extremos da série;

γ - Variável reduzida;

$\bar{\gamma}_n$ - Média da variável reduzida com n valores extremos; e

S_n - Desvio padrão da variável γ .

Segundo Carvalho & Silva, (2006) após a agregação dos dados em seus intervalos de tempo fixados como já especificado anteriormente, procura-se ajustar estes dados a uma distribuição de probabilidade a fim de prever eventos que venham ocorrer em um grande período de recorrência. A distribuição de Gumbel se adequa bem a séries extremas de dados de variáveis hidrológicas, como a máxima precipitação diária. Para verificar a adequação da função de probabilidade, primeiro ordena-se os dados em ordem crescente de precipitação máxima diária no caso de dados pluviométricos. Calcula-se a sua frequência dentro da série de dados a partir da equação 8:

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (\text{Equação 8})$$

8)

Onde:

m – É ordem do dado na série e

n – É o número total de dados da série.

2.7. Teste de aderência ou qualidade de ajuste

Segundo Pavione, (2010) os testes de aderência testam hipóteses referentes à forma da distribuição de eventos, por sua vez elas admitem-se ser descritas por um modelo de distribuição de probabilidades sendo verificada se é boa ou má a amostra do modelo de aderência. Conforme Rodrigues, (2015) os testes de aderência ou de qualidade de ajuste consistem em testar a adequabilidade de um modelo probabilístico a um conjunto de dados. Eles empregam métodos gráficos e/ou teóricos (estatísticos).

Segundo Pereira, *et al* (2017) os principais testes empregados na hidrologia estatística, são o do Qui-Quadrado, o de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling.

O estudo incluiu quatro (3) testes com o objetivo de verificar se a distribuição de Gumbel se ajusta de forma correta e precisa aos valores da precipitação máxima anual com o nível de significância de 1% ($\alpha = 0,01$).

2.7.1. Teste de Kolmogorov-Smirnov

Segundo Rodrigues, (2020) para o teste de Kolmogorov-Smirnov descreve o seu método na estatística designado da equação 2, gerando a equação 9:

$$D_{\text{observado}} = \text{Max} |F(x) - S(x)| \quad (\text{Equação 9})$$

Onde: $F(x)$ e $S(x)$ – São as funções teórica (ou de referência) e observada, respetivamente.

2.7.2. Teste de Anderson-Darling

Segundo Pereira, *et al* (2017) a sua estatística é designada pela equação 2, gerando a equação 10:

$$A^2 = -N - \sum_{i=1}^n \frac{(2i-1) \left\{ \ln F_x(X_{(i)}) + \ln [1 - F_x(X_{(N-i+1)})] \right\}}{N} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

$\{X(1), X(2), \dots, X(m), \dots, X(n)\}$ – Representam as observações ordenadas em modo crescente,

$F_N(x)$ e $F_X(x)$ – As distribuições empírica e teórica, respetivamente.

2.7.3. Teste de Qui-Quadrado

Conforme Correa, *et al* (2020) O principio básico deste teste é comparar proporções, ou seja, possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para um certo evento, e é um teste paramétrico que não depende de parâmetros médios e ou variâncias.

O seu cálculo é dado pela equação 2, gerando a seguinte equação 11:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \left(\frac{(Fo_i - Fe_i)^2}{Fe_i} \right) \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

k – Número de classes;

Fo_i – Frequência observada, e

Fe_i – Frequência esperada.

2.8. Coeficientes de desagregação da chuva

Conforme Freitas, (2016) devido à grande dificuldade de dados de precipitação provenientes de pluviógrafos disponíveis, alguns métodos foram desenvolvidos buscando desagregar esses dados diários em escalas subdiárias. Na literatura é possível encontrar diversos métodos para obtenção de precipitação de eventos com determinada duração a partir de outros eventos com durações distintas. Estes métodos são conhecidos como métodos de desagregação de chuvas, normalmente diárias.

Segundo Teodoro, *et al* (2014) os diferentes coeficientes de desagregação de chuva diária contribuem consideravelmente para a determinação de parâmetros de curvas IDF, e contribuem significativamente em projetos de dimensionamento de drenagem urbana.

Segundo Pereira, *et al* (2017), o método de desagregação é o mais utilizado porque fundamenta a similaridade das relações entre as intensidades médias máximas de diferentes durações, para locais diferentes, somente com pequenas variações relacionadas ao período de retorno. Conforme ilustra a tabela 1 de coeficientes de desagregação da chuva máxima diária para diferentes durações.

Tabela 1. Constantes do modelo de desagregação de chuvas diárias

Relação	Coefficientes de desagregação (WMO, 2009)	Coefficientes de desagregação para Maputo (Langa, 2002)	Erro relativo (Langa / WMO)
5min/1h	0,34	0,363	25,10%
10min/1h	0,45	0,519	15,29%
15min/1h	0,57	0,619	8,64%
30min/1h	0,79	0,791	0,17%
1h/24h	0,40	0,549	37,18%
24h/1dia	1,13	-	-

Fonte: WMO, (2009) & Langa, (2002)

A intensidade média máxima de precipitação para cada duração foi obtida pela relação entre a respetiva altura precipitada e a duração. Estes resultados foram posteriormente comparados com as obtidas pelo Decreto nº 30/2003. Os coeficientes pluviométricos foram avaliados pela metodologia proposta por (Vaz, 2006). Os coeficientes da tabela 1 são relações da

precipitação obtida pela sua respetiva duração, encontraram-se as intensidades de precipitação associadas aos períodos de retorno e às durações.

Calculadas todas as precipitações, aplica-se a tabela de constantes de desagregação em busca de encontrar a precipitação para cada duração definida e para cada período de retorno desejado. Assim, tendo a precipitação e a duração, calcula-se a intensidade para cada duração e período de retorno. Francisco, *et al* (2013).

2.9. Determinação dos parâmetros da equação Intensidade, Duração e Frequência

A determinação dos parâmetros consideravelmente é feita na base dos valores de precipitação obtidos por Gumbel e Desagregação.

Segundo Dorneles, (2017) para a obtenção dos parâmetros k , c , m e n , das equações IDF, vai ser utilizada a ferramenta, da planilha Excel da Microsoft, utilizando o código de otimização não - linear, denominado gradiente reduzido generalizado.

$$I = \frac{k * Tr^a}{(t + b)^c} \quad \text{(Equação 12)}$$

Onde:

I – Intensidade de chuva ($mm h^{-1}$);

Tr – Período de retorno (anos);

t – Duração de chuva (minutos);

k , a , b , c – Parâmetros de ajuste da equação.

Segundo Pereira, *et al* (2017) a partir da equação (5) de chuvas intensas será feita ajustando-se a equação geral aos dados pluviométricos por meio de método do gradiente reduzido generalizado, com base a utilização de diferentes durações que variam de 5 a 1440min segundo (Souza *et al.*, 2012; Cardoso *et al.* 2014, Campos *et al.*, 2017). O suplemento Solver, do Excel, trata-se uma ferramenta de teste de hipóteses, a partir do qual é possível identificar um valor ideal (mínimo ou máximo) para uma equação (fórmula) inserida em uma célula denominada de objetivo, levando-se em consideração determinadas regras que limitam e/ou restringem os valores das variáveis (células de variáveis de decisão). Ele justifica-se pela facilidade de implementação, pois ao serem definidas as células objetivo (células com os parâmetros a serem calibrados), o valor a ser alcançado (máximo ou mínimo), as variáveis que devem ser utilizadas como critério para os

Clima

Em geral, a província de Gaza apresenta um clima com maior período de seca em Moçambique e menor número de dias de precipitação. A faixa do litoral é mais húmida e com pluviosidade mais frequente, ao contrário do interior que apresenta maior período de seca. A variação interanual da pluviosidade sazonal é muito maior (a maior do país). O tempo médio de seca é o mais longo do país, juntamente com Inhambane. A tendência da pluviosidade sazonal é fracamente positiva a nível provincial, devido principalmente ao aumento da pluviosidade em Dezembro e Janeiro. A cobertura da vegetação aumenta moderadamente no pico da estação. Distante da zona do litoral, a duração da estação de crescimento pode ser muito curta (menos de 2 meses). O impacto da ENSO é muito acentuado, com o El Niño a levar a forte pluviosidade durante a estação, em particular de Janeiro a Março. Os eventos do La Niña levam, normalmente, ao aumento da pluviosidade de Janeiro a Março (WFP, 2017).

3.2.Obtenção dos dados meteorológicos

Os dados utilizados neste estudo correspondem a série histórica dos valores de precipitação obtidos no Instituto Superior Politécnico de Gaza (ISPG), coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM), localizado na província de Maputo (capital de Moçambique) Rua 164 De Mukurumba. Os dados disponíveis de precipitação são médias mensais. Esse banco de dados contém, na forma digital, séries históricas de estações meteorológicas convencionais da rede de estações da província de Gaza, com diversas informações de medições diárias que varia de 1965 a 2015 correspondente a 50 anos.

Deste modo os dados cedidos pelo ISPG, observou-se que contem falhas em alguns meses de cada ano, foram excluídos do estudo os anos 2013, 2014 e 2015 porque não dispõem de dados hidrológicos e prosseguiu-se com o processo de preenchimento das devidas falhas observadas.

Foram seleccionados os anos com dados hidrológicos completos manualmente, obtendo um total de 47 anos, foram identificados valores de precipitação máxima anual correspondente a cada ano.

3.3. Materiais

No processamento dos dados, realização dos cálculos, organização dos dados em tabelas e gráficos para as intensidades de precipitações máximas mensais e a análise dos resultados, foram necessários o auxílio dos seguintes softwares:

- Software Microsoft Office (Word);

Para a compilação e digitação do corpo do trabalho.

- Software Microsoft Office (Excel);

Processamento de dados brutos para obtenção dos resultados mediante fórmulas para elaboração das tabelas e gráficos.

- Software Statistix versão (9.0);

Usado para obter os resultados de correlação de Pearson, objetivando identificar as estações com coeficientes maiores e que mais se correlacionam com estações dependentes e independentes no devido apoio no processo de preenchimento de falhas.

- Software Paralise @Risk8.1;

Processamento dos resultados de testes de aderência.

- Software Minitab (18).

Usado na correção do outlier existente nos dados de coeficientes de desagregação da chuva e resultados do teste de Kruskal Wallis.

Tabela 2. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas da província de Gaza utilizados no estudo

Ordem	Estações	Latitude	Longitude	Altitude	Período	Base Temporal
1	Xai-Xai	25° 03'37.71" S	33° 41'45.17" E	43	1965-2012	47
2	Macia	25° 01'34.54" S	33° 06'25.43" E	65	1965-2012	47
3	Chókwè	24° 41'48.13" S	32° 58'41.14" E	33	1965-2012	47
4	Massingir	23° 20'26.00" S	32° 09'57.00" E	149	1965-2012	47
5	Chibuto	24° 41'48.13" S	33° 32'41.31" E	100	1965-2012	47
6	Manjacaze	24° 20'53.00" S	33° 52'70.00" E	72	1965-2012	47
7	Chicualacuala	21° 46'23.00" S	31° 16'32.50" E	---	1965-2012	47
8	Changane	23°24'00.00" S	33° 57'02.91" E	56	1965-2012	47
9	Praia-Bilene	25° 16'30.94" S	33° 14'30.99" E	24	1965-2012	47
10	Maniquenique	24° 41'48.13" S	33° 32'41.31" E	100	1965-2012	47
11	Massangena	21° 03'48.71" S	33° 41'45.17" E	121	1965-2012	47

3.4. Análise dos dados pluviométricos

Para o estabelecimento da equação IDF, foram submetidas a partir do método de Gumbel, as análises estatísticas exploratórias com o objetivo de se obter as medianas, as médias, desvio padrão, variância e o somatório a partir do conjunto de dados relativos as máximas precipitações mensais utilizando registros pluviométricos. Foram analisados valores de precipitação das médias mensais destacando-se os meses que possuíram falhas dos valores de precipitação diária. Utilizando todos os anos com valores ou dados acessíveis, partindo desses valores foi possível determinar a precipitação média mensal do ano hidrológico. E partindo desses valores foi determinado o ano hidrológico, correspondente a um intervalo fixo de 12 meses, começando no início do período chuvoso e terminando no fim da estação seca. Depois da determinação do ano hidrológico foram selecionados, também de forma manual, os anos hidrológicos completos, ou seja, aqueles em que se tem todos os valores de precipitação mensais, estes foram utilizados na determinação dos valores de máxima precipitação anual. De seguida foi determinado a média, mediana, variância e desvio padrão.

3.5. Coeficiente de Correlação de Pearson

Para o preenchimento de falhas, foram realizados os cálculos de correlação dos dados das estações meteorológicas de Macia, Xai – Xai, Bilene, Changane, Chibuto, Chicualacuala, Maniquenique, Manjacaze, Massangena e Massingir, de modo a encontrar dados das estações vizinhas que mais se correlacionam com dados das estações dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè para a utilização do preenchimento das falhas.

O coeficiente de correlação de Pearson mede a relação estatística a fim de verificar a correlação entre duas variáveis dependente e independentes (x e y) associadas entre si, dada pela seguinte equação:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum n)^2}{n} \right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right)}} \quad \text{(Equação 13)}$$

13)

Onde:

- n – É o tamanho da amostra;
- $\sum xy$ – É a soma do produto das variáveis x e y;
- $\sum x$ – É a soma da variável x;
- $\sum y$ – A soma da variável y.

Dada a equação acima, o r varia de (-1 e +1), por tanto quanto mais próximo o valor ao extremo do intervalo (-1 a +1) conclui que quanto mais forte é a qualidade do ajuste da recta proposta aos pontos de diagrama de dispersão, mais próximo de 1 estará o valor de r. Quanto mais próximo de zero mais fraca é a correlação linear, e quando r = 0 pode ser classificado de acordo com a tabela que se segue (Hopkins, 2007).

Tabela 3. Valores do coeficiente de correlação e sua classificação

Valores do coeficiente r	Classificação da correlação
1	Perfeita Positiva
0,70 a 0,99	Muito Forte Positiva
0,30 a 0,69	Moderada Positiva
0,01 a 0,29	Fraca Positiva
0	Nenhuma

Fonte:(Hopkins, 2007)

3.5.1. Coeficiente de determinação (R²)

O grau de correlação entre as intensidades máximas é dado pela medida do quadrado da correlação múltipla dado por:

$$R^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \tag{Equação}$$

14)

Onde:

- n – É o tamanho da amostra;
- $\sum xy$ – É a soma do produto das variáveis x e y;
- $\sum x$ – É a soma do variável x;

$\sum y$ – É a soma da variável y .

3.6. Preenchimento de falhas dos dados pluviométricos

Para a realização do preenchimento de falhas dos dados compreendidos entre os anos 1965 a 2015, realizou-se com o objetivo de homogeneizar a série histórica, devido a existência de várias falhas nas informações das suas observações em alguns meses.

Feito o teste de correlação, foi possível identificar as estações mais próximas que se correlacionam com os dados dos distritos de Xai-Xai, Macia e Chókwè a fim de se realizar o preenchimento de falhas das médias mensais dos dados de precipitação máxima. Deste modo os testes foram aplicados simulando falhas de dados reais das estações de Xai-Xai, Macia e Chókwè pelos métodos de regressão linear simples (RLS), regressão linear múltipla (RLM), ponderação regional (PR) e média de três estações (MTE) objetivando identificar qual foi o melhor método do preenchimento das falhas para cada variável.

Contudo o melhor método foi a de Regressão Linear Múltipla (RLM), em que depende de três fatores independentes, em alguns casos particulares a Regressão Linear Simples (RLS), que depende de um fator independente, onde os dados das estações de Chókwè, Macia e Xai-Xai foram correlacionados com os dados de outras estações vizinhas localizados na província de Gaza, objetivando identificar as estações de maiores valores de coeficiente de correlação para o seu devido apoio, que de seguida é substituída na equação 2.

Para estimar o dado que falta de acordo com a técnica de regressão linear, o X da equação foi substituído pelo dado real no período em que temos falha, compilado na estação de apoio. O resultado da equação será o valor simulado para o preenchimento da falha em causa.

3.6.1. Erros Médios

O preenchimento de falhas foi testado a partir do cálculo de seus erros médios, com os seguintes métodos: Erro Absoluto Médio (EAM), Erro Percentual (EP), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), dados pela seguinte equações abaixo:

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n-1} \quad \text{(Equação 15)}$$

$$EP = \left(\frac{\left(\sqrt{\text{dadoprevisto} - \text{dadoreal}} \right)^2}{\text{dadoreal}} \right) * 100 \quad \text{(Equação 16)}$$

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n-1}} \quad \text{(Equação 17)}$$

17)

Onde:

X_i – É dado real observada na estação vizinha;

Y_i – É dado estimado pelos previstos; e

n – É número de observações.

3.7. Realização dos testes de aderência

Com os dados mensais de precipitação deste estudo, foi usada a distribuição Gumbel porque apresenta resultados eficazes e é mais utilizado no mundo no ajuste de eventos meteorológicos como modelo probabilístico de valores extremos, mediante o software *paralise @Risk 8.1*.

Segundo Pavione, (2010) foram estimados pelo método da máxima verossimilhança e a aderência dos dados à distribuição teórica avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e Qui-Quadrado, e foram escolhidas oito (8) distribuições nomeadamente: BetaGeneral, Exponencial, Valores Extremos, Gamma, Kumaraswamy, Lognormal, Normal e Weibull, com base nos argumentos a seguir: A BetaGeneral – conhecida como distribuição de incertezas ou variação de uma probabilidade; Exponencial é largamente conhecida como de fácil aplicação e tem sido empregada para a descrição de eventos ambientais; Valores Extremos porque são valores que determinam se um sistema irá potencialmente falhar ou não, Gamma é extremamente importante na modelagem de análise de risco, com uma série de usos diferentes, tais como a modelagem do tempo necessário para a recorrência de um evento; Kumaraswamy foi aplicada para modelar o volume de armazenamento de um reservatório e possui forma simples para sua densidade e distribuições cumulativas; Lognormal foi escolhido por se mostrar apropriado para desrever variáveis de distribuições uniforme com o objetivo de verificar a coerência do seu uso; Normal é frequentemente usada em teoria estatística para a distribuições de

distribuições de erros; Weibull foi selecionada como alternativa de distribuição com curva flexível, além da distribuição lognormal.

O gráfico de probabilidades foi aplicado às séries com o número de dados de 47 na base anual, pois séries com dados escassos apresentam maior dificuldade para a tomada de decisão quanto a distribuição probabilidade, somado ao fato de que se trata de uma avaliação visual dos gráficos. Por sua vez todos os testes foram considerados a nível de significância de 1% ($\alpha = 0,01$), para uma maior precisão e poucas incertezas nos resultados obtidos.

Realizou-se os testes com o objetivo de verificar se a distribuição de Gumbel se ajusta de forma correta e precisa aos valores de precipitação máxima anual, sendo este valor utilizado em estudos para determinação de equações de chuvas intensas, tais como os de Oliveira *et al.* (2005).

3.8. Coeficientes de desagregação das chuvas

Conforme Pereira, *et al* (2017) a chuva máxima anual, referente a 1 dia de precipitação, foi desagregada em durações menores, sendo esse procedimento necessário quando não se tem dados de pluviógrafos, com o método de relações de durações mediante do software Excel, por ser o método mais simples no seu uso, oferecendo resultados satisfatórios na determinação de alturas de precipitação com duração inferior a 1 dia.

Conforme Pereira, *et al* (2017) os valores de precipitação máxima anual para cada tempo de recorrência foram desagregados em durações menores que 1 dia. As durações a serem utilizadas serão 5, 10, 15, 30, 60 e 1440 minutos. Para obtenção da precipitação nas durações citadas, procederam-se multiplicando a precipitação de duração maior pelo coeficiente que a transforma na precipitação de menor duração, os coeficientes e suas transformações correspondentes são mostrados na (Tabela 1).

Primeiramente foi preciso obter a precipitação de 24 horas, sendo esta diferente da chuva de 1 dia. Segundo Bertoni e Tucci (2001), a chuva de 24 horas é o total máximo precipitado, equivalente a um período contínuo de 24 horas, e não corresponde necessariamente ao período de observação. Já a precipitação de 1 dia é o valor contido entre os horários de observação pluviométrica.

Conforme Pereira, *et al* (2017) assim sendo, é necessário multiplicar o valor da precipitação diária pelo coeficiente 1,13 (Tabela 1). Essa multiplicação permite encontrar o valor da chuva de 24 horas. A partir da precipitação de 24 horas (1440 minutos) determina-se a precipitação de 1

hora (60 minutos) multiplicando-se pelo coeficiente 0,40. O mesmo raciocínio é feito para as demais durações, multiplicando sempre o coeficiente de desagregação pela precipitação de 24 horas.

Conforme Pereira, *et al* (2017) entretanto, para o caso da duração de 30 minutos o valor de referência a ser multiplicado pelo coeficiente é a precipitação de 1 hora. Para as durações menores que 30 minutos, o respectivo coeficiente de desagregação deve ser multiplicado pela chuva de 30 minutos. O procedimento deve ser feito para cada tempo de recorrência separadamente, obtendo para cada um deles a lâmina de precipitação para diferentes durações.

Portanto, tendo-se os valores de precipitação, as respectivas intensidades são obtidas dividindo-se tais valores pela duração correspondente. Encontrando-se as intensidades é possível gerar as curvas IDF para os dados analisados, sendo uma para cada tempo de recorrência.

3.8.1. Aplicação da distribuição de Gumbel

Para a obtenção dos valores da distribuição de Gumbel, calculou-se a variável reduzida e o seu valor deduzido, cálculo do valor de desvio padrão (equação 20) através da média, realizações de variáveis e o número total dos dados, a média dos valores extremos através dos valores de máximos anuais, a média de Gumbel obtidos através do valor da média dos valores máximos anuais (equação 25), beta (β) através do valor de desvio padrão (equação 23), o valor (π) e a constante de Euler-Mascheroni ($\gamma = 0.577215665$), probabilidade e a desagregação, conforme apresentam as tabelas 8, 9 e 10. Essa escolha se justifica por ser a distribuição de extremos mais utilizada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, além de apresentar vantagens em relação as demais, pois para o seu uso não é preciso consultar tabelas de probabilidade, de forma que o ajuste é feito apenas utilizando a média e o desvio padrão dos valores de precipitação máxima diária anual.

O ajuste foi feito utilizando a (equação 12) a qual emprega os parâmetros estatísticos de média e desvio padrão dos valores de máxima precipitação anual para determinação da altura máxima de precipitação de 1 dia, correspondente a diferentes tempos de recorrência (Choi & Choi, 1999).

$$X = \bar{X} - S \left\{ 0,45 + 0,7797 \ln \left[\ln \frac{Tr}{Tr-1} \right] \right\} \quad \text{(Equação 18)}$$

18)

Onde:

x = Precipitação máxima ajustada (mm);

\bar{x} = Média dos valores de precipitação máxima coletados (mm);

s = Desvio padrão das precipitações máximas anuais (mm);

Tr = Tempo de recorrência (anos).

A média e o desvio padrão foram calculados aplicando a (equação 8) (LANNA, 2001):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{(Equação 19)}$$

Onde:

x = Média aritmética (mm);

x_i = Realizações da variável (mm);

n = Número total de dados.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{(Equação 20)}$$

20)

Onde:

\bar{x} = Média aritmética (mm);

x_i = Realizações da variável (mm);

s = Desvio padrão (mm);

n = Número total de dados.

Segundo Pereira, *et al* (2017), para este estudo irá basear-se os tempos de recorrência de 2, 5, 10, 20, 25 e 50 anos, por serem valores frequentemente utilizados para determinação de chuvas intensas e serão utilizadas as durações de 5, 10, 15, 30, 60 e 1440 minutos.

Para cada precipitação máxima anual será calculada a distribuição empírica de probabilidade (frequência), utilizando o método Califórnia. (Equação 21).

$$F = \frac{m}{1 - n} \quad \text{(Equação 21)}$$

21)

Onde:

F = Frequência de ocorrência (a dimensional);

m = Ordem de determinado evento;

n = Número de anos de observação.

Os valores da distribuição de Gumbel correspondente a cada valor de chuva máxima foram obtidos pela sua função de probabilidade, mediante as seguintes equações abaixo:

$$\gamma_t = -\ln\left(\ln\left(\frac{Tr}{Tr-1}\right)\right) \quad (\text{Equação 22})$$

Onde:

γ_t = É a variável reduzida e o seu valor é deduzido tomando duas vezes o logaritmo neperiano na função de probabilidade;

Tr = Período de retorno

Cálculo dos estimadores dos parâmetros

Cálculo do valor de beta dada por Gumbel que é o procedimento desenvolvido pelo método de máxima verossimilhança das variáveis aleatórias que foi boa estimadora dos dados de teoria de probabilidade.

$$\beta = \frac{s\sqrt{6}}{\pi} \quad (\text{Equação 23})$$

23)

Onde:

S = Desvio padrão

Média de Gumbel

$$\bar{X} = \mu + \beta * \gamma \quad (\text{Equação 24})$$

Onde:

\bar{X} - Média dos valores extremos;

μ - Média dos valores máximos anuais;

γ - Constante de Euler-Mascheroni.

Aplicando esta distribuição, as frequências teóricas podem ser calculadas a partir da média e o desvio padrão da série de valores máximos da seguinte fórmula:

$$\bar{X} = \mu + y_t * \beta \quad (\text{Equação 25})$$

Fórmula da probabilidade

Os valores da distribuição de Gumbel corresponde a cada valor de chuva máxima obtido pela sua função de probabilidade (equação 26).

$$P = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (\text{Equação 26})$$

Desagregando a probabilidade dos valores máximos obtidos usou-se a seguinte formula:

$$X_{\text{corrigido}} = 1.13 * X_t \quad (\text{Equação 27})$$

Partindo dos valores de precipitação da distribuição empírica e da distribuição teórica (Gumbel), calcula-se as estatísticas para os testes de aderência.

3.8.2. Verificação de ocorrência de outliers dos coeficientes de desagregação fornecidos pela WMO, (2009)

As constantes do modelo de coeficientes de desagregação das chuvas diárias apresentam uma tendência significativa, reduzia e subia bruscamente a sua distribuição de frequência para os municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè.

Deste modo foram submetidos a análise estatísticas a fim de se verificar se existe a ocorrência de outliers, com objetivo de se obter as médias e desvio padrão anuais, bem como a distribuição de frequência. Verificada a ocorrência de outliers, dos coeficientes de desagregação descrito pela (WMO, 2009), foram colocadas em ordem crescente, identificando a mediana e o desvio padrão para a sua correção. Observou-se que a mediana dos coeficientes de desagregação é igual a 0.605(adimensional) e o desvio padrão foi de 0.309(adimensional). A partir destes valores obtidos, foram determinados os valores dos limites superiores de 0.914 e inferiores de 0.296 respetivamente, deste modo o coeficiente associado a 1h/24h é um outlier, sendo um valor desconsiderado para garantir um bom ajuste do modelo de Gumbel.

Verificada a presença do outliers dos dados de desagregação, usando o software Minitab identificou-se a média e o desvio padrão para a sua correção usando a fórmula gaussiana. Por sua vez foram organizados em ordem crescente e foram calculadas as probabilidades de ocorrência e o período de retorno (T_r) equivalente a cada duração, sendo construído o gráfico de máxima precipitação em função a cada período de retorno.

3.9.Determinação dos parâmetros da equação Intensidade, Duração e Frequência

A pois a obtenção do tempo de duração em relação a intensidade da chuva segundo o seu período de retorno referente aos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè, determinou-se as equações de regressão potencial para cada período de retorno com objetivo de obter gráficos de regressão

potencial de modo a extrair os coeficientes e o eixo de regressão, segundo cada período de retorno.

3.9.1. Obtenção a equação IDF

Para a obtenção da equação intensidade duração e frequência dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè, foi necessário transformar as alturas precipitadas em intensidade de precipitação mediante o modelo de Gumbel as precipitações ajustadas observadas, considerando os períodos de retorno (T_r) de 2, 5, 10, 20, 25 e 50 anos. A essas precipitações calculadas com durações diferentes, foram aplicados alguns fatores de conversão de minutos para horas, tendo considerado de 5minutos, 10minutos, 15minutos, 30minutos, 60minutos e 24h propostos por WMO (2009), em tempos de duração de 0.08horas, 0.17horas, 0.25horas, 0.5horas, 1hora e 24horas. Para a conversão da precipitação máxima de 24h para um período de retorno de 2 anos, usou-se o tempo de duração por hora dividido pelo valor da precipitação máxima obtida pelo coeficiente de desagregação, obtém-se a intensidade da chuva, e assim sucessivamente para os outros tempos de retornos estabelecidos.

Após feitas as análises dos dados, dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè, foi estabelecida uma relação matemática entre as quatro variáveis (k , a , b e c) pelos valores determinados, e o parâmetro b foi usado como tempo inicial de 12 minutos, que regem a equação intensidade, duração e frequência (equação 39, 40 e 41).

Por sua vez os valores dos coeficientes ou parâmetros (k , a , b e c), foram obtidos através do resumo dos gráficos de intensidade da chuva segundo o período de retorno. Determinadas as aplicações de regressão pelo método de Gumbel achou-se as médias dos coeficientes de regressão (α) e o eixo de regressão (n) segundo cada período de retorno de 2, 5, 10, 20, 25 e 50 anos. (equação 12)

Segundo Borsalo, & Martoni, sugerem que sejam atribuídos a b diversos valores até que, locando os pontos resultantes, se obtenha uma recta. Empregam-se as curvas de intensidade-duração, em gráfico potencial, para determinação do parâmetro b de cada frequência traçada. Nesse gráfico, cada curva traçada possui um conjunto de valores para intensidade (i) e duração (t) correspondentes à frequência escolhida. As intensidades devem ser calculadas de acordo com a distribuição de probabilidade de Gumbel.

Escolhendo-se, na curva IDF, dois pontos cujas coordenadas (i_1, t_1) e (i_2, t_2), são válidas as relações imediatamente a seguir:

$$K = Tr^m = \text{constante} = A \quad (\text{Equação 28})$$

$$i_1 = \frac{A}{(t_1 + b)^n} \quad (\text{Equação 29})$$

Pois, nas Equações 28 e 29, o tempo de retorno (Tr), assume o mesmo valor em todos os pontos da curva de uma mesma frequência. Pois considerando-se um terceiro ponto (i_3, t_3) da mesma curva, tal que, seja válida a relação da (equação 30).

$$i_3 = \sqrt{i_1 * i_2} \quad (\text{Equação 30})$$

Manipulando as (equações 28, 29) obtém-se a (equação 31)

$$\frac{A}{(t_3 + b)^n} = \sqrt{\frac{A}{(t_1 + b)^n} * \frac{A}{(t_2 + b)^n}} \quad (\text{Equação 31})$$

Elevando-se ao quadrado os dois membros da (equação 2) e resolvendo-a para variável b , obtém-se a (equação 32).

$$b = \frac{t_3 - t_1 * t_2}{t_1 - t_2 * t_3} \quad (\text{Equação 32})$$

Através da (Equação 12) obtém-se uma estimativa do valor do parâmetro b , exclusivo para determinada frequência, por isso, adotar-se-á a notação bi para representar apenas uma estimativa preliminar. Desse modo, ter-se-á um conjunto de valores preliminares bi . Aplicando a função $\log x$ na (equação 5), obtém-se a (equação 33).

$$\log = \log K + m * \log Tr + n * \log(t + b) \quad (\text{Equação 33})$$

Segundo Garcia, *et al* (2011), é possível ajustar, pelo método da regressão linear múltipla, a equação IDF às intensidades calculadas pela distribuição Gumbel. Iniciar-se-á um novo processo iterativo tendo por base todos os pontos bi . Estima-se inicialmente o valor de b como sendo o menor bi , em valor absoluto, do conjunto de todos os bi . Posteriormente, soluciona-se um sistema linear, na qual fornecerá os parâmetros de melhor ajuste da regressão linear múltipla de acordo com o bi estimado.

Segundo Garcia, *et al* (2011) para a obtenção da equação IDF irá se usar o método da desagregação de chuva de 24h, o que irá permitir a geração de pontos suficientes referentes a diferentes períodos de retorno.

Foi usado também o método de Bell, que vai associar a altura pluviométrica de uma chuva intensa para um tempo de duração e período de retorno padrão de 60 minutos.

$$h_{(t;Tr)} = (\alpha * \ln(Tr) + \beta_1) + (\beta_2 * t^\gamma - \beta_3) * h_{(60;2)} \quad \text{(Equação 34)}$$

3.10. Construção das curvas intensidade duração e frequência

Para a obtenção dos resultados dos municípios em estudo e posterior obtenção das curvas intensidade duração e frequência, substitui-se a fórmula para cada duração, objetivando obter a frequência acumulada com um tempo inicial escolhido de 12 minutos.

Determinou se as frequências para cada período de retorno em relação a cada duração em minutos, em que a mínima foi de 10 minutos e máxima de 240 minutos.

3.11. Cálculo da vazão máxima

Segundo Nharreluga (2016), com base na curva intensidade, duração e frequência do distrito de Chókwè com um intervalo de tempo de retorno de 10 anos, mediante a intensidade máxima de 623.69mm/h, houve necessidade do cálculo de vazão máxima objetivando verificar a extensão da série histórica de dados pluviométricos existentes consoante a áreas de drenagem ($AD = 0.05ha$) da bacia, coeficiente de escoamento ($C = 0.35$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Correção dos dados

4.1.1. Correlação de Pearson

Feitos os cálculos de correlação dos dados das estações Meteorológicas existentes nos municípios da província de Gaza, em função dos três (3) municípios em estudo, a (tabela 4) mostra que a estação de Xai-Xai se encontra mais correlacionada com estação do município de Manjacaze, Macia encontra-se mais correlacionada com a estação do município de Bilene e Chókwè encontra-se mais correlacionada com a estação do município da Macia. A partir dos

resultados do teste de correlação, foi possível escolher as estações vizinhas que compuseram os testes de preenchimento de falhas.

Entretanto, a correlação obtida nos municípios de Bilene, Changane, Chibuto, Chicualacuala, Maniquenique, Manjacaze e Massingir assemelhou - se com os resultados de Ogassawara & Oliveira na determinação das curvas de intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para Itaquí-rs, diferenciando-se dos resultados de municípios de Chókwè, Macia e Xai-Xai que se enquadrou nas orientações para consistências de dados pluviométricos ($R \geq 0,8$) exigidos pela Ana (2012).

Tabela 4. Correlação da precipitação total média mensal das estações referentes aos municípios de Chókwè (Chók), Macia (Mac), Xai-Xai (Xai), Bilene (Bil), Changane (Chang), Chibuto (Chib), Chicualacuala (Chic), Maniquenique (Mani), Manjacaze (Manj) e Massingir (Mass).

Estações	Chók	Mac	Xai	Bil	Chang	Chib	Chic	Mani	Manj	Mass
Macia	0.8018									
Xai-Xai	0.6776	0.8159								
Bilene	0.7288	0.9327	0.8044							
Changane	0.7806	0.7311	0.7467	0.6838						
Chibuto	0.7675	0.6979	0.7394	0.6504	0.6599					
Chicualacuala	0.5690	0.3083	0.3592	0.4037	0.5655	0.4788				
Maniquenique	0.6422	0.7747	0.6922	0.7493	0.7857	0.6652	0.4679			
Manjacaze	0.7715	0.7699	0.8424	0.6931	0.8837	0.7226	0.4321	0.6992		
Massangena	0.4767	0.3460	0.3720	0.4419	0.6411	0.3470	0.6424	0.4989	0.4557	
Massingir	0.6891	0.4718	0.5311	0.5226	0.6548	0.6555	0.7274	0.5769	0.5767	0.6590

De acordo com a tabela (4), os dados apresentados correspondem aos coeficientes da correlação de Pearson podendo-se dizer no geral que as estações mostraram ter uma forte correlação entre elas no fator da precipitação, destacando entre elas algumas estações com valores relativamente baixos. Esta baixa correlação deveu-se pelo facto dê-se observar muitos dados em falta entre as estações.

4.2. Classificação dos coeficientes de correlação

Mediante a tabela (3) dos valores de coeficientes de correlação são observados os valores na tabela (5), das variáveis meteorológicas para os municípios de Xai – Xai, Macia e Chókwè

apresentando valores de r que variam de (0,75, 0,77 e 0,81) tendo uma classificação “muito forte positiva”.

As correlações foram classificadas de acordo com a tabela (3) referenciada na revisão da literatura. Entre tanto as correlações obtidas se enquadram nas orientações para consistências de dados pluviométricos, (Hopkins, 2007).

Tabela 5. Variáveis, valores do coeficiente de correlação e sua classificação

Variáveis	Valores do coeficiente r	Classificação da correlação
Xai-Xai	0,75	Muito Forte Positiva
Macia	0,77	Muito Forte Positiva
Chókwè	0,81	Muito Forte Positiva

4.3. Preenchimento de falhas pluviométricas

Após os resultados do teste de correlação, foi possível fazer o preenchimento de falhas segundo o método de Regressão Linear Múltipla, em alguns casos particulares pelo Método de Regressão linear Simples.

O método de Regressão Linear Múltipla, teve como resultados satisfatório apresentando maiores coeficientes de correlação, confiabilidade na percentagem de aceitação comparados aos outros métodos adotados, procedendo-se o seu devido preenchimento para cada variável, obtendo dessa forma todos os dados faltantes dos municípios da província de Gaza objetivando ter a melhor correlação entre as estações mais próximas de Xai-Xai, Macia e Chókwè.

4.3.1. Análise do erro médio para o Município de Xai-Xai

Analisando os resultados dos erros médios correspondentes ao Município de Xai-Xai foram obtidos no (gráfico 5), resultados do método de regressão linear simples que apresenta o valor máximo de 302.69mm, e mínimo de 2.56mm; na regressão linear múltipla apresenta o valor máximo de 219.91mm, e mínimo de 1.07mm; a média de três estações apresenta o valor máximo de 280.87mm, e mínimo de 0.23mm; ponderação regional apresentou um valor máximo de 211.28mm, e mínimo de 0.20mm. Em termos percentuais para cada modelo ficou entre: regressão linear simples apresenta o valor máximo de 164.99%, e mínimo de 3.09%; na regressão linear múltipla apresenta o valor máximo de 137.36%, e mínimo de 0.85%; a média de três estações apresenta o valor máximo de 57.26%, e mínimo de 0.25%; ponderação regional apresentou um valor máximo de 117.53%, e mínimo de 0.27%.

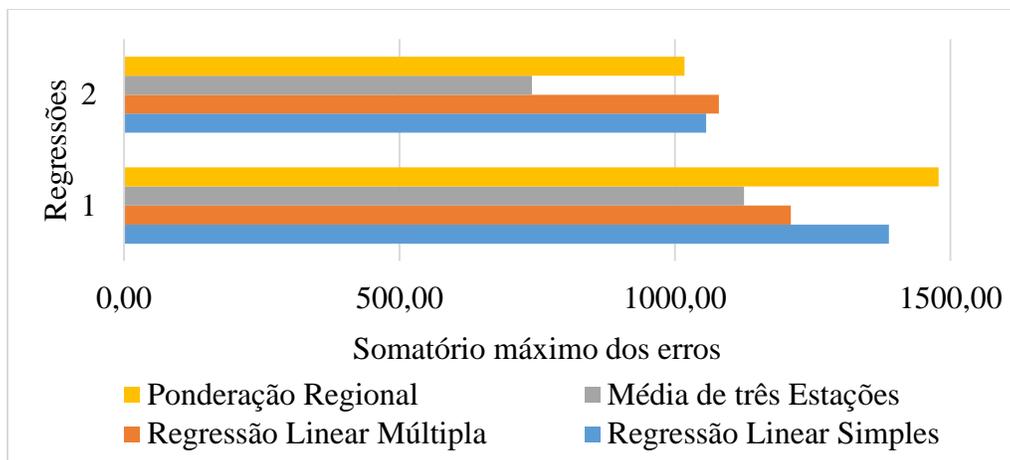


Gráfico 2. Representação dos Erros médios em percentagem (%) pelo método de ponderação regional, regressão linear múltipla, regressão linear simples e média de três (3) estações.

Deste modo o método estatístico que apresentou o melhor resultado da precipitação em ordem do desempenho foi a média de três estações, pois o seu somatório dos erros médios foi de 1125.40mm e a sua percentagem foi de 27.55%, de seguida regressão linear múltipla com 1210.26mm e a sua percentagem foi de 1079.67%, regressão linear simples com 1388.38mm e a sua percentagem foi de 1056.63% e por último temos a ponderação regional com 1478.41mm e a sua percentagem foi de 1017.4%.

4.3.2. Análise do erro médio para o Município da Macia

Analisando os resultados dos erros médios correspondentes ao Município da Macia foram obtidos no (gráfico 6), resultados do método de regressão linear simples que apresenta o valor máximo de 559.10mm, e mínimo de 4.75mm; na regressão linear múltipla apresenta o valor máximo de 301.69mm, e mínimo de 3.96mm; a média de três estações apresenta o valor máximo de 311.37mm, e mínimo de 6.30mm; ponderação regional apresentou um valor máximo de 396.40mm, e mínimo de 0.68mm. Nos termos percentuais para cada modelo ficou entre: regressão linear simples apresenta o valor máximo de 72.31%, e mínimo de 16.27%; na regressão linear múltipla apresenta o valor máximo de 54.06%, e mínimo de 8.05%; a média de três estações apresenta o valor máximo de 118.06%, e mínimo de 2.99%; ponderação regional apresentou um valor máximo de 71.50%, e mínimo de 2.13%.

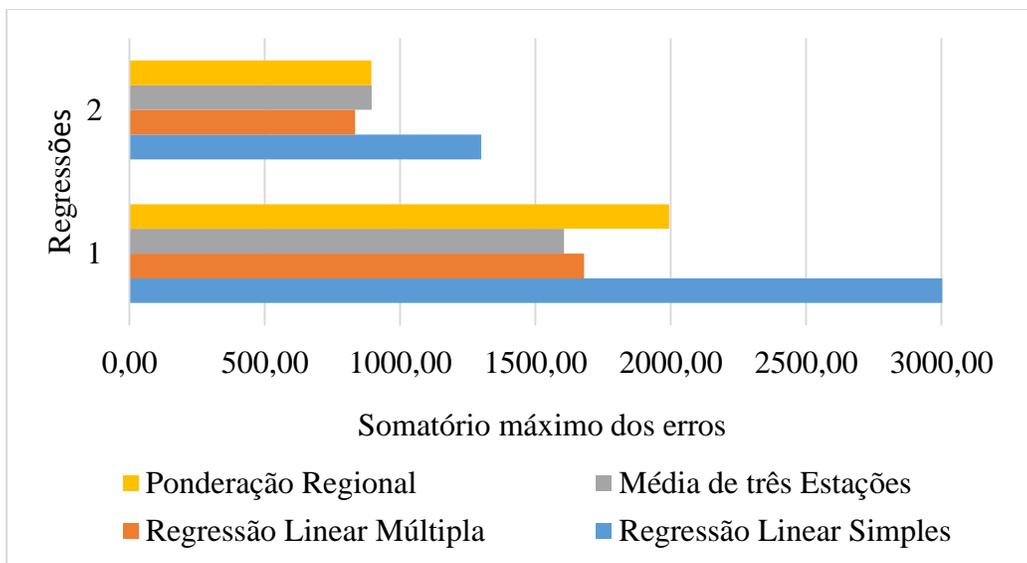


Gráfico 3. Representação dos Erros médios em percentagem (%) pelo método de ponderação regional, regressão linear múltipla, regressão linear simples e média de três (3) estações.

Deste modo o método estatístico que apresentou o melhor resultado da precipitação em ordem do desempenho foi o método de três estações, pois o seu somatório dos erros médios foi de 1605.80mm e a sua percentagem foi de 895.01%, de seguida Regressão Linear Múltipla com 1680.51mm e a sua percentagem foi de 834.16%, Ponderação Regional com 1993.87mm e a sua percentagem foi de 894.37% e por último temos o método de Regressão Linear Simples com 3003.95mm e a sua percentagem foi de 1299.30%.

4.3.3. Análise do erro médio para o Município de Chókwè

Analisando os resultados dos erros médios correspondentes ao Município de Chókwè foram obtidos no (gráfico 7), resultados do método de regressão linear simples que apresenta o valor máximo de 143.32mm, e mínimo de 0.99mm; na regressão linear múltipla apresenta o valor máximo de 106.97mm, e mínimo de 0.02mm; a média de três estações apresenta o valor máximo de 207.50mm, e mínimo de 0.90mm; ponderação regional apresentou um valor máximo de 120.19mm, e mínimo de 0.26mm. Nos termos percentuais para cada modelo ficou entre: regressão linear simples apresenta o valor máximo de 399.79%, e mínimo de 2.38%; na regressão linear múltipla apresenta o valor máximo de 239.86%, e mínimo de 0.12%; a média de três estações apresenta o valor máximo de 333.49%, e mínimo de 1.80%; ponderação regional apresentou um valor máximo de 195.39%, e mínimo de 0.26%.

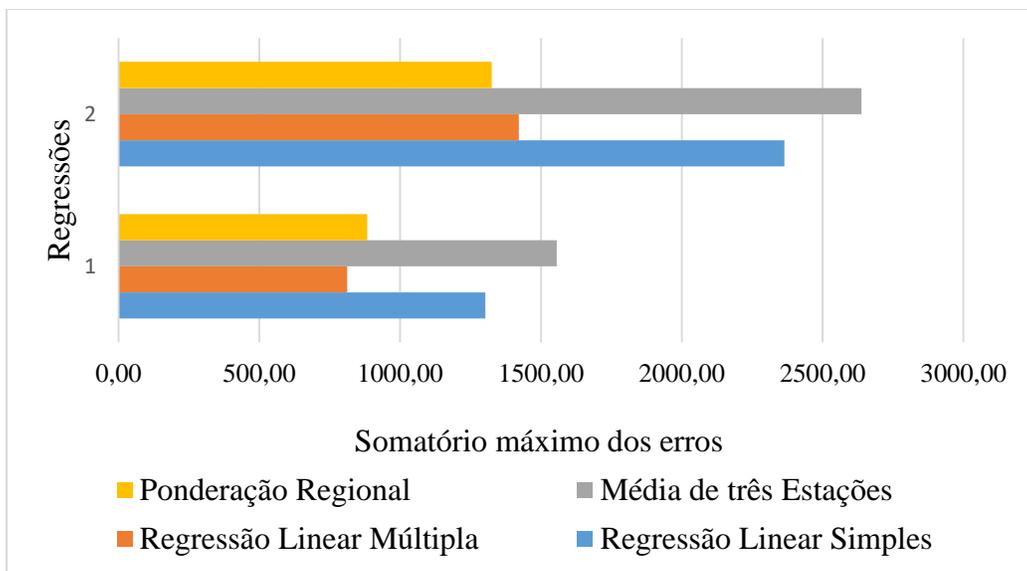


Gráfico 4. Representação dos Erros médios em percentagem (%) pelo método de ponderação regional, regressão linear múltipla, regressão linear simples e média de três (3) estações.

O método estatístico que apresentou o melhor resultado da precipitação em ordem do desempenho foi a regressão linear múltipla, pois o seu somatório dos erros médios foi de 811.68mm e a sua percentagem foi de 1421.82%, de seguida a ponderação regional com 883.38mm e a sua percentagem foi de 1324.97%, regressão linear simples com 1302.55mm e a sua percentagem foi de 2364.61% e por último temos o método de três estações com 1555.87mm e a sua percentagem foi de 2637.24%.

Deste modo, estes resultados são semelhantes com os encontrados por Fernandez, (2007) com o estudo do preenchimento de falhas em séries temporais de precipitação diária no rio grande do Sul onde verificou-se que o melhor método para o devido preenchimento de falhas foi a regressão linear múltipla que apresentou o menor erro absoluto, mostrando que quanto mais o método apresenta um erro menor eficiente foi para a sua aplicação.

4.4. Variação das precipitações

Feito o preenchimento dos dados faltantes, na análise das precipitações máximas mensais percebe-se que o ano hidrológico que possui maior lâmina de precipitação entre os anos usados no estudo para Xai-Xai foi o ano 2000 com uma lâmina de água de 567.80mm, Macia no ano 1976 com uma lâmina de água de 790.30mm e Chókwè no ano 1967 com uma lâmina de água de 419.60mm, (gráfico 2, 3 e 4).

Por sua vez nota se que existe uma oscilação nos eventos hidrológicos máximos, destacando para o município de Xai-Xai os anos de 1966, 1967, 1969, 1972-1978, 1981, 1983-1985, 1989, 1990, 1992-1994, 1996,1998-2001, 2003,2005, 2006, 2010-2012, possuem valores da precipitação máxima mensal superior a 200mm, com relação aos anos de 1970 e 1982 que apresentaram os valores máximos menores de precipitação que 100mm. Para o município da Macia tem destacado eventos hidrológicos máximos nos anos de 1966-1968, 1972-1981, 1983-1985, 1990, 1992, 1993, 1996-2001, 2003, 2004, 2006, 2007, 2010, 2011, possuem máximo valores superiores que 200mm, com relação ao ano de 1982 que apresenta valores menores de precipitação que 100mm. E para o município de Chókwè tem destacado eventos hidrológicos máximos nos anos de 1965-1967, 1969, 1971,1972, 1975-1978, 1989, 1990,1996,1998-2001, 2004, 2006, 2010-2012, possuem máxima valores superiores que 200mm, com relação ao ano de 1968, 1970, 1987, 1988, 2002, 2005, 2008, que apresenta valores menores de precipitação que 100mm.

As estimativas dos valores de precipitação para cada tempo de recorrência, realizada com o modelo estatístico da série temporal, diante da média e desvio padrão referentes a precipitações máximas anuais, referenciados no (gráfico 1, 2 e 3), aplicados a equação do desvio padrão (equação 20), obteve-se o resultado da altura de precipitação máxima mensal para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20,25 e 50 anos.

Os resultados das altas precipitações registradas na série temporal do ano 2000 refletem as cheias que destruíram diversas infraestruturas na província de Gaza, em que a cidade de Chókwè ficou debaixo de água e a zona baixa de Xai – Xai ficou parcialmente inundada, tendo sido o maior desastre ocorrido na província de Gaza.

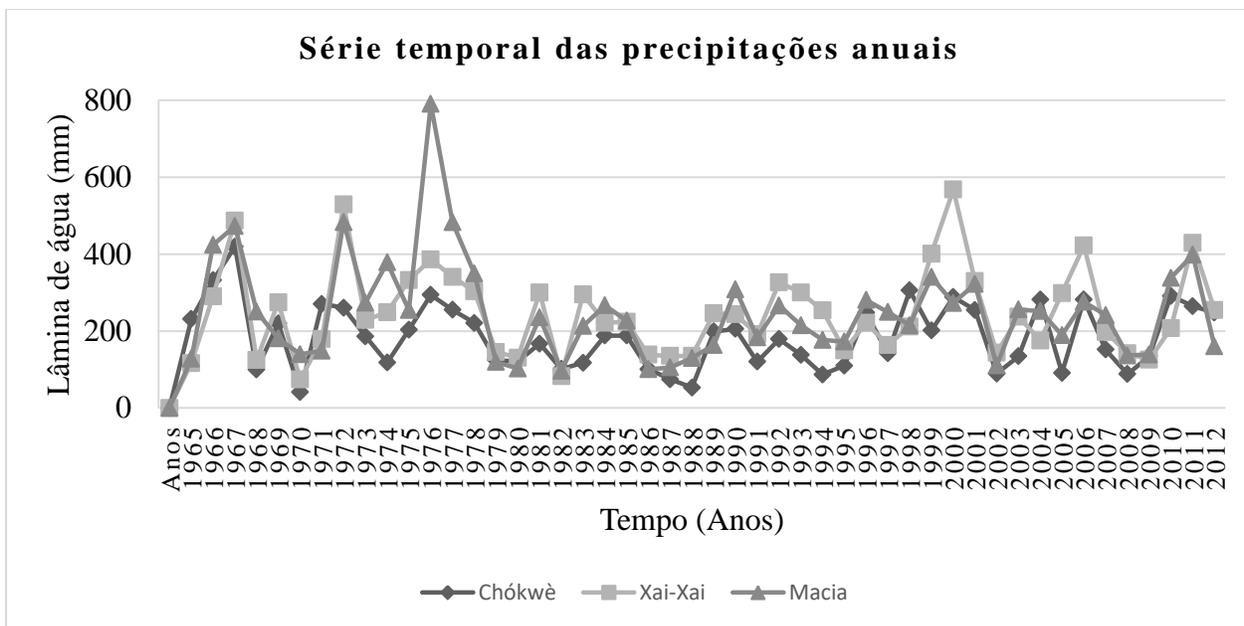


Gráfico 5. Variação das precipitações mensais: valores hidrológicos anuais completos mediante suas respectivas precipitações máximas mensais anuais do município de Chókwè, Xai-Xai, Macia.

4.4.1. Comparação dos erros segundo os métodos usando o teste de Kruskal Wallis

O (gráfico 6) mostra que os resultados do teste de comparação das médias de Kruskal Wallis a nível de significância de 1% dos erros de precipitação estimados pelos modelos de regressão linear simples (RLS), regressão linear múltipla (RLM), média de três estações (MTE) e o método de ponderação regional (MPR), estatisticamente não diferem entre si.

Situação similar foi observado por Júnior (2013), na hidrologia aplicada a precipitação onde o método mais prático foi a regressão linear múltipla. Diferente do resultado observado por Melo (2015) no preenchimento de falhas pluviométricas da variável precipitação em diversas áreas do Brasil, onde teve como melhor método a regressão linear simples.

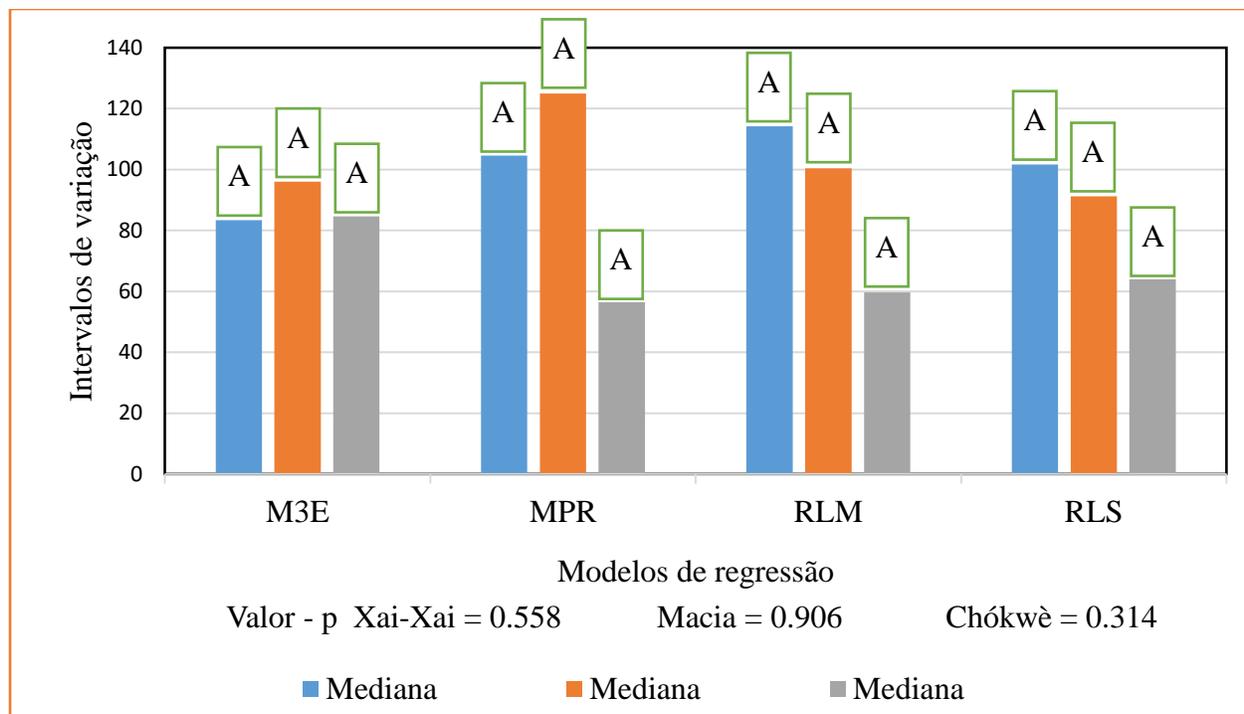


Gráfico 6. Resultados de comparação das medianas dos erros pelo teste de Wallis

Por sua vez, as medianas consoante o teste de Kruskal Wallis, estatisticamente observou-se que elas não diferem entre si, pois não houve diferença significativa entre os métodos usados no preenchimento das falhas em todas variáveis estudadas. Tendo em conta que os dados não apresentavam registros completos no mesmo período em mais de uma estação.

4.4. Teste de aderência

4.5.1. Município de Xai-Xai

Conforme Pavione, (2010) os testes de aderência fornecem um valor cuja probabilidade associada de ocorrência sob a hipótese nula (aderência a distribuição) é maior ou igual a alguma pequena probabilidade. Os gráficos (7, 8 e 9) trazem resultados dos testes de aderência para cada município. Entretanto, a realização dos testes de aderência com base nos dados de precipitações máximas anuais de cada município em estudo, com uma série de dados correspondentes a 47 anos, o município de Xai-Xai obteve testes que apontaram diferentes resultados quanto a adequação das distribuições de probabilidade testadas nos diferentes métodos de ajuste.

Em geral o teste que melhor descreve a distribuição de probabilidades dos dados das diversas variáveis analisadas é o Qui-Quadrado (X^2) em relação a KS e AD (gráfico 7), mostrando-se

mais rigoroso aceitando um número maior das distribuições de eventos extremos apresentando valores mínimos de 74.10 mm, máximos de 567.80 mm, média de 249.30 mm e o desvio padrão de 114.41.

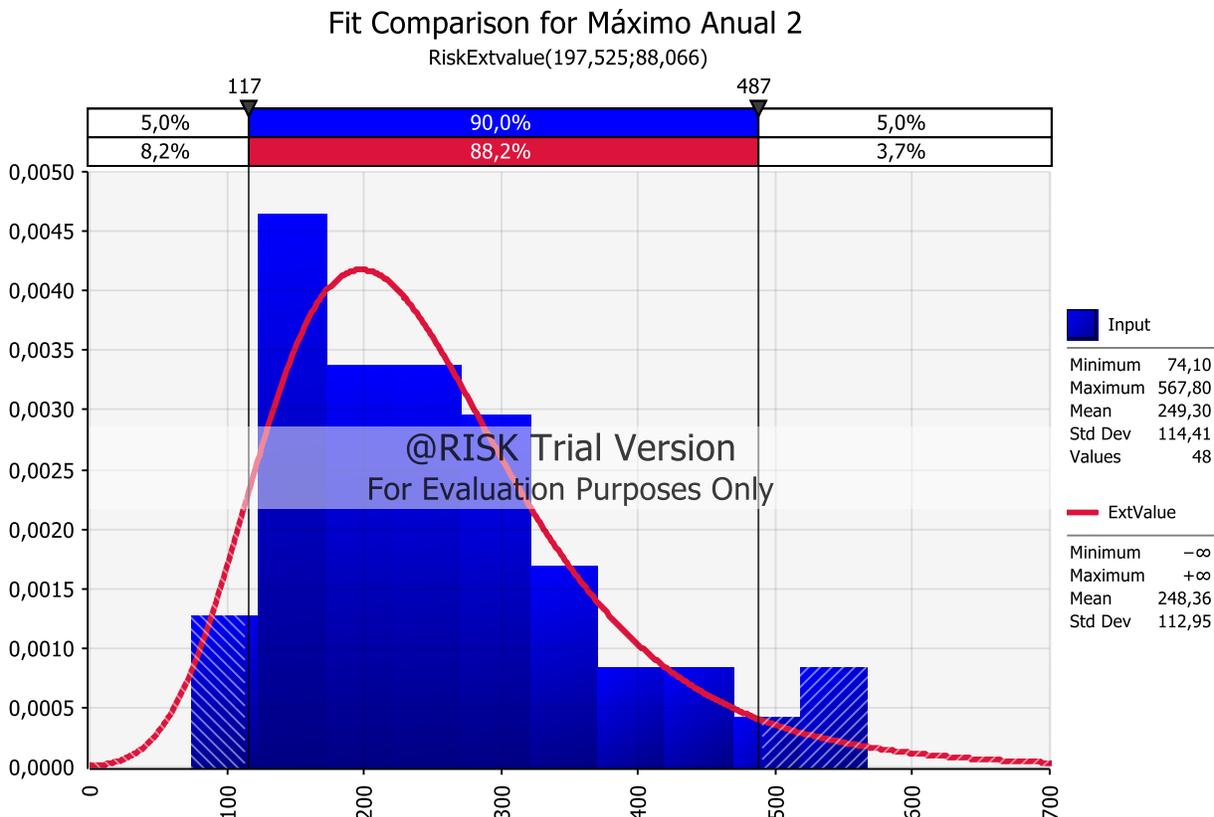


Gráfico 7. Histograma das distribuições de probabilidade e curva das distribuições escolhidas dos dados de precipitações anuais segundo distribuição de valores extremos do município de Xai-Xai.

4.5.2. Município da Macia

Para o município da Macia, os testes que melhor descreve a distribuição de probabilidades dos dados das diversas variáveis analisadas para o município da Macia foi o método de KS e AD em relação a X^2 (gráfico 8), quanto a adequação das distribuições de probabilidades testadas nos diferentes métodos de ajuste. Os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS) e Anderson Darling (AD), forneceram resultados de certa forma similares para todas variáveis apresentando valores mínimos de 96.80 mm, máximos de 790.30, média de 250.44 mm e desvio padrão de 130.69.

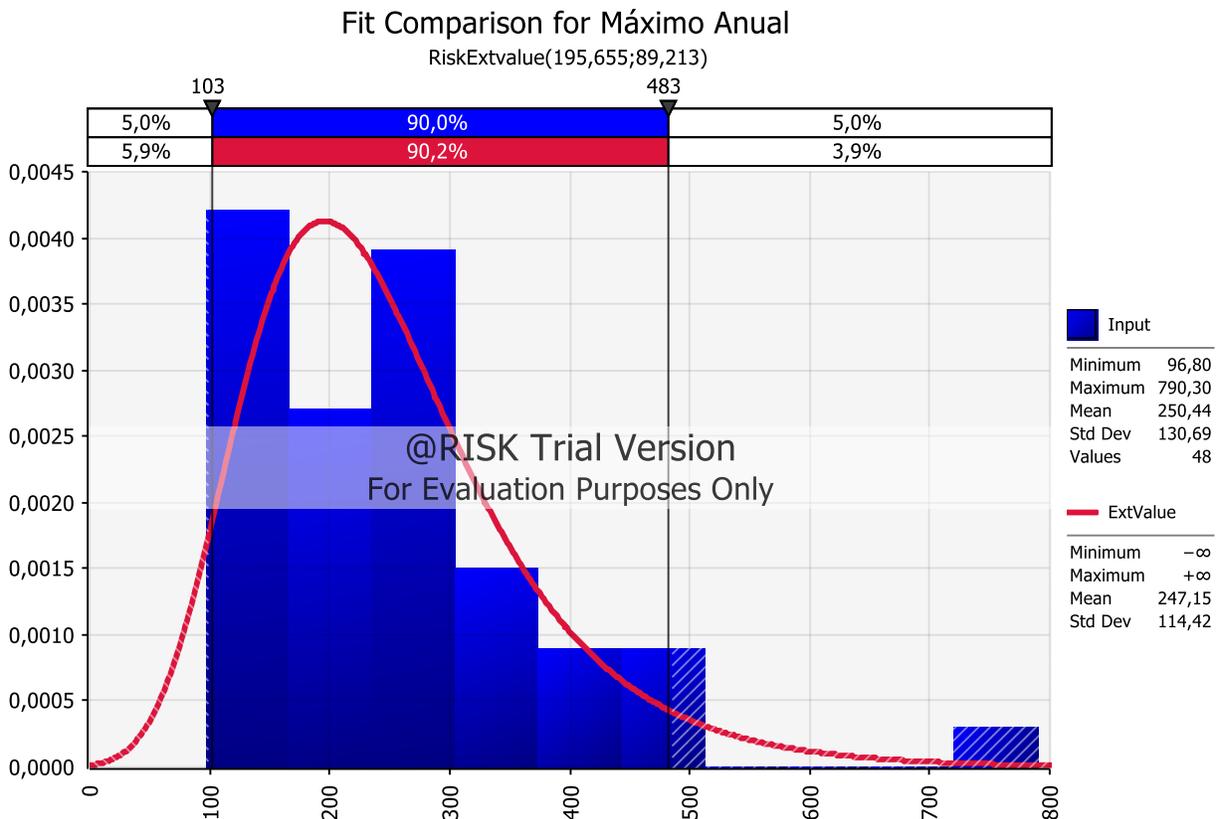


Gráfico 8. Histograma das distribuições de probabilidade e curva das distribuições escolhidas dos dados de precipitações anuais segundo distribuição de valores extremos do município de Macia.

4.5.3. Município de Chókwè

Para o município de Chókwè, o teste que melhor descreve a distribuição de probabilidades dos dados das diversas variáveis analisadas para o município foi o método de Qui-Quadrado em relação a KS e AD (gráfico 9), quanto a adequação das distribuições de probabilidade testadas nos diferentes métodos de ajuste mostrando-se mais rigoroso aceitando um número maior das distribuições de eventos extremos, apresentando valores mínimos de 41.60 mm, máximos de 419.60 mm, média de 185.95 mm e o desvio padrão de 84.08.

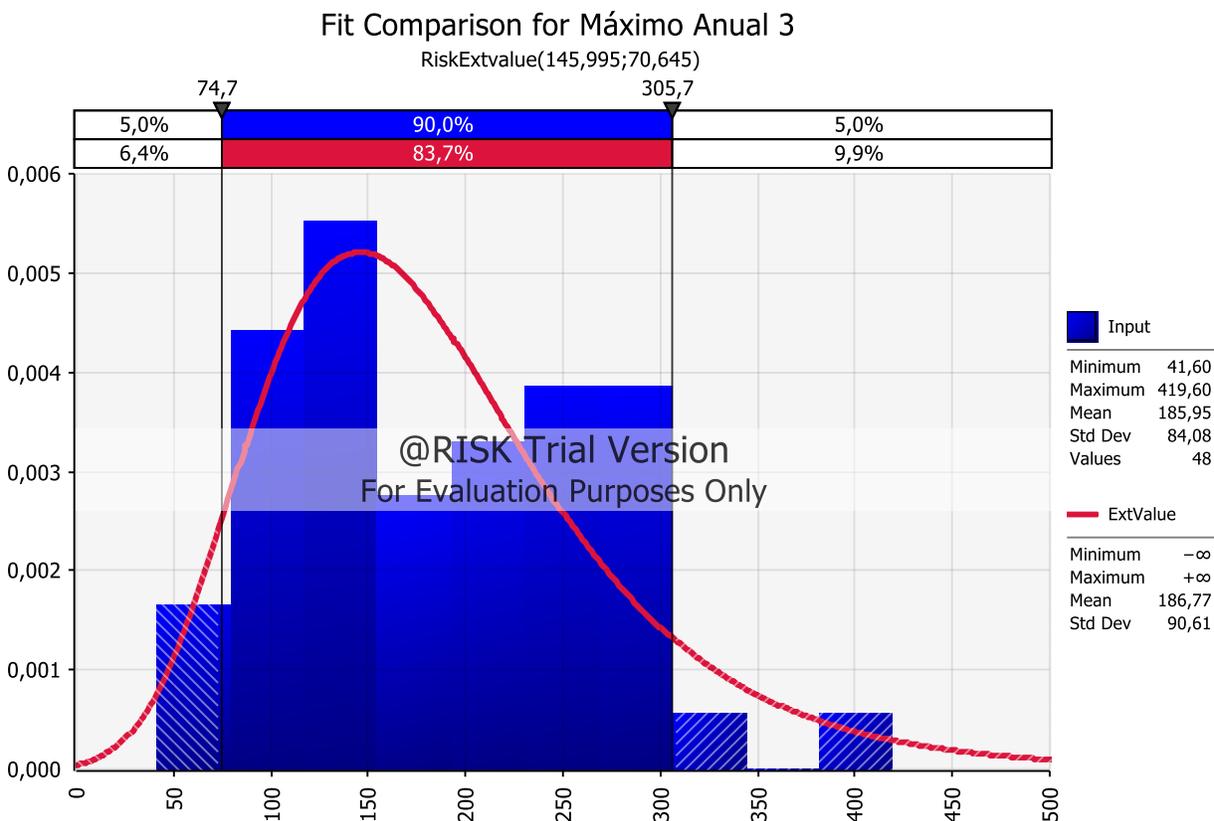


Gráfico 9. Histograma das distribuições de probabilidade e curva das distribuições escolhidas dos dados de precipitações anuais segundo distribuição de valores extremos do município de Chókwè.

Estes resultados diferem dos encontrados por Pavione, (2010) sobre o tema “análise de incertezas e de sensibilidade e avaliação quantitativa de risco microbiológico aplicadas ao dimensionamento de lagoas de polimento e à utilização de efluentes para irrigação”, onde verificou-se que os dados da variável de precipitação apresentaram assimetria positiva mais acentuada devido a variação dos valores de precipitação, pois cada distritos, províncias e países apresentam suas precipitações.

4.5.4. Estatísticas descritivas dos testes de aderência

A tabela abaixo representa as diferenças das estatísticas descritivas de resultados dos testes de aderência para cada município.

Mediante os resultados da tabela 6, os resultados assemelham-se dos encontrados por Pavione, (2010) sobre o tema “análise de incertezas e de sensibilidade e avaliação quantitativa de risco microbiológico aplicadas ao dimensionamento de lagoas de polimento e à utilização de efluentes

para irrigação”, em que a distribuição lognormal e da distribuição uniforme foram verificadas estatisticamente por meio dos testes não paramétricos a nível de 5% de significância.

Tabela 6. Descrição simples dos dados dos testes de aderência

Estatística	Xai-Xai	Macia	Chókwè
Média	249.30	250.44	185.95
Desvio Padrão	114.41	130.69	84.08
Máximo	567.80	790.30	419.60
Mínimo	74.10	96.80	41.60

4.6. Desagregação da chuva diária

4.6.1. Distribuição de Gumbel

Rangel & Hartwig (2017), em seu estudo sobre as distribuições de eventos extremos de precipitação diária em cidade de pelotas, usando uma série de dados de 1998 a 2014, concluiu que a distribuição de Gumbel foi a que melhor se ajustou aos extremos de precipitação máxima diária. São apresentados resultados sobre os valores esperados assim como os seus intervalos de confiança para períodos de retorno de até 100 anos. Deste modo o trabalho desenvolvido por Rangel & Hartwig (2017) se assemelhou com os resultados encontrados neste estudo, onde o método de Gumbel apresentou variações significativas e aceitáveis.

Na tabela 7 são apresentados os valores de intensidade máxima anual, na qual observa-se um aumento na variabilidade dos valores de intensidade com o aumento da duração das chuvas.

Tabela 7. Estimativas da precipitação máxima dada pela distribuição estatística de Gumbel, realizada para cada período de retorno.

Anos	Precipitação máxima de 1 dia (mm) para cada município em estudo		
Tr	Xai-Xai	Macia	Chókwè
2	425.83	442.57	316.43
5	554.94	590.24	411.32
10	640.43	687.98	474.15
20	722.42	781.73	534.4
25	748.43	811.48	553.52
50	828.56	903.09	612.4

4.6.2. Estimativas da precipitação máxima pelo método de Gumbel

Analisando as (tabelas 8), de estimativa da precipitação máxima realizada pela distribuição de Gumbel, para cada tempo de retorno dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè, permite verificar conforme o esperado, que quanto maior o tempo de período de retorno maior é a lâmina de precipitação prevista, isto é, quando o tempo de retorno aumenta, maiores são os valores de precipitação que podem vir a ocorrer nos períodos referenciados.

Esses resultados confirmam a observação de Pereira *et al* (2007), com o tema “equação de intensidade duração e frequência da precipitação para a região de dourados, MS de que a distribuição Gumbel apresenta resultados eficazes e é a mais utilizados no mundo no ajuste de eventos meteorológicos extremos.

Tabela 8. Estimativa da precipitação máxima realizada pela distribuição de Gumbel, para cada tempo de retorno do município de Xai-Xai, Macia e Chókwè

Tr	Município de Xai-Xai				Município da Macia				Município de Chókwè			
	Yt	xt	F(x)	Xt corrigido	Yt	xt	F(x)	Xt corrigido	Yt	xt	F(x)	Xt corrigido
2	0.37	333.49	0.50	376.84	0.37	346.60	0.50	391.66	0.37	247.82	0.50	280.03
5	1.50	434.60	0.80	491.10	1.50	462.24	0.80	522.34	1.50	322.13	0.80	364.00
10	2.25	501.55	0.90	566.75	2.25	538.79	0.90	608.83	2.25	371.32	0.90	419.60
20	2.97	565.76	0.95	639.31	2.97	612.21	0.95	691.80	2.97	418.52	0.95	472.92
25	3.20	586.13	0.96	662.33	3.20	635.50	0.96	718.12	3.20	433.49	0.96	489.84
50	3.90	648.88	0.98	733.24	3.90	707.25	0.98	799.19	3.90	479.60	0.98	541.95

O mesmo comportamento da (tabela 8) tem apresentado a (tabela 9 e 10), que quanto aumenta a duração por dia mediante o seu coeficiente de desagregação tende a crescer com o aumento do período de retorno.

Tabela 9. Estimativas de diferentes tempos (duração, coeficientes de desagregação) segundo o seu período de retorno do município de Xai-Xai e Macia.

Duração (horas)	Coeficientes de desagregação	Precipitação Máxima (mm/horas) para diferentes tempos de duração, segundo o seu período de retorno											
		Município de Xai-Xai						Município da Macia					
		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	25 anos	50 anos	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	25 anos	50 anos
5min/ 1h	0.29	109.3	142.4	164.4	185.4	192.1	212.6	113.6	151.5	176.6	200.6	208.3	231.8
10min/1h	0.45	169.6	220.9	255.0	287.7	298.1	329.9	176.6	235.1	273.9	311.3	323.2	359.6
15min/1h	0.57	214.8	279.9	323.1	364.4	377.5	417.9	223.3	297.7	347.0	394.3	409.3	455.5
30min/1h	0.79	297.7	387.9	447.7	505.1	523.2	579.3	309.4	412.7	480.9	546.5	567.3	631.4
1h/24h	0.87	327.9	427.2	493.1	556.2	576.2	637.9	340.7	454.4	529.7	601.9	624.8	695.3
24h/1dia	1.13	425.8	554.9	640.4	722.4	748.4	828.6	442.6	590.2	687.9	781.7	811.5	903.1

Tabela 10. Estimativas de diferentes tempos (duração, coeficientes de desagregação) segundo o seu período de retorno do município de Chókwè

Duração (horas)	Coeficientes de desagregação	Precipitação Máxima (mm/horas) para diferentes tempos de duração, segundo o seu período de retorno					
		Município de Chókwè					
		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	25 anos	50 anos
5min/ 1h	0.29	81.2	105.6	121.7	137.2	142.1	157.2
10min/1h	0.45	126	163.8	188.8	212.8	220.4	243.9
15min/1h	0.57	159.6	207.5	239.2	269.6	279.2	308.9
30min/1h	0.79	221.2	287.6	331.5	373.6	386.9	428.1
1h/24h	0.87	243.6	316.7	365.1	411.4	426.2	471.5
24h/1dia	1.13	316.4	411.3	474.2	534.4	553.5	612.4

Por sua vez os coeficientes de desagregação são regionalizados consoante a sua região, a partir do tempo de duração (horas e minutos), obtidas as intensidades da chuva segundo cada período de retorno estabelecido de um tempo mínimo de 5 minutos e máximo de 1440 minutos. A intensidade da precipitação máxima nas (tabelas 11 e 12), ocorrem variações diretamente

proporcional entre a precipitação e a duração, quanto maior a duração da chuva maior o volume precipitado, o mesmo verifica-se no tempo de retorno quanto maior o tempo ela tem aumentado. Houve um ajuste de todas as séries de intensidade máxima para cada duração à distribuição Gumbel.

Tabela 11. Estimativas do tempo de duração em relação a intensidade da chuva segundo o seu período de retorno referente ao município de Xai-Xai e Macia.

Duração (horas)	Coeficientes de desagregação	Precipitação Máxima (mm/horas) para diferentes tempos de duração, segundo período de retorno											
		Município de Xai-Xai						Município da Macia					
		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	25 anos	50 anos	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	25 anos	50 anos
0.08	5	1366.1	1780.2	2054.5	2317.5	2400.9	2657.9	1419.8	1893.5	2207	2507.8	2603.2	2897.1
0.17	10	997.5	1299.9	1500.2	1692.3	1753.2	1940.9	1036.8	1382.7	1611.6	1831.2	1900.9	2115.5
0.25	15	859.2	1119.7	1292.2	1457.6	1510.1	1671.8	892.9	1190.9	1388.1	1577.3	1637.3	1822.2
0.5	30	595.4	775.9	895.5	1010.1	1046.5	1158.5	618.8	825.3	961.9	1093	1134.6	1262.7
1	60	327.9	427.3	493.1	556.2	576.2	637.9	340.7	454.4	529.7	601.9	624.8	695.3
24	1440	17.7	23.1	26.7	30.1	31.2	34.5	18.4	24.6	28.7	32.6	33.8	37.6

Tabela 12. Estimativas do tempo de duração em relação a intensidade da chuva segundo o seu período de retorno referente ao município de Chókwè.

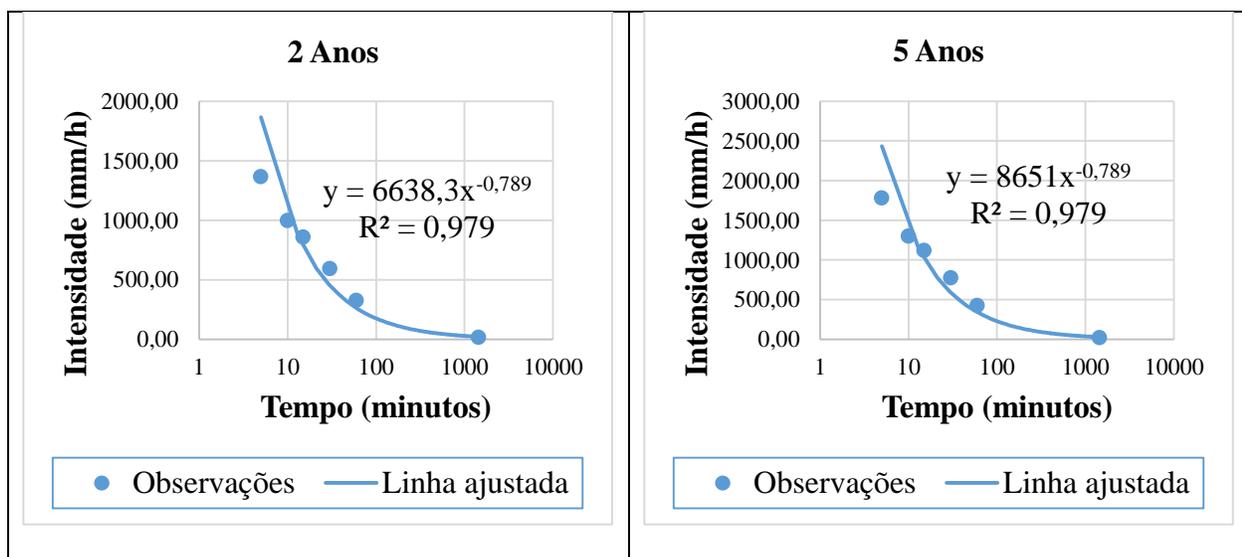
Tempo de Duração		Intensidade da chuva em mm/hrs, segundo período de retorno					
		Município de Chókwè					
Horas	Minutos	2 Anos	5 Anos	10 Anos	20 Anos	25 Anos	50 Anos
0.08	5	1015.1	1319.5	1521	1714.4	1775.7	1964.6
0.17	10	741.3	963.5	1110.7	1251.9	1296.6	1434.6
0.25	15	638.5	829.9	956.7	1078.3	1116.8	1235.7
0.5	30	442.5	575.1	662.9	747.2	773.9	856.3
1	60	243.6	316.7	365.1	411.4	426.2	471.5
24	1440	13.2	17.1	19.8	22.3	23.1	25.5

4.7. Parâmetros da equação dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè

São apresentados os resultados das aplicações de regressão em que os (gráficos 10, 11, e 12) mostram resultados satisfatórios do coeficiente R^2 que esta mais próximo de 1 como perfeita positiva, para cada período de retorno, apresentando coeficientes de regressão e o seu eixo de regressão, apresentando os parâmetros obtidos para cada (Tr) tempo de retorno com diferentes precipitações registradas, contidos por eixos de regressão (n) e os coeficientes de regressão (α). E apresenta o seu valor de (R^2) muito próximo de 1, em que para todos municípios em estudo não apresentaram uma variação por estarem em regiões com as mesmas características climáticas similares, considerado como ótimo.

Resultados propostos por Britto (2016), “procedimento para construção da equação de chuva a partir das máximas precipitações diárias obtidas de séries anuais: atualização da equação de chuva da cidade de são Carlos (SP)”, diferem dos resultados apresentados nos gráficos (10, 11 e 12) que foi considerado com 48 precipitações máximas anuais, pois as suas diferenças podem ser explicadas pelo tamanho das amostras consideradas para a determinação das equações I-D-F.

Gráfico 10. Resumo de aplicações de regressão potencial para elaboração do gráfico da equação intensidade duração e frequência do município de Xai-Xai.



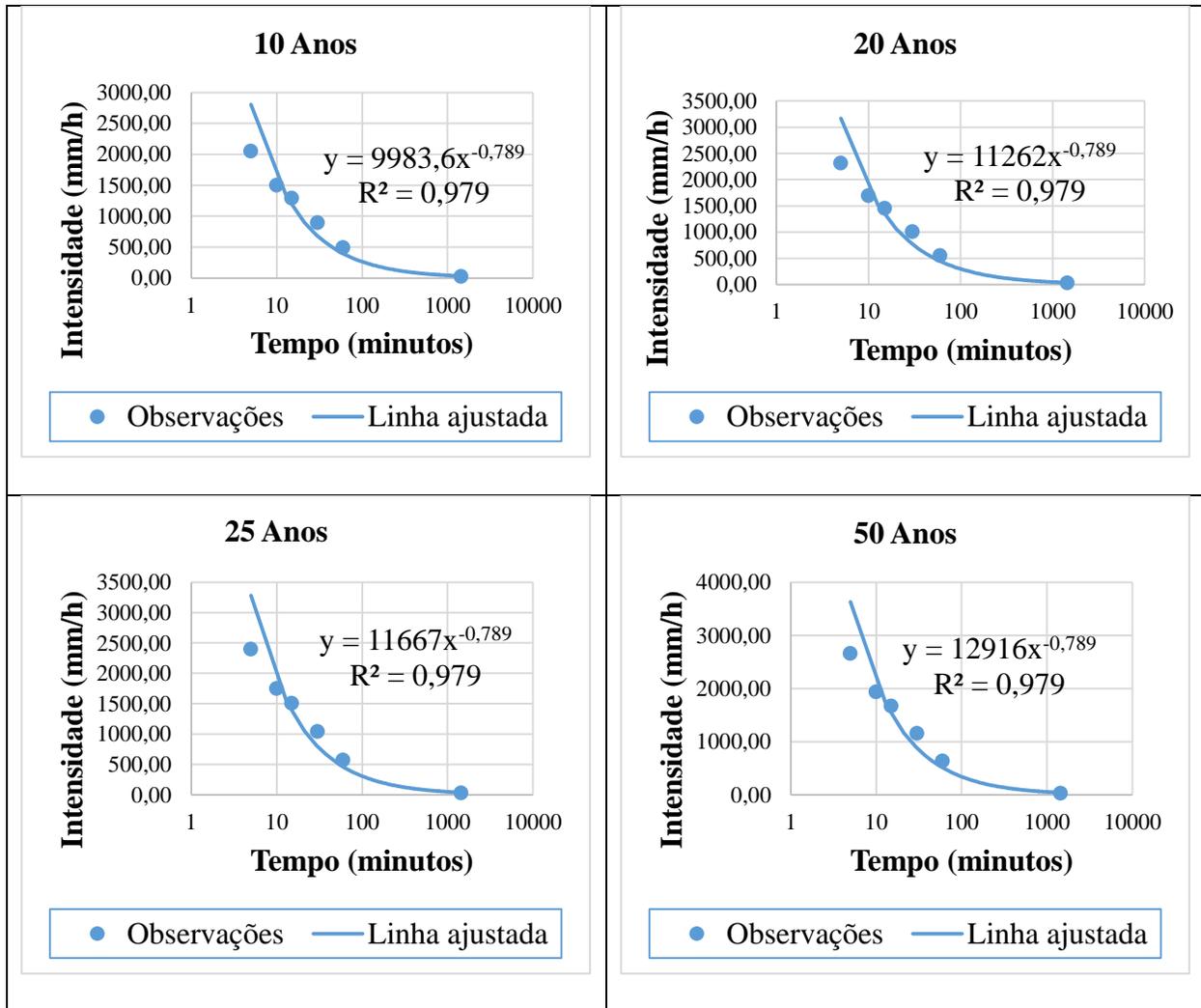


Gráfico 11. Resumo de aplicações de regressão potencial para elaboração do gráfico da equação intensidade duração e frequência do município de Macia.

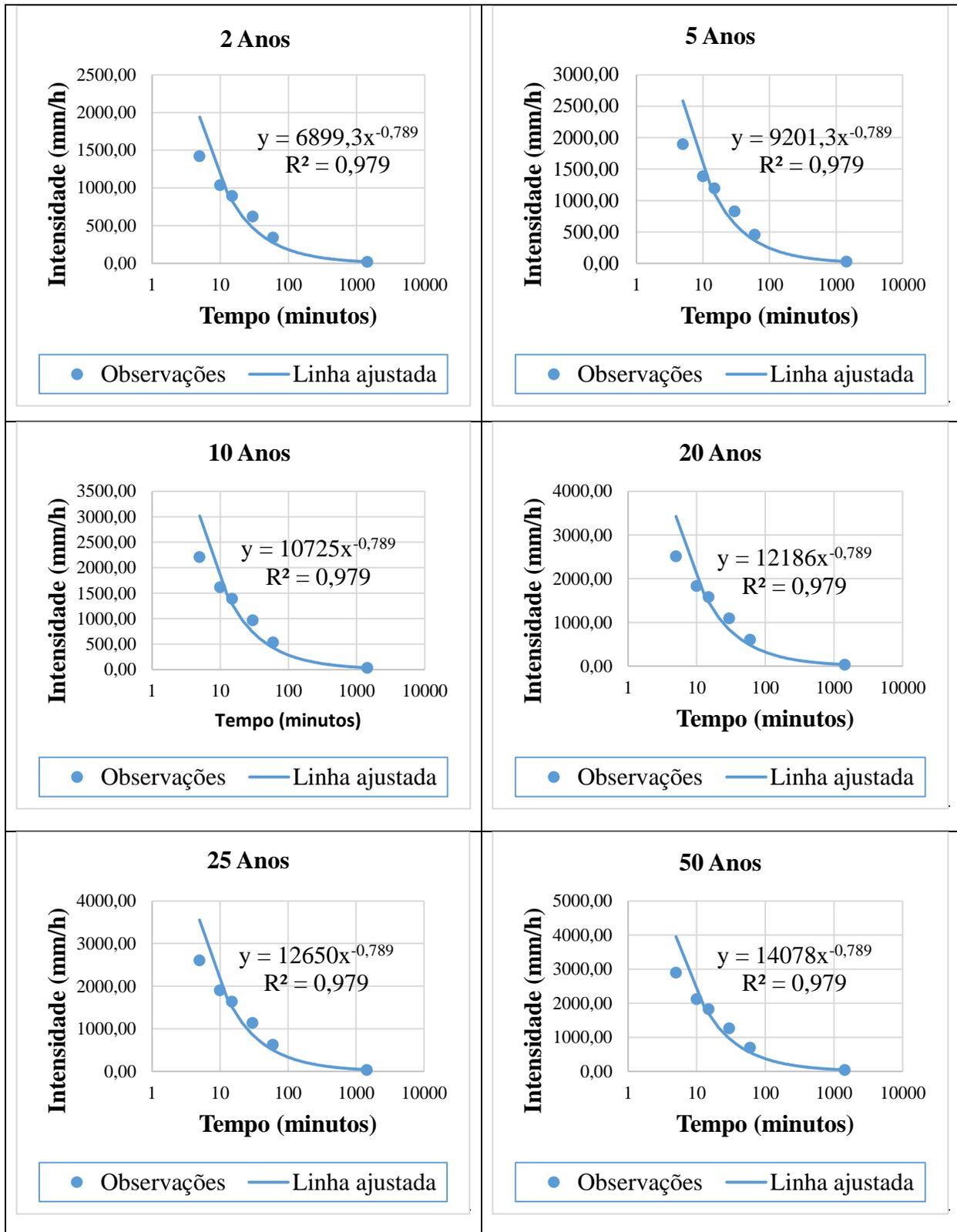
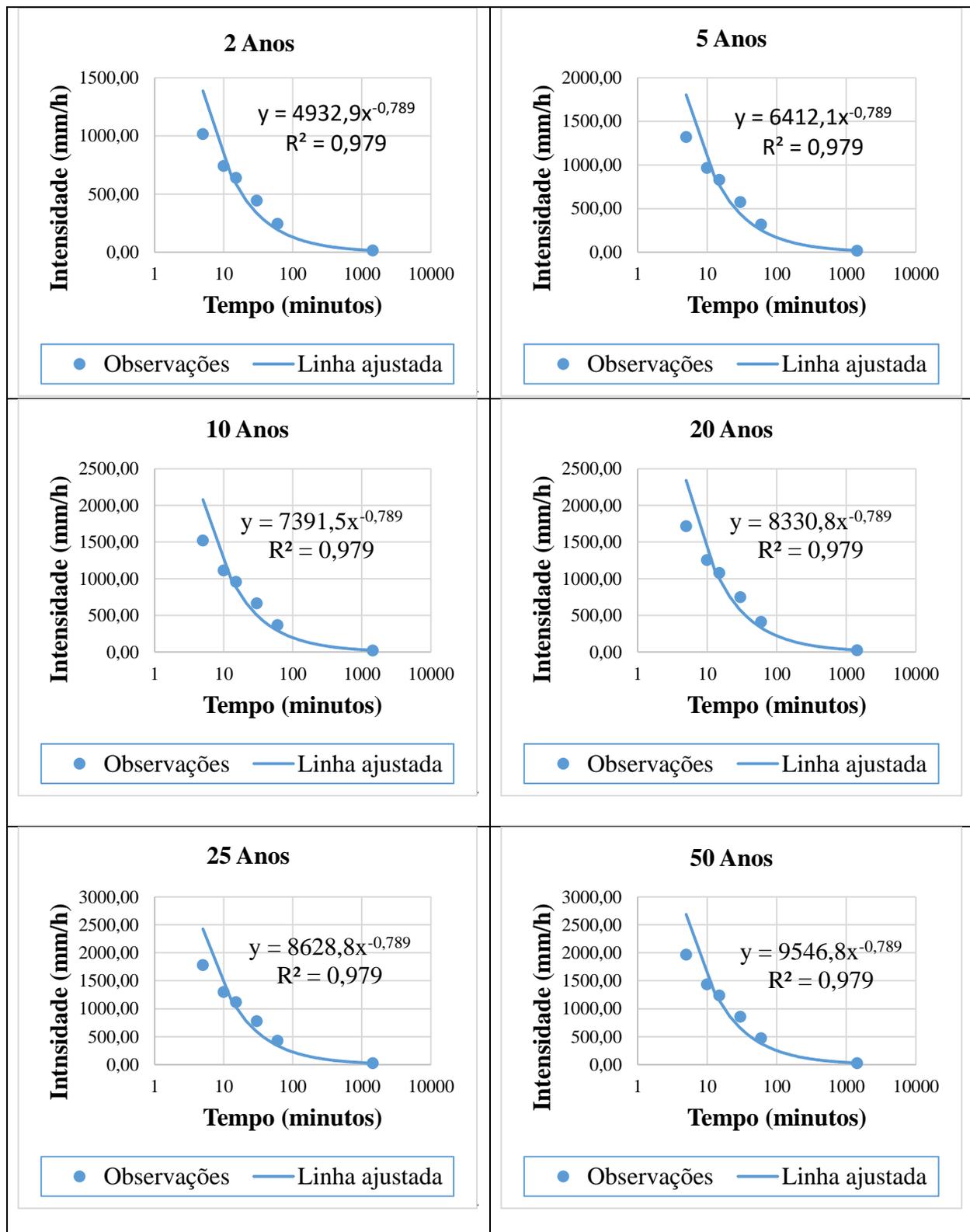


Gráfico 12. Resumo de aplicações de regressão potencial para elaboração do gráfico da equação intensidade duração e frequência do município de Chókwè.



4.8. Aplicações de regressão potencial, linear e exponencial

Dentre as três regressões testadas, o método de regressão potencial apresenta o coeficiente mais próximo de 1, sendo classificado como a melhor regressão para os municípios em estudo, apresentando a curva de frequência de chuva de 1 dia que mais se ajustou (Gráfico 13, 14 e 15), o que pode ser comprovado pelo valor obtido por R^2 em cada um dos gráficos, onde quanto mais próximo de 1 mais ajustado está, conforme é apresentado na tabela 13.

Situação semelhante foi observado por Freitas, (2016) na determinação e comparação de curvas intensidade duração frequência com dados pluviógrafos e pluviométricos na bacia hidrográfica experimental do riacho guraíra-PB, onde o método mais prático foi o de regressão potencial.

Assim, através da técnica de regressão potencial apresentados na tabela 13, para cada município foi possível aplicar o método porque apresentou resultados ótimos em relação a regressão linear e exponencial.

Tabela 13. Valores de R^2 para cada regressão

Tipo de regressão	Valores de R^2		
	Xai – Xai	Macia	Chókwè
Regressão potencial	0.9803	0.9781	0.9801
Regressão linear	0.7879	0.7878	0.7878
Regressão exponencial	0.7082	0.7018	0.7076

4.9. Determinação das constantes “b”, “k”, “m” e “n”

Considerando o período de retorno (T_r) de 50 anos conforme descrito anteriormente, construiu se um gráfico potencial das durações das precipitações em função das intensidades precipitadas, conforme apresentado pelas figuras (13, 14 e 15).

De um modo geral, os resultados obtidos assemelham-se dos proposto por Britto (2016), pois no seu estudo obteve o mesmo resultado do $R^2 = 0,98$ pelo método de regressão logaritmo, o mesmo acontece com os resultados obtidos por Freitas (2016) com $R^2 = 0,98$ pelo método de regressão linear, e pelo método de regressão potencial $R^2 = 0,98$ proposto neste estudo.

Resumo de aplicações de regressão potencial para o Município de Xai - Xai

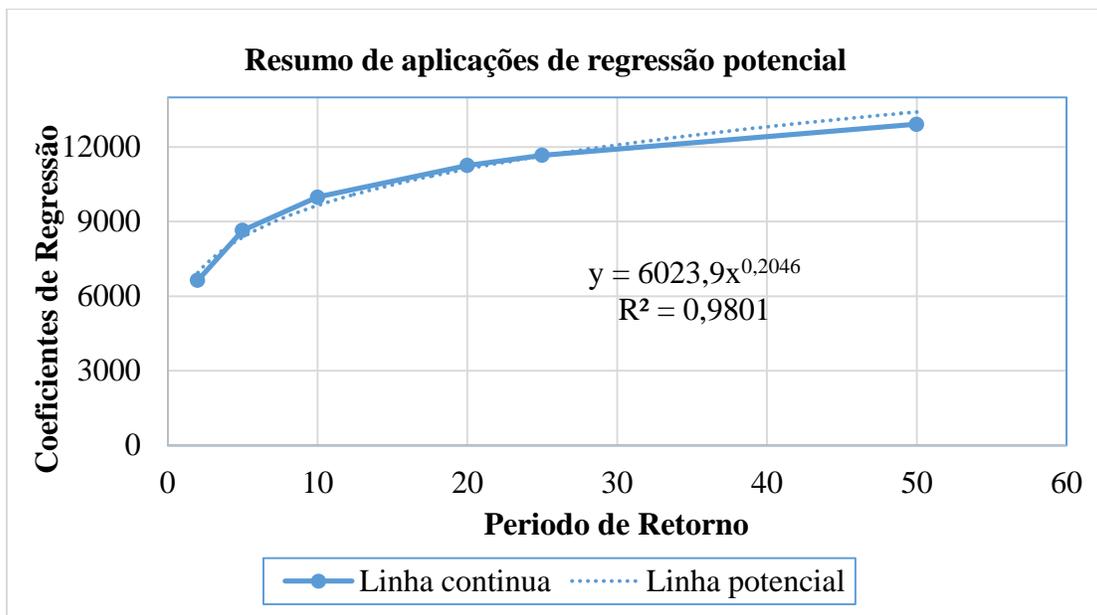


Gráfico 13. Apresentação dos coeficientes de regressão mediante o seu período de retorno para posterior substituição na equação do município de Xai-Xai.

Resumo de aplicações de regressão potencial para o Município da Macia

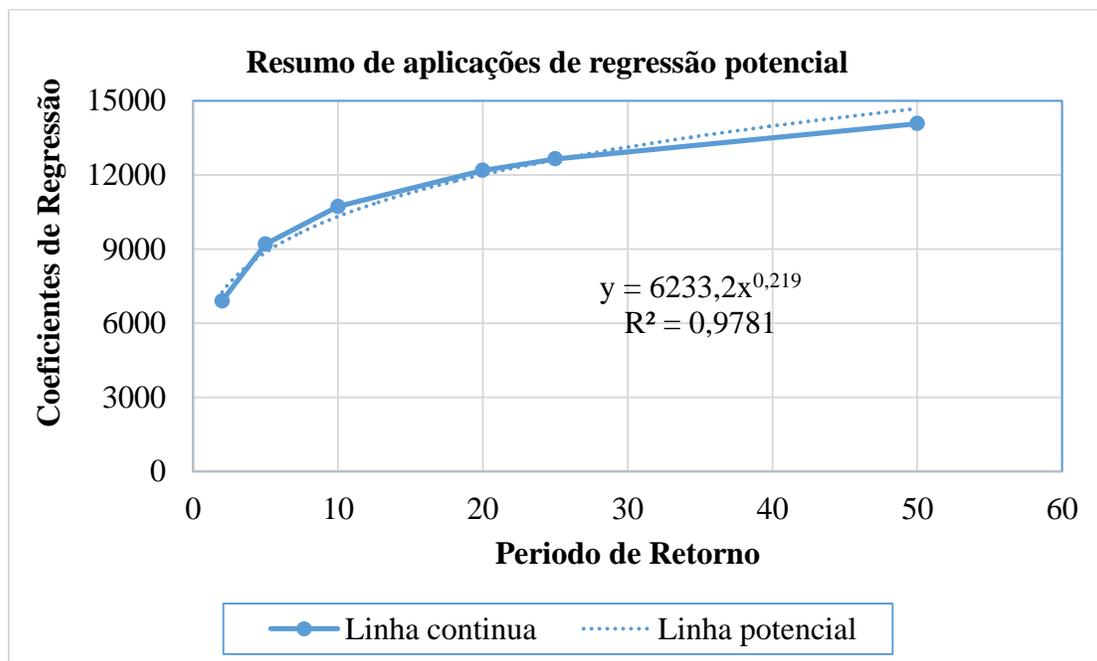


Gráfico 14. Apresentação dos coeficientes dos coeficientes de regressão mediante o seu período de retorno para posterior substituição na equação do município da Macia.

Resumo de aplicações de regressão potencial para o Município de Chókwè

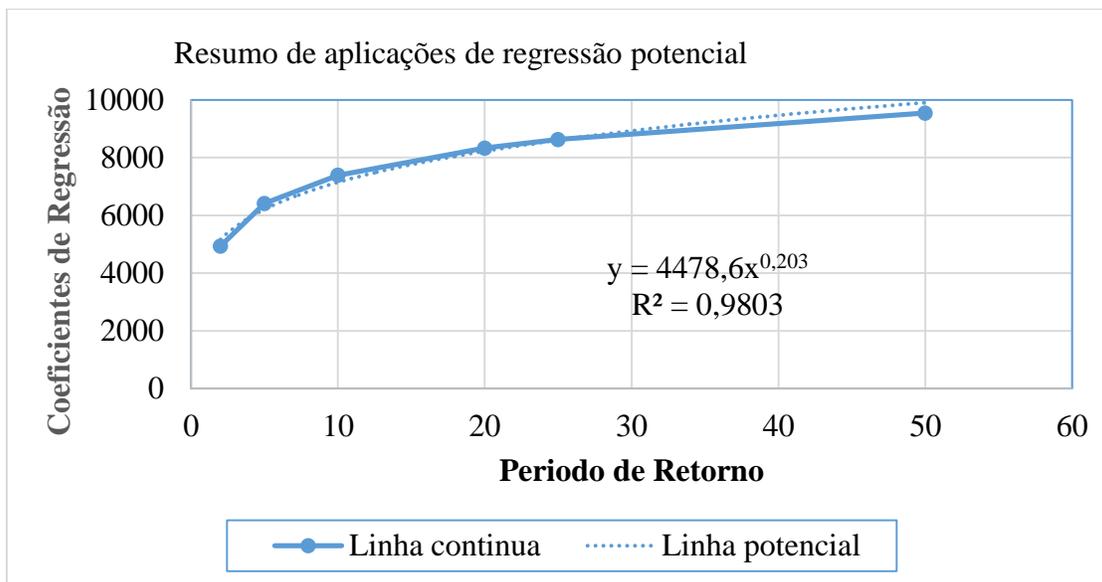


Gráfico 15. Apresentação dos coeficientes dos coeficientes de regressão mediante o seu período de retorno para posterior substituição na equação do município de Chókwè.

A partir da curva de regressão potencial, foi possível estimar as alturas pluviométricas máximas anuais para as de chuva de um dia mais prováveis para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25 e 50 anos e suas respectivas probabilidades de ocorrência.

Construído os (gráficos de regressão potencial 13, 14 e 15), mediante os coeficientes de regressão e o período de retorno, obteve-se os parâmetros necessários para a elaboração da equação IDF para os Municípios de Xai Xai, conforme a (equação 35).

$$I = \frac{K * Tr^m}{(t_d + b)^n} = \frac{6023.9 * Tr^{0.2046}}{(t_d + 12)^{0.789}} \quad \text{(Equação 35)}$$

A (equação 36) representa a equação geral município da Macia.

$$I = \frac{K * Tr^m}{(t_d + b)^n} = \frac{6233.2 * Tr^{0.219}}{(t_d + 12)^{0.789}} \quad \text{(Equação 36)}$$

A (equação 37) representa a equação geral do município de Chókwè.

$$I = \frac{K * Tr^m}{(t_d + b)^n} = \frac{4478.6 * Tr^{0.203}}{(t_d + 12)^{0.789}} \quad \text{(Equação 37)}$$

37)

4.10. Importância das equações I-D-F

As equações intensidade duração e frequência para os municípios de Xai – Xai, Macia e Chókwè irão servir basicamente para estimar os eventos extremos utilizados nos dimensionamentos de obras hidráulicas, principalmente nas obras voltadas na conservação do solo e água, redes de drenagem, justificados pela carência de informações sobre as chuvas intensas. Por sua vez as equações poderão auxiliar aos órgãos responsáveis pelo monitoramento de alertas de eventos relacionados a precipitações extremas, assim como servir de suporte para análises de problemas que surgem nas áreas urbanas frente a eventos meteorológicos.

4.11. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do Município de Xai-Xai

Olhando para os (gráficos 16, 17 e 18) das curvas intensidade duração e frequência, percebe-se que logicamente as durações de chuvas significam intensidades maiores. Tendo uma chuva com duração menor de 50 minutos a sua intensidade máxima em mm/h vai ser maior.

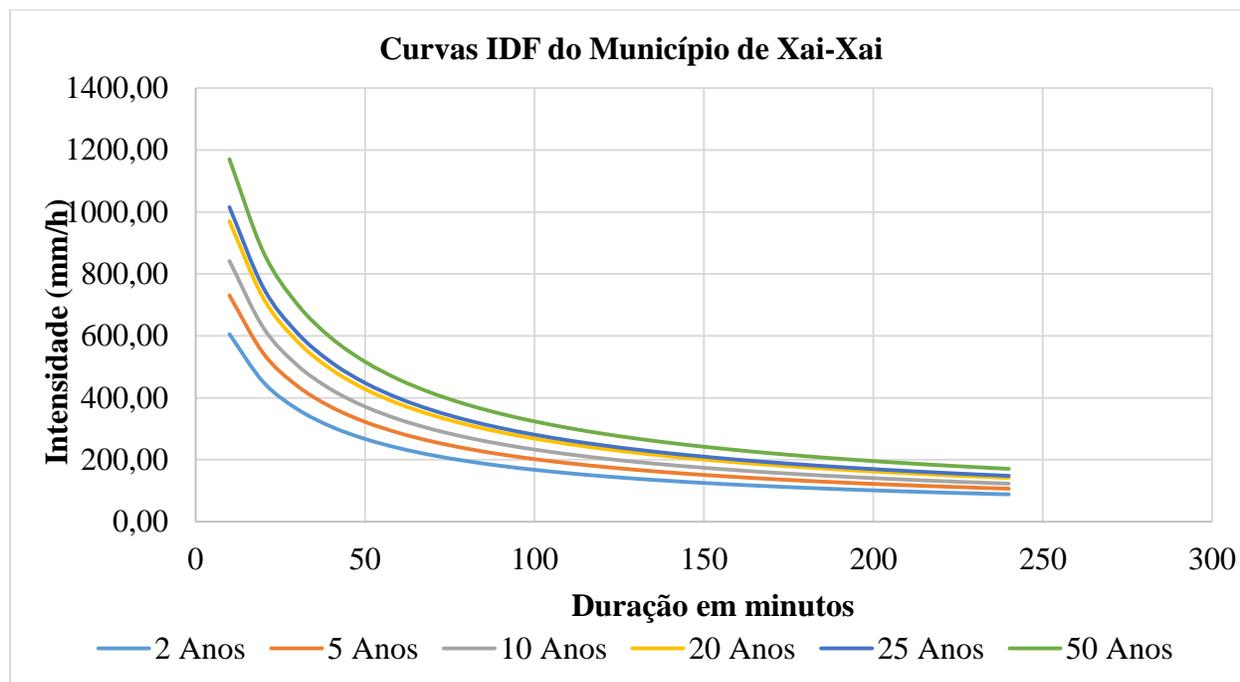


Gráfico 16. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do município de Xai-Xai.

Para as curvas do município de Xai-Xai, pode se observar que as curvas IDF gera dados com maiores intensidades para durações menores, em dois (2 anos) com uma duração de 10 minutos, espera-se uma intensidade máxima da chuva de 605.75 mm/hrs, para (5 anos) intensidade máxima de 730.66 mm/hrs, (10 anos) intensidade máxima de 841.99 mm/hrs, (20 anos) intensidade máxima de 970.28 mm/hrs, (25 anos) intensidade máxima de 1015.60 mm/hrs e (50 anos) com uma intensidade máxima de chuva de 1170 mm/hrs.

Para o caso de durações maiores em (2 anos) com uma duração de 240 minutos, espera-se uma intensidade mínima de 88.46mm/hrs, para (5 anos) intensidade de 106.70 mm/hrs, (10 anos) intensidade de 122.96mm/hrs, (20 anos) intensidade de 141.70mm/hrs, (25 anos) intensidades de 148.32mm/hrs e (50 anos) com intensidade mínima de 170.92 mm/hrs.

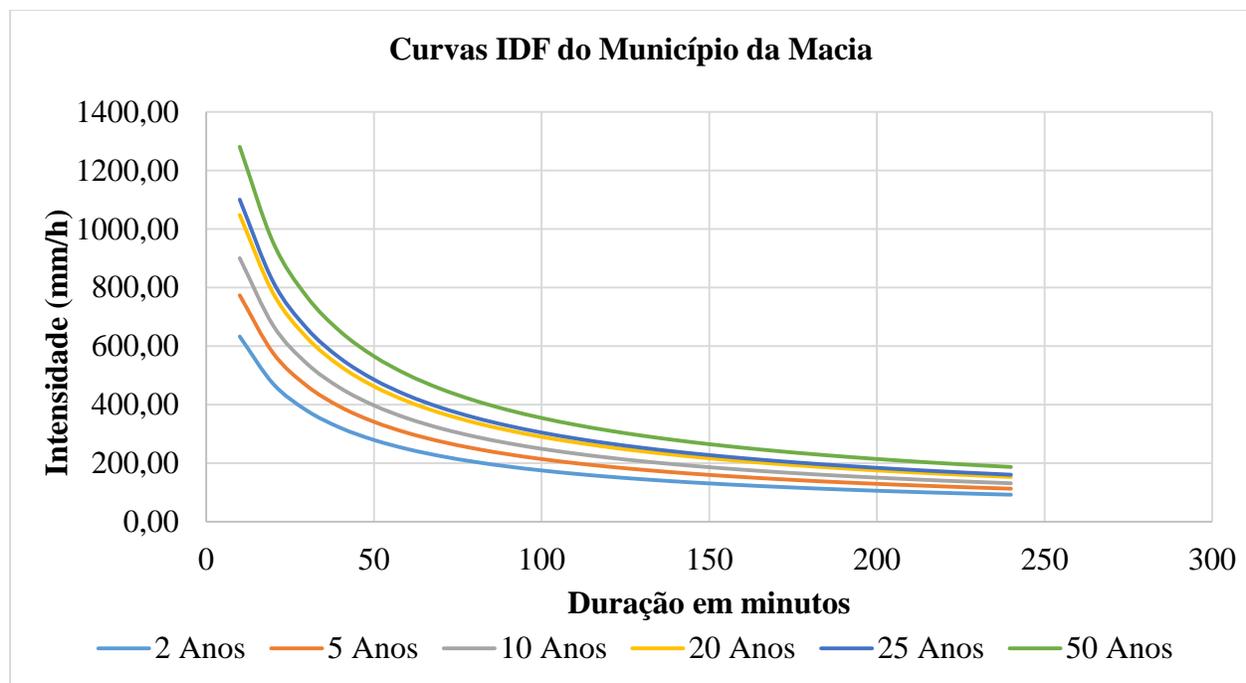


Gráfico 17. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do município da Macia.

Para as curvas do município da Macia, pode se observar que as curvas IDF gera dados com maiores intensidades para durações menores, em dois (2 anos) com uma duração de 10 minutos, espera-se uma intensidade máxima da chuva de 633.09 mm/hrs, para (5 anos) intensidade máxima de 773.77 mm/hrs, (10 anos) intensidade máxima de 900.62 mm/hrs, (20 anos) intensidade máxima de 1048.25 mm/hrs, (25 anos) intensidade máxima de 1100.75 mm/hrs e (50 anos) com uma intensidade máxima de chuva de 1281.19 mm/hrs.

Para o caso de durações maiores em (2 anos) com uma duração de 240 minutos, espera-se uma intensidade mínima de 92.42 mm/hrs, para (5 anos) intensidade de 113.00 mm/hrs, (10 anos) intensidade de 131.52 mm/hrs, (20 anos) intensidade de 153.08 mm/hrs, (25 anos) intensidades de 160.75 mm/hrs e (50 anos) com intensidade mínima de 187.10 mm/hrs.

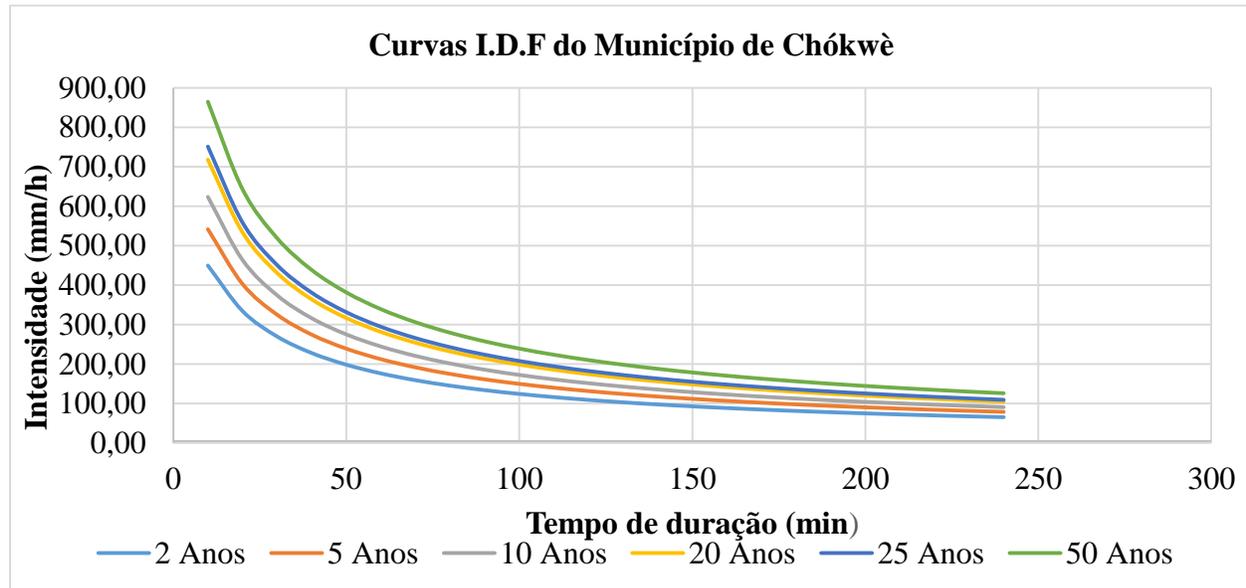


Gráfico 18. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do município de Chókwè.

Para as curvas do município de Chókwè, pode se observar que as curvas IDF gera dados com maiores intensidades para durações menores, em dois (2 anos) com uma duração de 10 minutos, espera-se uma intensidade máxima da chuva de 449.86 mm/hrs, para (5 anos) intensidade máxima de 541.83 mm/hrs, (10 anos) intensidade máxima de 623.69 mm/hrs, (20 anos) intensidade máxima de 717.93 mm/hrs, (25 anos) intensidade máxima de 751.19 mm/hrs e (50 anos) com uma intensidade máxima de chuva de 864.69 mm/hrs. Para o caso de durações maiores em (2 anos) com uma duração de 240 minutos, espera-se uma intensidade mínima de 65.70 mm/hrs, para (5 anos) intensidade de 79.13 mm/hrs, (10 anos) intensidade de 91.08 mm/hrs, (20 anos) intensidade de 104.84 mm/hrs, (25 anos) intensidades de 109.70 mm/hrs e (50 anos) com intensidade mínima de 126.28 mm/hrs.

Por tanto, conclui-se que a distribuição de Gumbel ajustou da melhor forma os valores extremos de precipitação máxima de 24h, apresentando resultados esperados, assim como os seus intervalos de confiança para períodos de retorno até 50 anos.

4.12. Cálculo da vazão máxima de enchentes do município de Chókwè

Tendo o valor da equação intensidade do município de Chókwè, valores da área de drenagem (AD) da bacia e do coeficiente de escoamento superficial (C), foi possível calcular o valor da vazão máxima pelo método racional, assemelhando-se com resultados de Nharreluga (2016) no dimensionamento de um simulador de barragem para irrigação no campo experimental do instituto superior politécnico de Gaza.

Município de Chókwè

$$I = \frac{4478.6 * Tr^{0.203}}{(t_d + 12)^{0.789}} = 66.99\text{mm/h}$$

$$Q_{\text{máx}} = k * C * i * AD$$

$$Q_{\text{máx}} = 0.1667 * 0.35 * \frac{66.99\text{mm}}{h} * 0.05\text{ha}$$

$$Q_{\text{máx}} = 0.20\text{m}^3/\text{s}$$

4.13. Aplicação das curvas intensidade duração e frequência

A caracterização das chuvas intensas é vista como imprescindível na solução de problemas em obras hidráulicas, no escoamento superficial das águas em áreas urbanas e rurais. Deste modo as precipitações máximas são percebidas como ocorrência extrema em durações, distribuição temporal e espacial, por tanto a necessidade das informações das precipitações é maior como em projetos hidráulicos diversos.

As curvas intensidade duração e frequência são aplicadas para estimar a erosão do solo, na determinação de vazões de projetos para pequenas e maiores bacias, assim como tem muita influencia sobre as infraestruturas da drenagem, canais, barragens e na construção civil, pois auxiliam nas tomadas de decisões no planejamento das atividades visto que as obras hidráulicas são projetadas incluindo o futuro no benefício da população.

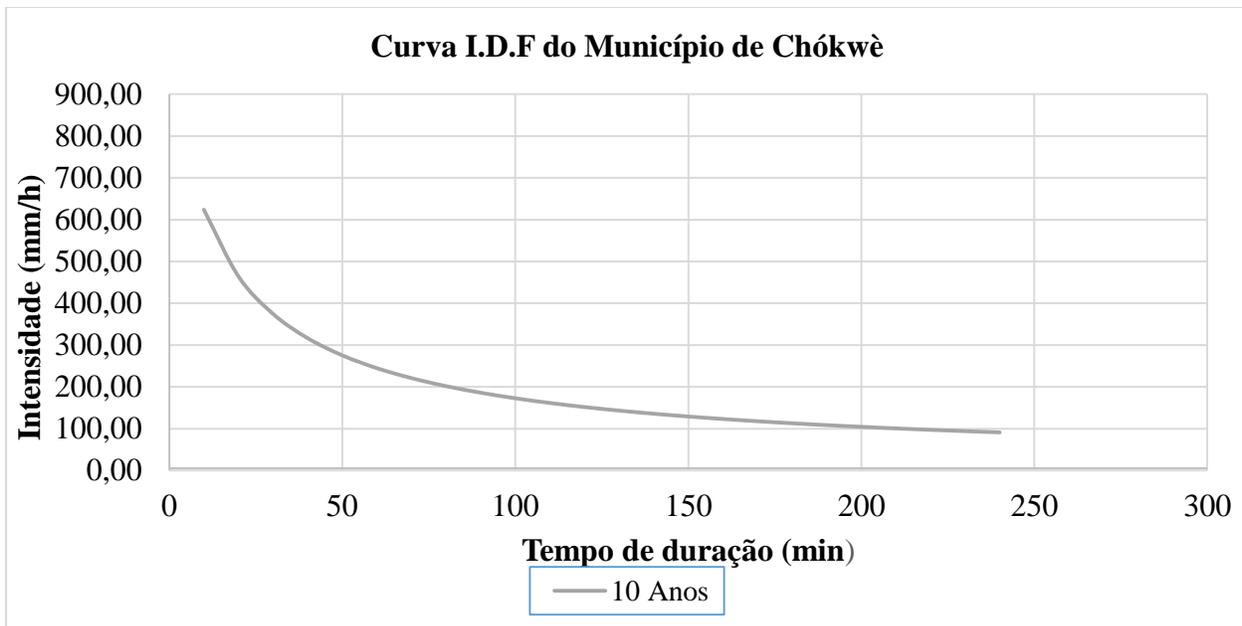


Gráfico 19. Obtenção da curva Intensidade Duração e Frequência do município de Chókwè referente a 10 anos de período de retorno.

De um modo geral no intervalo de 10 anos de período de retorno, o município de Chókwè poderá registrar um ano em que a precipitação irá atingir uma média acima de 600mm/h, tendo em conta que o tipo de solo apresenta morfologia plana e caracterizada por solos arenosos e argilosos granulosos, sabendo que vai receber uma vazão máxima de $0.20\text{m}^3/\text{s}$, haverá uma grande dificuldade para o escoamento da água necessitando de apoio de um canal capaz de escoar com facilidade as enchentes, e um armazenamento para o seu uso no tempo da seca. Evitando dessa forma cheias nos campos agrícolas assim como no seio das comunidades rurais.

5. CONCLUSÃO

A determinação das curvas intensidade duração e frequência dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè, visam atender as necessidades das obras hidráulicas que regem em Moçambique.

A análise estatística dos dados pluviométricos dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè revelou uma série histórica que possuem valores de precipitação das médias mensais, destacando-se os meses que possuíram falhas dos valores de precipitação diária preenchidas pelo método de regressão linear múltiplas, usando 3 estações com correlações mais altas e em casos particulares regressão linear simples.

Realizados os testes de aderência de distribuições de Gumbel (KS, X^2 e AD), resultou que o melhor teste satisfatório foi o Qui-Quadrado aceitando maior número de probabilidades das precipitações.

Mediante os coeficientes de desagregação das chuvas estabelecidos pela WMO (2009), obteve-se parâmetros das equações das chuvas intensas para o município de Xai-Xai tendo como resultado $K = 6023.9$, $m = 0.2046$, $b = 2$, $n = 0.789$, município da Macia $K = 6233.2$, $m = 0.219$, $b = 2$, $n = 0.789$ e o município de Chókwè $K = 4478.6$, $m = 0.203$, $b = 2$, $n = 0.789$.

Por tanto as equações Intensidade Duração e Frequência determinadas neste estudo poderão contribuir para o dimensionamento de projetos hidrológicos, obras para o aproveitamento de águas pluviais, prevenção de enchentes, bacias de detenção com várias finalidades dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè na Província de Gaza.

O objetivo principal do estudo foi atingido pela concepção das curvas apresentadas ao longo do trabalho, em que as intensidades pluviométricas foram desenvolvidas empregados ao modelo de Gumbel equivalentes a 1% de significância independentemente do período de retorno ou a sua duração.

Contudo as metodologias aplicadas no estudo para a determinação das relações de intensidade, duração e frequência das chuvas intensas para os municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè obtiveram um resultado satisfatório e podem ser aplicadas nas determinações das relações IDF dos restantes distritos da província de Gaza assim como para as restantes províncias de Moçambique.

6. RECOMENDAÇÕES

Mediante os resultados obtidos no estudo recomenda-se que:

- Se observe todas as estações pluviométricas existente nas províncias a nível nacional, de modo a obtermos registros reais dos eventos de precipitações atuais.
- Que se faça uma avaliação da rede pluviográfica, para posterior a determinação dos coeficientes regionais mediante a dados reais.
- Se observe que as curvas de Maputo utilizadas no país nas obras não são reais pois as precipitações registradas em cada região diferem uma da outra, levando assim a diminuição da qualidade e rápido desgaste das obras hidráulicas.

Recomendações para trabalhos futuros do mesmo género.

- Repetir as análises conduzidas no presente estudo para outros municípios assim como as restantes províncias;
- Avaliação da metodologia usada e equações desenvolvidas com registos de dados pluviométricos para outros níveis de significância;
- Avaliação os resultados e discussões produzidas por equações estabelecidas por outros métodos para a determinação das equações intensidade duração e frequência.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ALEXANDRE, G. R. (2009). *Estudo para identificação de tendências do regime pluvial na região metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos e modelos climáticos*.
- 2) ALMEIDA, K. N. (2015). *Avaliação do desempenho dos métodos expeditos de determinação de equações de intensidade-duração-frequência*. 75f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- 3) ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F. CRUZ, M. A. S.; (2013). Figueiredo E. E. e Srinivasan V. S. *Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.3, p.243–252.
- 4) BERTONI, J. C. & TUCCI, C. E. M. (2006), *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, ed 2. p.25-33.
- 5) BORSALO, F. H. & MARTONI, A.M. (s.a), *Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná*.
- 6) *Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.9, p.999-1005.
- 7) CALGARO, M. (2006). *Análise da variação espaço temporal dos parâmetros para a modelagem estocástica da precipitação pluvial diária no Rio Grande do Sul*. 127f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- 8) CAMPOS, A. R.; SILVA, J. B. L.; SANTOS, G. G.; RATKE, R. F.; AQUINO, I. O. (2017). *Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil*. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.47, n.1, p.15-21.
- 9) CARDOSO, C. O.; BERTOL, I.; SOCCOL, O. J.; SAMPAIO, C. A. P. (2014). *Generation of intensity duration frequency curves and intensity temporal variability pattern of intense rainfall for Lages/SC*. Brazilian Archives of Biology and Technology, v.57, n.2, p.274-283.
- 10) CARVALHO, D.F. & SILVA, L.D.B. (2006). *Hidrologia: capítulo 4*. Acesso em: 15 de Junho, 2020. 3:20pm.
- 11) CORREIA, A.P.A.; QUEIROZ, E. & TREVISAN, N. (2020) *Teste do Qui-Quadrado*, Bioestatística. Universidade Federal do Panamá, acesso em: 15 de Junho, 10:25pm.

- 12) Decreto nº 30/2003. “BR I Série”. 26 (01-07-2003) – *Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*, Moçambique.
- 13) DORNELES, V. R., (2017). *Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e Pluviométricos. Pelotas*: Dissertação (mestrado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.
- 14) FADHEL, S.; RICO-RAMIREZ, M. A., HAN, D. (2017). *Uncertainty of Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves due to varied climate baseline periods*. Journal of hydrology, v.547, p.600-612.
- 15) FERNANDEZ, M. N. (2007). *Preenchimento de falhas em séries temporais*. Rio Grande. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio Grande.
- 16) FRANCISCO, H.R. NICOL, S.J.B. PEREIRA, J.F.V. & SANTOS, D.M.G., (2013). *Análise das Relações I-D-F Para as Cidades da Beira e Tete à Luz do Decreto N° 30/2003, de 1 de Julho, Moçambique*.
- 17) FREITAS, E.S., (2016). *Determinação e Comparação de curvas Idf com dados Pluviógrafos E Pluviométricos na bacia Hidrográfica Experimental do Riacho Guaraira - PB*, trabalho de conclusão de curso em engenharia civil (universidade federal da paraíba).
- 18) GARCIA, S.S, AMORIM, R.S.S, COUTO, E.G & STOPA, W.H (2011). *Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado do Mato Grosso*, vol. 15, nº 6.
- 19) GUSSON, A. G.; MONTEIRO, C. R.; (2017). *Avaliação de Métodos para Determinação de Equações Parciais de chuvas de Intensidade Duração e Frequência – IDF para o Município de Bauru/SP no Período de 2003 a 2015*. Bauru. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado as Faculdades Integradas de Bauru para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil (TCC).
- 20) Hopkins, W.G. (2007). *Correlation Coefficient*. Disponível em <http://www.sportsci.orgg/resource/stats/correl.html>. acesso:12.(Circular Técnica, 2).
- 21) INAGE, (2017). *Geografia de Gaza*, portal do governo da província de gaza.
- 22) JUNIOR, A.R.B., (2013). *Precipitação*, Hidrologia Aplicada – CIV 226.

- 23) Monteiro, C. R. & Gusson, A. W. (2017). *Avaliação de métodos para determinação de equações parciais de chuva e curvas de intensidade duração e frequência-idf para o município de bauru/sp no período de 2003 a 2015*. Trabalho de conclusão de curso apresentado às Faculdades Integradas de Bauru para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
- 24) MORAES, D. S. de. L. & JORDÃO, B. Q. (2002). *Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana*. Revista de Saúde Pública. Corumbá, v. 36, n. 3, p. 370-374. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v36n3/10502>>. Acesso em: 27 de março. 2021.
- 25) SANTOS, D. P. dos. (2014). *Mitigação do Impacto das Alterações Climáticas na Drenagem Urbana*. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na Especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- 26) TEODORO, P. E., NEIVOCK, M. P., MARQUES, J. R. F., FLORES, A. M. F., & BRAGA, C., (2014). *Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana/MS*. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, n. 2.
- 27) TUCCI, C. E. M. (2000). *Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 61-68.
- 28) PAVIONE, D. M. S. (2010). *Análise de Incertezas e de Sensibilidade e Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico Aplicadas ao Dimensionamento de Lagoas de Polimento e a Utilização de Efluentes Para Irrigação Minas Gerais – Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.
- 29) PEREIRA, D.C., DUARTE, L.R., & SARMENTO, A.P., (2017). *Determinação da Curva de Intensidade, Duração e Frequência do Município de Ipameri – Goiás*: Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol 13 - nº 2.
- 30) Programme, W.F. *Moçambique: Análise do Clima*. Disponível em: https://fscluster.org/sites/default/files/documents/mozclimateanalysisl_pt.pdf
- 31) RODRIGUES, V. A. (2008). *Redistribuição da precipitação em seringueira*. Irriga. Botucatu, v. 13, n. 4, p. 566-575, out/dez.

- 32) SOUZA, R. O. R. DE M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M. DO; NETO, J. A. P.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R., (2012). *Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. Revista.*
- 33) VAZ, A. C., (2006). *Alguns problemas em projectos de drenagem pluvial em Moçambique.* Simpósio de Edifícios e Infraestruturas Urbanas. Ordem dos Engenheiros de Moçambique. Maputo.
- 34) WMO-Nº 168 – *Guide to Hydrological Practices. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices* [Em linha]. Vol. II. 6th edition, 2009. [Consult. 02/01/2013]. Disponível na internet: <URL:ftp://ftp.wmo.int/Documents/MediaPublic/Publications/Guide_to_Hydrological_Practices_WMO_No_168/WMOEN G_v6_volII.pdf>. ISBN 978-92-63-10168-6.
- 35) ZHAO, L.; XIA, J.; SOBKOWIAK, L.; WANG, Z.; GUO, F. (2012). *Spatial Pattern Characterization and Multivariate Hydrological Frequency Analysis of Extreme Precipitation in the Pearl River Basin*, China. *Water Resources Management*. v.26, n.12, p.3619-3637.

8. ANEXOS

Anexo 1. Dados das precipitações mensais: valores hidrológicos anuais completos mediante suas respectivas precipitações máximas mensais anuais do município de Xai-Xai.

Ano hidrológico	Precipitação Máxima mensal anual (mm)	Ano hidrológico	Precipitação Máxima mensal anual (mm)	Ano hidrológico	Precipitação Máxima mensal anual (mm)
1965	116.60	1981	299.80	1997	163.80
1966	290.40	1982	82.70	1998	211.40
1967	487.00	1983	294.80	1999	401.10
1968	124.90	1984	221.60	2000	567.80
1969	274.80	1985	224.00	2001	329.70
1970	74.10	1986	138.80	2002	143.70
1971	179.70	1987	135.20	2003	237.00
1972	529.50	1988	135.20	2004	175.30
1973	228.90	1989	246.70	2005	298.50
1974	249.00	1990	243.80	2006	422.10
1975	332.00	1991	191.70	2007	197.90
1976	386.50	1992	326.50	2008	142.20
1977	340.90	1993	300.30	2009	125.50
1978	303.40	1994	253.40	2010	207.40
1979	145.60	1995	149.60	2011	429.00
1980	130.60	1996	221.30	2012	254.90

Anexo 2. Dados das precipitações mensais: valores hidrológicos anuais completos mediante suas respectivas precipitações máximas mensais anuais do município de Macia.

Ano hidrológico	Precipitação Máxima mensal anual (mm)	Ano hidrológico	Precipitação Máxima mensal anual (mm)	Ano hidrológico	Precipitação Máxima mensal anual (mm)
1965	127.70	1981	236.00	1997	249.50
1966	424.00	1982	96.80	1998	215.30
1967	473.20	1983	213.04	1999	340.30
1968	250.80	1984	266.98	2000	273.00
1969	180.60	1985	227.16	2001	322.40
1970	140.00	1986	100.44	2002	110.60
1971	148.40	1987	105.46	2003	255.90
1972	483.00	1988	129.80	2004	252.10
1973	274.00	1989	163.80	2005	189.50
1974	378.40	1990	308.40	2006	275.80
1975	254.30	1991	183.40	2007	241.50
1976	790.30	1992	266.36	2008	136.40
1977	482.50	1993	215.20	2009	139.20
1978	349.50	1994	177.00	2010	338.20
1979	119.53	1995	172.50	2011	398.20
1980	102.77	1996	280.90	2012	160.75

Anexo 3. Dados das precipitações mensais: valores hidrológicos anuais completos mediante suas respectivas precipitações máximas mensais anuais do município de Chókwè.

Ano hidrológico	Precipitação Máxima mensal anual (mm)	Ano hidrológico	Precipitação Máxima mensal anual (mm)	Ano hidrológico	Precipitação Máxima mensal anual (mm)
1965	231.10	1981	167.10	1997	141.80
1966	332.10	1982	101.50	1998	305.70
1967	419.60	1983	117.50	1999	201.60
1968	99.90	1984	188.10	2000	288.50
1969	219.90	1985	188.10	2001	254.80
1970	41.60	1986	101.10	2002	89.50
1971	270.40	1987	74.70	2003	134.60
1972	260.60	1988	53.10	2004	281.50
1973	186.20	1989	199.20	2005	91.10
1974	117.80	1990	205.50	2006	281.60
1975	203.20	1991	120.40	2007	151.80
1976	294.20	1992	179.10	2008	88.20
1977	255.30	1993	138.40	2009	134.40
1978	220.80	1994	86.80	2010	291.30
1979	124.70	1995	109.90	2011	264.80
1980	120.80	1996	247.80	2012	247.70

Anexo 4. Para o município de Xai-Xai, obteve os resultados das simulações de médias mensais de precipitação máxima por meio de técnicas de Regressão Linear Simples dada pelas equações $Xai-Xai = 38.696 + 0.4957 * Bilene$; Regressão Linear Múltipla $Xai-Xai = 26.323215 + 0.22662 * Bilene + 0.36242 * Changane + 0.23955 * Chibuto - 0.32379 * Chókwè + 0.28551 * Macia$; Média de três estações $Xai-Xai = Bilene + Manjacaze + Changane/3$; Ponderação Regional $Xai-Xai = 0.333333*(Changane/105.8 + Chibuto/115.9 + Macia/199.7) * 161.4$

Precipitações Mensal em (mm)			Regressão Linear Simples			Regressão Linear Múltipla			Média de três Estações			Ponderação Regional		
Ano	Meses	Xai-Xai Dado Real	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %
1971	Nov	37.30	54.71	17.41	46.67	66.40	29.10	78.02	29.13	8.17	21.89	48.93	11.63	31.17
1971	Dez	91.70	68.69	23.01	25.10	101.61	9.91	10.81	91.93	0.23	0.25	137.94	46.24	50.42
1972	Jan	270.10	188.55	81.55	30.19	241.40	28.70	10.63	209.43	60.67	22.46	218.77	51.33	19.01
1972	Fev	332.00	198.26	133.74	40.28	312.04	19.96	6.01	313.17	18.83	5.67	428.56	96.56	29.09
1972	Mar	167.50	124.20	43.30	25.85	115.09	52.41	31.29	98.90	68.60	40.96	94.21	73.29	43.76
1972	Mai	529.50	226.81	302.69	57.16	309.59	219.91	41.53	248.63	280.87	53.04	318.22	211.28	39.90
1972	Jul	15.80	45.73	29.93	189.46	34.78	18.98	120.12	11.30	4.50	28.48	16.71	0.91	5.77
1973	Fev	228.90	136.84	92.06	40.22	200.82	28.08	12.27	144.63	84.27	36.81	196.20	32.70	14.29
1973	Mar	73.30	105.91	32.61	44.49	123.02	49.72	67.83	64.17	9.13	12.46	73.50	0.20	0.27
1973	Abr	216.70	232.02	15.32	7.07	232.67	15.97	7.37	188.60	28.10	12.97	165.15	51.55	23.79
1973	Jun	75.50	81.72	6.22	8.24	62.98	12.52	16.58	37.43	38.07	50.42	22.25	53.25	70.54
1973	Jul	98.70	88.41	10.29	10.42	85.85	12.85	13.02	52.60	46.10	46.71	52.38	46.32	46.93

Determinação das curvas intensidade, duração e frequência dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè – Província de Gaza

1973	Set	45.00	119.25	74.25	164.99	106.81	61.81	137.36	70.77	25.77	57.26	65.39	20.39	45.30
1973	Out	51.90	54.46	2.56	4.93	58.18	6.28	12.10	37.60	14.30	27.55	49.82	2.08	4.00
1973	Dez	133.00	127.53	5.47	4.12	113.26	19.74	14.85	147.13	14.13	10.63	161.29	28.29	21.27
1974	Jan	96.80	177.64	80.84	83.51	221.19	124.39	128.50	138.90	42.10	43.49	144.14	47.34	48.90
1974	Fev	174.10	179.47	5.37	3.09	267.56	93.46	53.68	205.40	31.30	17.98	274.20	100.10	57.50
1974	Mar	125.60	118.01	7.59	6.04	126.67	1.07	0.85	102.20	23.40	18.63	110.43	15.17	12.08
1974	Mai	163.50	93.47	70.03	42.83	117.15	46.35	28.35	74.27	89.23	54.58	89.04	74.46	45.54
1975	Nov	63.80	53.52	10.28	16.12	82.40	18.60	29.15	83.13	19.33	30.30	138.79	74.99	117.53
1975	Dez	332.00	139.52	192.48	57.98	263.25	68.75	20.71	296.83	35.17	10.59	419.73	87.73	26.42
1976	Jan	386.50	399.76	13.26	3.43	456.07	69.57	18.00	428.20	41.70	10.79	502.04	115.54	29.89
1976	Fev	60.50	104.87	44.37	73.34	116.69	56.19	92.88	83.60	23.10	38.18	112.95	52.45	86.70
1976	Mar	240.30	195.19	45.11	18.77	188.71	51.59	21.47	185.33	54.97	22.87	169.20	71.10	29.59
1976	Abr	77.70	98.43	20.73	26.68	130.97	53.27	68.55	96.87	19.17	24.67	114.41	36.71	47.24
1976	Mai	108.80	136.70	27.90	25.64	149.88	41.08	37.76	153.00	44.20	40.63	185.58	76.78	70.57
Somatório dos erros				1388.38	1056.63		1210.26	1079.67		1125.40	740.28		1478.41	1017.48

Anexo 5. Para o município da Macia, obteve os resultados das simulações de médias mensais de precipitação máxima por meio de técnicas de Regressão Linear Simples dada pelas equações $Macia = 12.221 + 0.8083 * Xai-Xai$; Regressão Linear Múltipla $Macia = -10.6787 + 0.51809 * Bilene -0.07761 * Changane -0.05951 * Chibuto + 0.7184 * Chókwè + 0.27189 * Xai-Xai$; Média de três estações $Macia = Xai-Xai + Maniquenique + Bilene/3$; Ponderação Regional $Macia = 0.333333*(Chibuto/115.9 + Chókwè /90.6 + Xai-Xai /161.4) * 199.7$

Precipitações Mensal em (mm)			Regressão Linear Simples			Regressão Linear Múltipla			Média de três Estações			Ponderação Regional		
Ano	Meses	Macia Dado Real	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %
1971	Nov	74.5	33.56	40.94	54.95	44.05	30.45	40.87	31.53	42.97	57.67	44.22	30.28	40.64
1971	Dez	102	72.39	29.61	29.03	91.28	10.72	10.51	83.23	18.77	18.4	105.39	3.39	3.32
1972	Jan	190.7	107.64	83.06	43.56	160.23	30.47	15.98	271.23	80.53	42.23	127.8	62.9	32.98
1972	Fev	422.6	199.15	223.45	52.88	331.89	90.71	21.46	298.47	124.13	29.37	267	155.6	36.82
1972	Mar	111.8	53.31	58.49	52.32	74.41	37.39	33.45	165.9	54.1	48.39	90.8	21	18.78
1972	Mai	483	151.02	331.98	68.73	289.63	193.37	40.04	370.43	112.57	23.31	284.47	198.53	41.1
1972	Jul	24.7	19.51	5.19	21.01	11.49	13.21	53.46	14.27	10.43	42.24	13.81	10.89	44.08
1973	Fev	274	97.8	176.2	64.31	193.25	80.75	29.47	154.2	119.8	43.72	135.9	138.1	50.4
1973	Mar	159.9	44.28	115.62	72.31	84.04	75.86	47.44	129.93	29.97	18.74	93.69	66.21	41.41
1973	Abr	273.6	84.25	189.35	69.21	156.63	116.97	42.75	220.57	53.03	19.38	164.62	108.98	39.83

Determinação das curvas intensidade, duração e frequência dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè – Província de Gaza

1973	Jun	33.6	21.92	11.68	34.75	15.43	18.17	54.06	73.27	39.67	118.06	22.02	11.58	34.46
1973	Jul	82.6	35.07	47.53	57.54	44.91	37.69	45.63	72.47	10.13	12.27	51.61	30.99	37.52
1973	Set	145.2	40.74	104.46	71.94	81.42	63.78	43.92	71.3	73.9	50.9	57.14	88.06	60.65
1973	Out	29.2	33.95	4.75	16.27	25.24	3.96	13.58	45.87	16.67	57.08	28.52	0.68	2.33
1973	Dez	99.3	82.57	16.73	16.85	86.32	12.98	13.07	137.63	38.33	38.6	170.3	71	71.5
1974	Jan	260.9	75.09	185.81	71.22	158.14	102.76	39.39	220.07	40.83	15.65	141.65	119.25	45.71
1974	Fev	378.4	131.82	246.58	65.16	248.94	129.46	34.21	234	144.4	38.16	223.14	155.26	41.03
1974	Mar	130.5	60.39	70.11	53.73	84.02	46.48	35.62	121.33	9.17	7.02	89.02	41.48	31.79
1974	Mai	116.8	51.06	65.74	56.29	70.47	46.33	39.67	127.2	10.4	8.9	85.22	31.58	27.04
1975	Nov	97	72.76	24.24	24.99	86.98	10.02	10.33	53.33	43.67	45.02	106.88	9.88	10.18
1975	Dez	254.3	195.29	59.01	23.2	233.82	20.48	8.05	261.9	7.6	2.99	259.71	5.41	2.13
1976	Jan	790.3	231.2	559.1	70.75	488.61	301.69	38.17	478.93	311.37	39.4	393.9	396.4	50.16
1976	Fev	188.8	61.49	127.31	67.43	118.97	69.83	36.99	96.6	92.2	48.83	83.63	105.17	55.7
1976	Mar	169.1	86.02	83.08	49.13	113.15	55.95	33.09	219.87	50.77	30.02	128.59	40.51	23.96
1976	Abr	101.7	62.12	39.58	38.92	76.73	24.97	24.55	95.4	6.3	6.19	91.44	10.26	10.09
1976	Mai	197.5	93.17	104.33	52.83	141.45	56.05	28.38	133.4	64.1	32.46	117.01	80.49	40.75
Somatório dos erros				3003.95	1299.3		1680.51	834.16		1605.8	895.01		1993.87	894.37

Anexo 6. Para o município de Chókwè, obteve os resultados das simulações de médias mensais de precipitação máxima por meio de técnicas de Regressão Linear Simples dada pelas equações Chókwè = 6.3714 + 0.5384 * Macia; Regressão Linear Múltipla Chókwè = 7.55654 - 0.05402 * Bilene + 0.29264 * Changane + 0.26053 * Chibuto + 0.26574 * Macia - 0.11405 * Xai-Xai; Média de três estações Chókwè = Macia + Manjacaze + Changane/3 e Ponderação regional Chókwè = 0.333333 * (Macia/199.7 + Manjacaze/111.4 + Changane/105.8) * 90.6

Precipitações Mensal em (mm)			Regressão Linear Simples			Regressão Linear Múltipla			Média de três Estações			Ponderação Regional		
Ano	Meses	Chókwè Dado Real	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %	Dado Previsto	Erro Médio	Erro %
1971	Nov	23.50	46.48	22.98	97.80	15.32	15.32	65.17	43.20	19.70	83.83	26.40	2.90	12.34
1971	Dez	103.90	61.29	42.61	41.01	22.82	22.82	21.96	105.77	1.87	1.80	74.43	29.47	28.36
1972	Jan	111.70	109.04	2.66	2.38	21.69	21.69	19.42	172.23	60.53	54.19	118.05	6.35	5.68
1972	Fev	260.60	233.90	26.70	10.25	28.90	28.90	11.09	346.73	86.13	33.05	231.26	29.34	11.26
1972	Mar	122.20	66.56	55.64	45.53	57.40	57.40	46.97	78.67	43.53	35.62	50.84	71.36	58.40
1972	Mai	123.10	266.42	143.32	116.42	27.32	27.32	22.19	283.13	160.03	130.00	171.72	48.62	39.49
1972	Jul	13.90	19.67	5.77	41.51	0.02	0.02	0.12	14.80	0.90	6.47	9.02	4.88	35.12
1973	Fev	181.90	153.89	28.01	15.40	30.68	30.68	16.86	169.97	11.93	6.56	105.87	76.03	41.80
1973	Mar	18.50	92.46	73.96	399.79	41.52	41.52	224.44	72.27	53.77	290.63	39.66	21.16	114.39
1973	Abr	53.80	153.68	99.88	185.65	34.94	34.94	64.94	149.80	96.00	178.44	89.12	35.32	65.64
1973	Jun	11.00	24.46	13.46	122.38	2.97	2.97	26.97	19.70	8.70	79.09	12.00	1.00	9.13

Determinação das curvas intensidade, duração e frequência dos municípios de Xai-Xai, Macia e Chókwè – Província de Gaza

1973	Jul	19.70	50.84	31.14	158.09	11.06	11.06	56.13	46.70	27.00	137.06	28.27	8.57	43.49
1973	Set	60.80	84.55	23.75	39.06	6.28	6.28	10.33	65.00	4.20	6.91	35.28	25.52	41.97
1973	Out	21.10	22.09	0.99	4.70	6.07	6.07	28.75	36.73	15.63	74.09	26.89	5.79	27.42
1973	Dez	186.20	59.83	126.37	67.87	106.97	106.97	57.45	120.50	65.70	35.28	87.04	99.16	53.26
1974	Jan	63.80	146.84	83.04	130.16	58.66	58.66	91.95	132.43	68.63	107.58	77.78	13.98	21.91
1974	Fev	117.80	210.10	92.30	78.35	54.17	54.17	45.98	236.87	119.07	101.08	147.96	30.16	25.61
1974	Mar	39.20	76.63	37.43	95.49	16.44	16.44	41.95	92.37	53.17	135.63	59.59	20.39	52.01
1974	Mai	18.70	69.26	50.56	270.36	32.73	32.73	175.04	76.37	57.67	308.38	48.05	29.35	156.93
1975	Nov	103.30	58.60	44.70	43.28	31.24	31.24	30.24	105.50	2.20	2.13	74.89	28.41	27.50
1975	Dez	106.30	143.29	36.99	34.79	50.09	50.09	47.12	313.80	207.50	195.20	226.49	120.19	113.07
1976	Jan	294.20	431.87	137.67	46.79	40.88	40.88	13.90	448.83	154.63	52.56	270.91	23.29	7.92
1976	Fev	130.50	108.02	22.48	17.23	42.17	42.17	32.32	102.03	28.47	21.81	60.95	69.55	53.29
1976	Mar	49.80	97.41	47.61	95.61	9.42	9.42	18.91	136.47	86.67	174.03	91.30	41.50	83.34
1976	Abr	20.90	61.13	40.23	192.47	50.13	50.13	239.86	90.60	69.70	333.49	61.74	40.84	195.39
1976	Mai	100.40	112.71	12.31	12.26	11.80	11.80	11.75	152.93	52.53	52.32	100.14	0.26	0.26
Somatório dos erros				1302.55	2364.61		811.68	1421.82		1555.87	2637.24		883.38	1324.97

Anexo 7. Apresentação dos dados em durações e frequências diferentes para o município de Xai-Xai.

Intensidade, Duração e Frequência						
Duração t (min)	Frequência (T Anos)					
	2 Anos	5 Anos	10 Anos	20 Anos	25 Anos	50 Anos
10	605.75	730.66	841.99	970.28	1015.60	1170.35
20	450.72	543.66	626.49	721.95	755.67	870.81
30	363.68	438.68	505.52	582.54	609.75	702.66
40	307.29	370.65	427.12	492.20	515.19	593.69
50	267.47	322.62	371.78	428.42	448.43	516.76
60	237.70	286.72	330.40	380.74	398.53	459.25
70	214.52	258.75	298.18	343.61	359.66	414.47
80	195.90	236.30	272.30	313.79	328.45	378.49
90	180.59	217.82	251.01	289.26	302.77	348.90
100	167.74	202.33	233.16	268.68	281.23	324.08
110	156.79	189.13	217.94	251.15	262.88	302.93
120	147.35	177.73	204.81	236.01	247.04	284.68
130	139.10	167.78	193.34	222.80	233.21	268.74
140	131.82	159.01	183.23	211.15	221.01	254.69
150	125.36	151.21	174.25	200.80	210.18	242.20
160	119.57	144.23	166.21	191.53	200.48	231.02
170	114.36	137.94	158.96	183.18	191.73	220.95
180	109.63	132.24	152.39	175.61	183.81	211.82
190	105.33	127.05	146.40	168.71	176.59	203.50
200	101.39	122.29	140.93	162.40	169.99	195.89
210	97.77	117.93	135.90	156.60	163.92	188.89
220	94.43	113.90	131.25	151.25	158.32	182.44
230	91.34	110.17	126.95	146.30	153.13	176.46
240	88.46	106.70	122.96	141.70	148.32	170.92

Anexo 8. Apresentação dos dados em durações e frequências diferentes para o município da Macia.

Tabela de Intensidade, tempo e duração						
Duração t (min)	Frequência (T Anos)					
	2 Anos	5 Anos	10 Anos	20 Anos	25 Anos	50 Anos
10	633.09	773.77	900.62	1048.25	1100.75	1281.19
20	471.06	575.73	670.11	779.96	819.02	953.28
30	380.10	464.56	540.71	629.35	660.87	769.20
40	321.15	392.52	456.86	531.75	558.38	649.92
50	279.54	341.66	397.66	462.85	486.03	565.70
60	248.43	303.63	353.41	411.34	431.94	502.75
70	224.20	274.02	318.94	371.23	389.82	453.72
80	204.74	250.24	291.26	339.01	355.98	414.34
90	188.73	230.67	268.49	312.50	328.15	381.94
100	175.31	214.27	249.39	290.27	304.81	354.77
110	163.87	200.28	233.12	271.33	284.92	331.63
120	153.99	188.21	219.07	254.98	267.75	311.64
130	145.37	177.68	206.80	240.70	252.76	294.19
140	137.77	168.39	195.99	228.12	239.54	278.81
150	131.02	160.13	186.38	216.93	227.80	265.14
160	124.97	152.74	177.78	206.92	217.28	252.90
170	119.52	146.08	170.03	197.90	207.81	241.87
180	114.58	140.04	163.00	189.72	199.22	231.88
190	110.08	134.54	156.60	182.27	191.40	222.77
200	105.96	129.51	150.74	175.45	184.24	214.44
210	102.18	124.89	145.36	169.19	177.66	206.78
220	98.69	120.62	140.39	163.41	171.59	199.72
230	95.46	116.67	135.79	158.05	165.97	193.18
240	92.46	113.00	131.52	153.08	160.75	187.10

Anexo 9. Apresentação dos dados em durações e frequências diferentes para o município de Chókwè.

Tabela de Intensidade, tempo e duração						
Duração t (min)	Frequência (T Anos)					
	2 Anos	5 Anos	10 Anos	20 Anos	25 Anos	50 Anos
10	449.86	541.83	623.69	717.93	751.19	864.69
20	334.72	403.15	464.07	534.18	558.93	643.38
30	270.09	325.30	374.45	431.03	451.00	519.15
40	228.20	274.86	316.38	364.19	381.06	438.64
50	198.63	239.24	275.39	317.00	331.69	381.80
60	176.53	212.62	244.74	281.72	294.77	339.31
70	159.31	191.88	220.87	254.24	266.03	306.22
80	145.49	175.23	201.70	232.18	242.94	279.64
90	134.11	161.53	185.93	214.03	223.94	257.78
100	124.57	150.04	172.71	198.80	208.01	239.44
110	116.44	140.25	161.44	185.83	194.44	223.82
120	109.43	131.80	151.71	174.63	182.72	210.33
130	103.30	124.42	143.21	164.85	172.49	198.55
140	97.90	117.91	135.73	156.23	163.47	188.17
150	93.10	112.13	129.07	148.57	155.46	178.95
160	88.80	106.96	123.11	141.72	148.28	170.69
170	84.93	102.29	117.75	135.54	141.82	163.24
180	81.42	98.06	112.88	129.94	135.96	156.50
190	78.22	94.21	108.45	124.83	130.62	150.35
200	75.30	90.69	104.39	120.16	125.73	144.73
210	72.61	87.45	100.66	115.87	121.24	139.56
220	70.13	84.46	97.22	111.91	117.10	134.79
230	67.83	81.70	94.04	108.25	113.26	130.38
240	65.70	79.13	91.08	104.84	109.70	126.28