



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA NA ANÁLISE HIDROLÓGICA DE
SUPERFÍCIE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LÚRIO**

DOMINGOS MANUEL MATOS

Maputo
2025

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA NA ANÁLISE HIDROLÓGICA DE
SUPERFÍCIE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LÚRIO**

DOMINGOS MANUEL MATOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável da Universidade Eduardo Mondlane, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. Doutor Alberto Chicafo Mulenga

Co-Orientador: Eng.º John Abudo Gouvindo

Maputo
2025

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA NA ANÁLISE HIDROLÓGICA DE
SUPERFÍCIE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LÚRIO

DOMINGOS MANUEL MATOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável da Universidade Eduardo Mondlane, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável.

Aprovado em _____ de _____ de 2025, por:

Prof. Doutor João José Lobo
(Arguente - INAHINA/InOM)

Prof. Doutor Adelino Martins
(Presidente - DMI- UEM)

Prof. Doutor Alberto Chicafo Mulenga
(Orientador – DMI-UEM)

Eng.º John Abudo Gouvindo
(Co-Orientador – ARA-Norte, IP)

Maputo

Junho/2025

Dedicatória

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de turma e aos meus queridos pais.

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que, este trabalho, è resultado do meu estágio e que o processo foi concebido para ser submetido apenas para a obtenção do grau de mestrado em sistema de informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável, na faculdade de ciência da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Junho de 2025

(Domingos Manuel Matos)

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que tornaram possível a realização deste trabalho desejo expressar o meu mais profundo agradecimento.

Agradecer a direcção da Administração Regional da Água do Norte, representada pelo seu Director Carlito Omar, em aceitar o meu pedido de estágio nesta entidade.

Agradeço ao Senhor Eng.º John Abudo Gouvindo pelas orientações dadas durante o estágio.

Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Doutor Alberto Chicafo Mulenga que muito contribuiu para que mais um desejo meu fosse cumprido, pela motivação, disponibilidade, empenho e dedicação, agradeço a orientação e coordenação, o interesse permanente, os quais contribuíram e muito para enriquecer o meu nível de conhecimento e cumprir, passo por passo, todas as etapas subjacentes ao trabalho realizado neste projecto de estágio.

Agradeço, a alguns colegas de trabalho pela disponibilidade e grande generosidade ao longo deste estágio.

Por fim um agradecimento muito especial ao meu filho, a todos os meus familiares e amigos, professores e colegas de curso, que tanto me motivaram, principalmente nas alturas em que precisava de força e motivação, para continuar e não desistir.

Epígrafe

Se todas as coisas forem iguais, a solução mais simples tende a ser a melhor.
(William de Ockham, 1347)

RESUMO

Com as mudanças climáticas e desenvolvimento económico e industrial, acompanhado do crescimento populacional e melhoria da qualidade de vida das populações, surge a preocupação em relação ao défice de água, porque a demanda de água excedeu a capacidade de abastecimento. Assim, este estudo tem como objectivo analisar o comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do rio Lúrio. Para o estudo, foram usados dados de precipitações das estações pluviométricas nomeadamente as estações de Namapa e Nuite, situadas ao longo da área da bacia hidrográfica do rio Lúrio. Para o processamento e análise dos dados foram usadas as técnicas de sistemas de informação geográfica. Os resultados mostram que a precipitação na área da bacia é bastante irregular, apresentando uma sazonalidade climática, com dois períodos característicos, o período chuvoso de Outubro a Março e o período de estiagem de Abril a Setembro. As diferentes características físicas mostraram que a área de drenagem da bacia é de 61.119,206 km², o perímetro é de 1.679,222 km, o coeficiente de compacidade é de 1,9, o factor de forma é de 0,23, o índice de circularidade é de 0,27, a densidade de drenagem é de 0,12 km/km². A hierarquia dos cursos de água é de 4ª ordem, a amplitude hipsométrica foi de 2.080 m, com cota maior de 2.100 m e menor de 20 m. Após a análise dos resultados obtidos, concluiu-se que a bacia possui um formato alongado, baixa densidade de drenagem tornando pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação.

Palavras-chave: Análise Hidrológica de Superfície, Estações meteorológicas, Precipitação, Recurso Hídrico, Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

With climate change and economic and industrial development, accompanied by population growth and improvement in the quality of life of populations, concerns arise regarding the water deficit, because the demand for water has exceeded the supply capacity. Therefore, this study aims to analyse the hydrological behaviour in the Lúrio river basin. For the study, precipitation data from rain gauge stations, namely the Namapa and Nuite stations, located along the Lúrio river basin area, were used. For data processing and analysis, geographic information systems techniques were used. The results show that precipitation in the basin area is quite irregular, presenting climatic seasonality, with two characteristic periods, the rainy period from October to March and the dry period from April to September. The different physical characteristics showed that the drainage area of the basin is 61.119,206 km², the perimeter is 1.679,222 km, the compactness coefficient is 1,9, the shape factor is 0,23, the index circularity is 0,27, drainage density is 0,12 km/km². The hierarchy of watercourses is 4th order, the hypsometric amplitude was 2.080 m, with a higher elevation of 2.100 m and a lower elevation of 20 m. After analysing the results obtained, it was concluded that the basin has an elongated shape, low drainage density, making it less susceptible to flooding under normal precipitation conditions.

Keywords: Surface Hydrological Analysis, Meteorological Stations, Precipitation, Water Resources, Geographic Information Systems.

LISTA DE ABREVIATURAS

ARA	Administração Regional de Águas do Norte
CENACARTA	Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção
CHRS	Center for Hydrometeorology and Remote Sensing
DEM	Digital Elevation Model
DGBL	Divisão De gestão da Bacia Hidrográfica do Lúrio
DGBLic	Divisão de Gestão da Bacia Hidrográfica do Licungo
DGBM	Divisão de Gestão da bacia Hidrográfica do Messalo e Montepuz
DGBR	Divisão de gestão da Bacia Hidrográfica do Ruvuma
DGBs	Divisões de Gestão de Bacias Hidrográficas
DNGRH	Direcção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos
DR	Detecção Remota
DRH	Departamento de Recursos Hídricos
GEE	Google Earth Engine
GPS	Global Positioning System
IDW	Inverse Distance Weight
IP	Instituição Publico
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelos Digitais de Terreno
PERSIANN	Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks
SIG	Sistemas de Informação Geográfica

ÍNDICE

CAPITULO I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Localização da área de estudo.....	1
1.2. Contextualização.....	1
1.3. Definição do problema.....	4
1.4. Objectivos	5
1.4.1. Objectivo geral	5
1.4.2. Objectivos específicos.....	5
1.4.3. Justificação	5
1.5. Estrutura do relatório	6
CAPITULO II. REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1. Sistemas de informação geográfica	7
2.1.1. Aplicações dos SIG em bacias hidrográficas	9
2.1.2. Interpolação e estatística espacial	10
2.1.3. Detecção remota.....	11
2.1.4. Análise de variáveis geomorfométricas	12
2.2. Análise de bacias hidrográficas	13
2.2.1. Características físicas de uma bacia hidrográfica	14
2.2.2. Análise dos dados de precipitação	18
2.2.3. Precipitação média sobre uma bacia	19
CAPITULO III. METODOLOGIA.....	22
3.1. Instituto público de estágio	22
3.1.1. Estações pluviométricas	22
3.2. Métodos	23
3.2.1. Análise e tratamento de dados.....	23
3.2.2. Determinação dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Lúrio	24
3.2.3. Processamento e análise de dados.....	28
CAPITULO IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Características físicas da bacia hidrográfica do rio Lúrio.....	29
4.1.1. Ordem dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Lúrio.....	29

4.1.2. Hipsometria	31
4.1.3. Resultados da declividade na bacia	32
4.2. Análise dos dados hidrológicos monitorados	34
4.3. Estimativa de precipitação por detecção remota.....	36
4.3.1. Representação gráfica da precipitação	36
4.3.2. Distribuição espacial de dados estimados por detecção remota.....	37
4.4. DISCUSSÃO	38
CAPITULO V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
5.1. Conclusões	42
5.2. Recomendações	42
6. REFERÊNCIAS	42
APÊNDICES	46
Apêndice 1: Direcção da descida mais íngreme da bacia hidrográfica do rio Lúrio	47
Apêndice 2: Acumulação de fluxo da água da bacia hidrográfica do rio Lúrio	47
Apêndice 3: Curva de nível na bacia hidrográfica do rio Lúrio	48
Apêndice 4: Orientação das vertentes do relevo da bacia hidrográfica do rio Lúrio.....	48
Apêndice 5: Modelação geográfica para determinar a hierarquização dos cursos de água..	49
Apêndice 6: Modelação geográfica para determinar a análise de superfície	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais aplicações de Sistemas de Informação Geográfica à ecologia e gestão de bacias hidrográficas	9
Tabela 2: Métodos do ordenamento dos cursos de água	15
Tabela 3: Estações pluviométricas com as coordenadas geográficas.....	22
Tabela 4: Lista de dados necessários para a realização do estudo.....	23
Tabela 5: Valores de Kc e a susceptibilidade de grandes enchentes	24
Tabela 6: Valores de Kf e a susceptibilidade a enchentes	25
Tabela 7: Densidade de drenagem.....	26
Tabela 8: Comparação entre diferentes limites de classe de declividade para avaliação de terreno	27
Tabela 9: Formas de relevo	27
Tabela 10: Características geométricas da bacia hidrográfica do rio Lúrio	29
Tabela 11: Resultado das características de rede da drenagem da bacia hidrográfica do rio Lúrio	29
Tabela 12: Quantidade de cursos de água classificados por ordem, os respectivos comprimentos e a percentagem	30
Tabela 13: Resultado das características de elevação da bacia hidrográfica do rio Lúrio	31
Tabela 14: Resultado das características de declividade da bacia hidrográfica do rio Lúrio ...	32
Tabela 15: Distribuição espacial da declividade na bacia hidrográfica do rio Lúrio	33
Tabela 16: Precipitação acumulada mensal na estação de Muíte da bacia hidrográfica do rio Lúrio	34
Tabela 17: Precipitação acumulada mensal na estação de Namapa da bacia hidrográfica do rio Lúrio	34
Tabela 18: Distribuição da precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio Lúrio.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Lúrio	1
Figura 2: Bacia hidrográfica do rio Lúrio e locais propostos para barragens.....	4
Figura 3: O edifício dos Sistemas de Informação Geográfica.....	8
Figura 4: Hierarquia dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Lúrio	30
Figura 5: Distribuição espacial da elevação na bacia hidrográfica do rio Lúrio	32
Figura 6: Distribuição espacial da declividade na bacia hidrográfica do rio Lúrio.....	33
Figura 7: Precipitações médias mensais da bacia hidrográfica do rio Lúrio	36
Figura 8: Comportamento da precipitação média mensal de satélite	37
Figura 9: Distribuição espacial da precipitação média anual da bacia hidrográfica do Lúrio..	38

CAPITULO I. INTRODUÇÃO

1.1. Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Lúrio é a maior bacia hidrográfica inteiramente moçambicana, com uma área de cerca de 61.000 km² abrangendo as províncias de Niassa, Cabo Delgado, Nampula e Zambézia (Figura 2). Esta bacia faz fronteira a Norte com as bacias dos rios Lugenda, Messalo, Montepuez, Megaruma e a Sul com as bacias dos rios Licungo, Ligonha, Molocue, Mecuburi e algumas pequenas bacias costeiras (Figura 2).

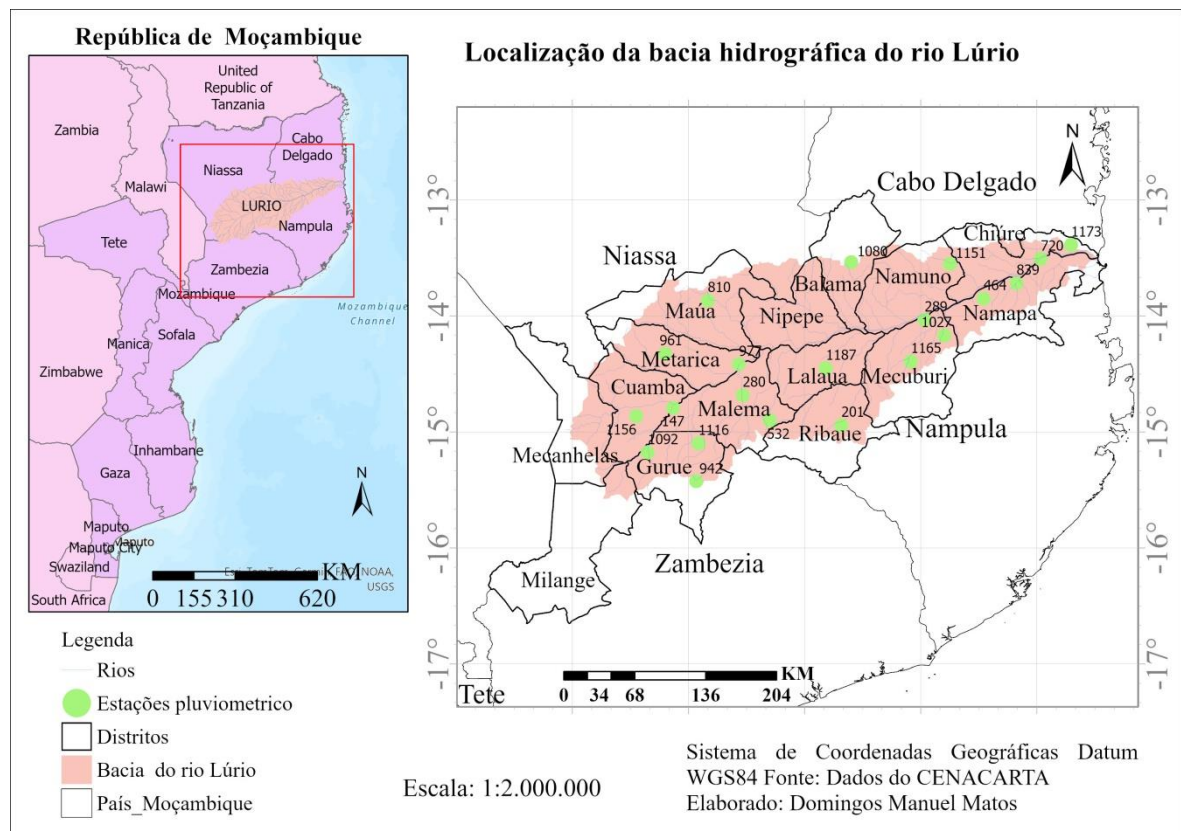


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Lúrio

Fonte: Dados do CENACARTA (2023).

1.2. Contextualização

Na bacia hidrográfica do rio Lúrio existem diversos e potenciais recursos hídricos utilizados na irrigação, produção de energia hidroelétrica e exploração de recursos minerais. Segundo Boletim da República Moçambique (2019), Moçambique apresenta variações sazonais e

regionais substanciais na disponibilidade de água e algumas partes da região Norte vem sofrendo um défice de água. Portanto, o problema relacionado com a escassez hídrica tanto de carácter qualitativo como quantitativo tem aumentado a preocupação das organizações que gerem os recursos hídricos, devido à existência de uma superior demanda da água para diversos fins, como por exemplo o consumo humano e animal, a utilização para a agricultura, a indústrias, etc.

Entre as aplicações dos sistemas de informação geográfica na bacia hidrográfica do rio Lúrio apenas uma menor parte delas relaciona-se a sua capacidade de armazenar, manipular e visualizar dados em contexto espacial, seu potencial de integração com modelos hidrológicos, geração de dados derivados para outras análises e também servem para consultas e visualização de resultados que facilitam a comunicação entre profissionais. A utilização de SIG pode contribuir para desenvolvido políticas públicas com objectivo de auxiliar na tomada de decisões para assegurar a manutenção dos recursos hídricos para o uso actual e gerações futuras (Mioto et al., 2014).

Segundo Ferreira et al. (2012), compreender o comportamento hidrológico que uma bacia apresenta o que futuramente poderá apresentar, torna-se possível quando são conhecidas as características morfométricas da mesma, possibilitando acompanhar interferências nos processos do ciclo hidrológico e as respectivas respostas da natureza. Também para o planeamento do projecto e operação de qualquer obra relacionada com o aproveitamento e controle dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, requer-se avaliação da quantidade de água que escoar na bacia.

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas compreende a caracterização de parâmetros fisiográficos, que são indicadores físicos da bacia, e que são usados como indicadores para a previsão de enchentes, inundações e erodibilidade (Tucci, 2004). Desse modo, tal caracterização permite avaliar o potencial hídrico de uma região, tornando-se, um instrumento fundamental a gestão de bacias hidrográficas permitindo a formulação de um conjunto integrado de acções sobre o meio ambiente, a fim de promover a conservação e utilização sustentável dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos.

A precipitação é provavelmente a variável que apresenta maior variabilidade espacial e, historicamente para monitorar tem sido necessário obter dados nas estações pluviométricas. Segundo Costa (2017), a prática convencional de medição da precipitação pode apresentar erros de registo e descontinuidades de dados, bem como uma má distribuição dos

pluviométricos, tais problemas podem resultar numa baixa qualidade de dados ou até mesmo na impossibilidade de utilização na sua forma bruta. Nesse sentido, os dados obtidos de satélites meteorológicos, estimativas de modelos regionais e globais, surgem como uma alternativa de grande utilidade para suprir a falta de informação convencional e subsidiar a análise da ocorrência espacial e temporal de elementos climáticos.

A análise de pequenas bacias é de fundamental importância para complementar a rede de informações hidrográficas, além de permitir o estudo dos processos físicos que actuam no ciclo hidrológico e dar suporte a gestão de recursos hídricos e à conservação do solo (Monte-Mor, 2012). A gestão de água deve ser fundamentada sobre uma profunda compressão da disponibilidade de água em movimento na atmosfera, a qual é uma questão de resposta complexo quando se pretende desenvolver uma região.

Segundo o Boletim da República de Moçambique (2019), o desenvolvimento eficiente do uso limitado de recursos hídricos requiere a avaliação de cada alternativa possível em termos de optimização. Entre outras, uma alternativa prioritária inclui o desenvolvimento das barragens de fins múltiplos para abastecimento de água e electricidade, etc. Entretanto, a transferência inter- bacias e utilização de água subterrânea são boas alternativas, dependendo das características do rio e padrões da demanda de água. Além disso, tudo o uso da água da chuva e de águas cinzentas pode também estar nas alternativas para desenvolver recursos de água secundária

No plano nacional de gestão de recursos hídricos, foram seleccionados 2 locais prioritários conforme ilustra a Figura 1 para o desenvolvimento de novas barragens em área de défice de água e com alto nível de risco de cheias, quando foram avaliados todos os factores relevantes e condições.

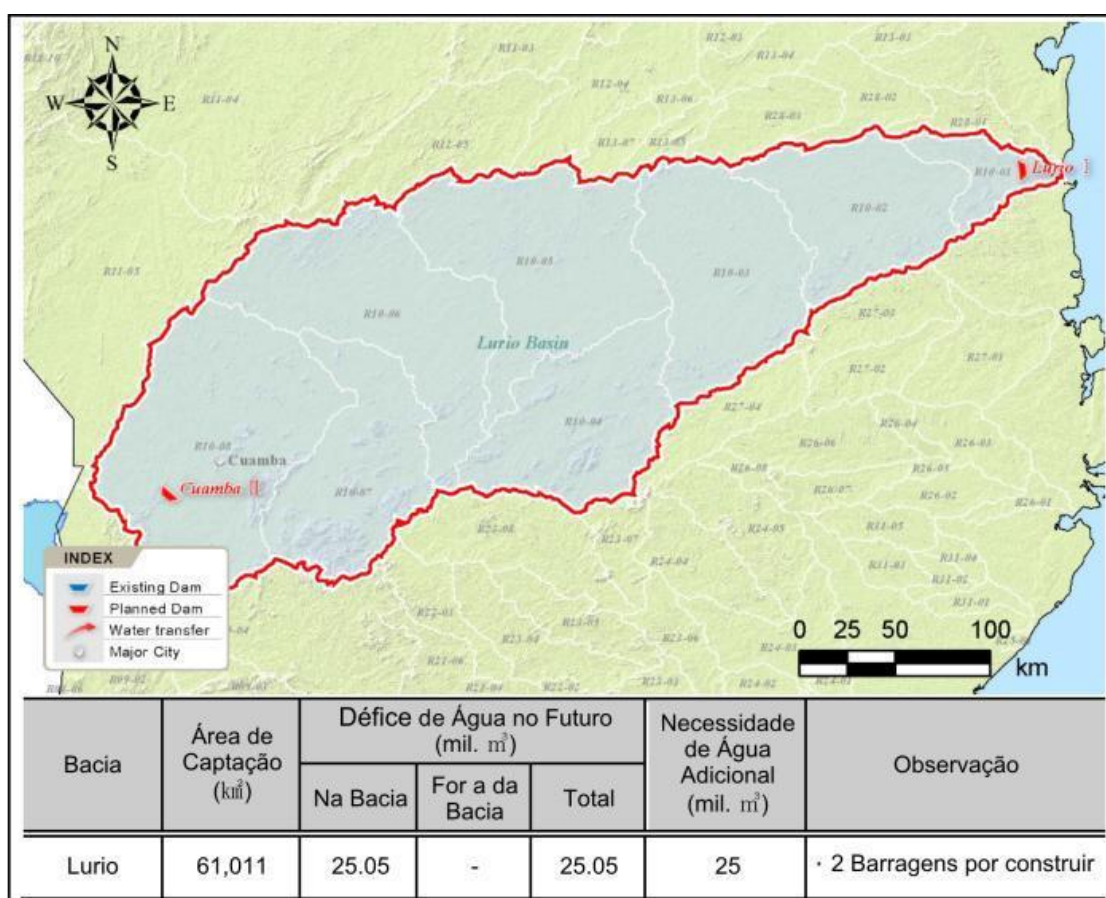


Figura 2: Bacia hidrográfica do rio Lúrio e locais propostos para barragens

Fonte: Boletim da República Moçambique (2019).

A Figura 1, está em estudo a proposta de 2 barragens por construir na bacia hidrografia do rio Lúrio nomeadamente a barragem de Cuamba II e a Barragem de Lúrio I.

Neste contexto, este estudo procura analisar o comportamento das variáveis hidrológicas na bacia hidrográfica do rio Lúrio monitorada pela Administração Regional de Águas do Norte.

1.3. Definição do problema

A exploração ambiental na bacia hidrográfica do rio Lúrio vem ocorrendo de maneira desordenada, impulsionada pelo crescimento populacional acelerado, expansão das áreas agrícolas e com urbanização. Com as mudanças climáticas o desenvolvimento económico e industrial, acompanhado do crescimento populacional e melhoria da qualidade de vida das

populações, surge a preocupação em relação ao défice de água, porque a demanda de água excedeu a capacidade de abastecimento.

A existência de pouca informação e estudos relacionados a análise hidrológica da bacia hidrográfica do rio Lúrio, leva a uma má gestão dos recursos hídricos pela parte das autoridades que precisam tomar decisões, por isso, propõe-se fazer uma análise hidrológica de superfície na bacia hidrográfica do rio Lúrio como forma de procurar respostas as questões de tipo:

1. Qual é o comportamento do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica do rio Lúrio?
2. Quais as características físicas da bacia hidrográfica do rio Lúrio?
3. Que recursos hídricos podem ser aproveitados na bacia hidrográfica do rio Lúrio?

Para responder a estas questões, são apresentados os seguintes objectivos do estudo:

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo geral

Analisar o comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do rio Lúrio com recurso à Sistemas de Informação Geográfica

1.4.2. Objectivos específicos

- Identificar as características físicas da bacia hidrográfica do rio Lúrio;
- Estimar o valor médio da precipitação para a bacia hidrográfica do rio Lúrio;
- Avaliar a variabilidade espacial e temporal da produção hídrica por unidade de área na bacia hidrográfica do rio Lúrio.

1.4.3. Justificação

Estudos das bacias hidrográficas, tanto urbanas quanto rurais, revertem-se de grande importância porque tem como objectivo encontrar um equilíbrio entre a exploração dos recursos naturais e a sustentabilidade ambiental.

A análise contínua do comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do rio Lúrio, em diferentes escalas, é uma alternativa para o entendimento dos fenómenos hidrológicos. Deste modo, pode-se conhecer as interacções entre o homem e o ambiente, cujos resultados

geralmente promovem alterações na intensidade e qualidade da relação de precipitação – descargas na bacia hidrográfica do rio Lúrio.

A caracterização da bacia hidrográfica do rio Lúrio poderá permitir o conhecimento da sua potencialidade e limitações quanto ao uso do solo, favorecendo assim o planeamento adequado das actividades a serem desenvolvidas.

1.5. Estrutura do relatório

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos, cujos conteúdos estão resumidos a seguir:

- No primeiro capítulo da introdução, apresenta-se a localização da área de estudo, a contextualização do tema e descreve-se o problema de estudo, os objectivos e finalmente a justificação da necessidade e vantagem deste estudo.
- O segundo capítulo da revisão de literatura, apresenta alguns conceitos associados aos Sistemas de Informação Geográfica e análise da bacia hidrográfica.
- O terceiro capítulo da metodologia, é dedicado à descrição dos dados e métodos utilizados no presente estudo.
- No quarto capítulo, são apresentados os principais resultados, e a respectiva discussão,
- Finalmente as conclusões e recomendações são apresentadas no quinto capítulo.

CAPITULO II. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, primeiro apresentam-se alguns conceitos associados ao estudo das regiões hidrográficas de uma bacia, bem como suas características físicas e aplicações de sistemas de informação geográfica na análise de bacias hidrográficas.

2.1. Sistemas de informação geográfica

Segundo Painho e Curvelo (2008), o conhecimento espacial assume, desde há longa data, uma importância no desenvolvimento das actividades humana e no modo como o homem interage com o espaço. A possibilidade de se conhecer a localização geográfica de um fenómeno, de se estabelecer relações com outros elementos do território, de identificar padrões espaciais, ou de tomar decisões com base nas suas características geográficas, são alguns exemplos de como a informação e o conhecimento espaciais contribuem para o desenvolvimento social, político e económico da humanidade. Quase todos os fenómenos com que o homem defronta diariamente assumem uma expressão territorial. Representar, analisar e conhecer a dimensão espacial associadas a esses fenómenos constitui um dos principais problemas que se colocam aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os sistemas de informação geográfica são um dos domínios do conhecimento da ciência da informação, que lida com informação geográfica. Esta ciência experimental, opera através das técnicas, métodos e abordagens associadas ao uso dos sistemas de informação geográfica, é o campo de pesquisa que procura redefinir os conceitos geográficos e o seu uso no contexto da ferramenta operacional e prática do SIG. Os SIG constituem um edifício do conhecimento que é implementado nos SIG e torna o seu uso possível de acordo com a Figura 3 que se segue (Caeiro, 2013).



Figura 3: O edifício dos Sistemas de Informação Geográfica

Fonte: Caeiro (2013).

Segundo Gonçalves e Sousa (2017), uma das definições actuais mais utilizada de Sistemas de Informação Geográfica é um sistema de hardware, software, informação espacial e procedimentos computacionais que permitem e facilitam a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenómenos que nele ocorrem.

De acordo com Caeiro (2013), os SIG podem definir-se como um sistema composto por hardware, software e um ambiente institucional que permite capturar, armazenar, verificar, integrar, sobrepor, manipular, analisar e visualizar dados referenciados geograficamente, funcionando como uma ferramenta de apoio à resolução de problemas geográficos. Envolve uma base de dados espacialmente referenciada e um software próprio. Desta forma, um sistema SIG deve conter:

- Entrada de dados;
- Representação;
- Armazenamento e pesquisa de dados;
- Gestão, transformação e análise de dados;
- Saída de dados, produção de relatórios, gráficos e estatísticas.

Segundo Feitosa (2008), o termo sistema de informação geográfica, compreende as actividades de aquisição, armazenamento, análise e interpretação de dados geográficos, isto é,

referem-se aos dados que representam os fenómenos geográficos que tem suas localizações na superfície terrestre referenciadas a um sistema de coordenadas geográficas ou planas.

De um modo geral, os SIG apresentam funções comuns a sistemas para a gestão de base de dados, tratamento de imagens digitais e funções estatísticas e estão relacionados com outras tecnologias, como detecção remota e Global Positioning System (GPS).

2.1.1. Aplicações dos SIG em bacias hidrográficas

Os Sistemas de Informação Geográfica são aplicados em áreas relacionadas a ecologia, principalmente aquelas que apresentam um componente espacial e aquelas que envolvem interações em múltiplas escalas.

Tabela 1: Principais aplicações de Sistemas de Informação Geográfica à ecologia e gestão de bacias hidrográficas

Aplicação	Exemplos
Produção de mapas; dados secundários a partir de dados originais	Declividade ou temperatura: aspecto a partir de elevação; medição de áreas; extensão dos Rios
Quantificação de associação entre características espaciais	Uso do solo; geologia; tipo de solos; topografia; hidrografia; densidade populacional; distribuição de espécies
Quantificação de padrões da paisagem e relações espaciais	Forma, conectividade, justaposição e fragmentação de unidade da paisagem
Quantificação de padrões temporais	Crescimento de vegetação, expansão ou redução de áreas húmidas
Quantificação de mudanças temporais	Transformações do uso do solo
Ligação entre dados espaciais e modelos	Simulações e previsões a partir de modelos hidrológicos, ecossistemas, distribuição de organismos
Zoneamento, classificação e priorização de bacias, conservação, gestão e Planeamento	Conservação de biodiversidade; prioridade para medidas de recuperação de água; análise de risco

Fonte: Becker (2002).

Os Sistemas de informação Geográfica permitem mapear e analisar a distribuição dos fragmentos de vegetação em toda uma bacia hidrográfica, tanto quanto a distribuição de plantas individuais dentro de um (1) hectare, ou mesmo o padrão de distribuição de perifiton em uma rocha.

2.1.2. Interpolação e estatística espacial

Os métodos de interpolação são necessários quando não se conhece a distribuição contínua de uma determinada variável ao longo de determinado espaço do tempo, por exemplo, a pluviosidade anual num determinado território, ou o teor de nitratos no solo, ou ainda a distribuição espacial de um determinado poluente na atmosfera, água ou solo.

Segundo Miranda (2005), o processo de interpolação é constituído por duas partes, sendo a primeira a definição de um relacionamento de vizinhança, e a segunda a definição de qual método calculará os valores desconhecidos. De acordo com Matos (2008), os métodos de interpolação espacial são aqueles que permitem a transformação de um conjunto de valores pontuais, assumindo como pontos de amostra de uma grande variação contínua, numa superfície de valores da grandeza em análise.

Os métodos de interpolação utilizados mais comumente para este tipo de representação são a ponderação inversa da distância; Krigagem; curvatura mínima ou spline; vizinho mais próximo; triangulação com interpolação linear, médias móveis e polinómio local. De entre os métodos de interpolação mais utilizados destacam-se:

- **O Inverse Distance Weight (IDW)** o método de ponderação inversa da distância é um método puramente matemático. Segundo Miranda (2005), este método estima um valor para um local não conhecido como uma média dos valores dos dados da vizinhança.
- **O spline** é uma técnica de interpolação que utiliza um polinómio para gerar uma superfície que minimiza a curvatura da mesma, resultando em uma superfície suavizada que passa através dos pontos conhecidos reproduzindo os valores da variável (Andriotti, 2009).
- **A Krigagem** é um método de interpolação que se utiliza na geoestatística, o método fundamenta-se nas variáveis regionalizadas e das funções aleatórias (Miranda, 2005).
- **Triangulação com interpolação linear** Existem vários métodos de triangulação diferenciados entre si, no entanto, o método aqui empregue é o método de triangulação de Delauny. Este tipo de triangulação possui a propriedade de produzir triângulos o mais próximos de equiláteros quanto possível, e apresentam um bom comportamento na interpolação numérica (Miranda, 2005).

2.1.3. Detecção remota

Segundo Matos (2008), denomina-se detecção remota quando a aquisição de informação a distância é efectuada através de um dispositivo de medição baseada na medição emitida ou reflectida por objectos, através de sensores de radiação electromagnética orbitais, como o caso dos satélites ou de uma fotografia aérea. Segundo Lillesand e Chipman (2015), a detecção remota é o processo de obter informações sobre um objecto, área ou fenómeno por meio da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contacto com objecto, área ou fenómeno sobre investigação.

Na detecção remota, com sensores passivos, utiliza-se a parte do espectro electromagnético abrangendo a amplitude de comprimento de onda no domínio visível e parte do infravermelho. Os sensores activos utilizam a parte do espectro correspondente as micro ondas recorrendo a tecnologia de radar.

Os sistemas de detecção remota são especializados nas funções de recolha, visualização, armazenamento, classificação e manipulação de dados matriciais. Entre os satélites mais conhecidos tem-se o WorldView, o GeoEye, o QuickBird, o Ikonos, o SPOT, o LANDSAT, o IRS-P6, e o CBERS (Cosme, 2012).

O motor de busca e visualizador de informação geográfica “Google Eath” é um dos melhores exemplos das potencialidades da detecção remota, dado que faz a cartografia do planeta, agregando imagens obtidas de várias fontes, incluído imagens de Satélite, fotografia aérea, e sistema de informação geográfica sobre um globo em 3D.

Segundo Centeno (2003), a detecção remota é uma das ferramentas mais utilizadas para o estudo da terra devido as suas principais vantagens em relação a outros métodos de recolha de dados da superfície terrestre. Entre estas vantagens, destacam-se:

- A visão panorâmica de uma região, característica muito útil para estudos de fenómenos dinâmicos;
- A cobertura global da Terra, ou seja, sensores que captam imagens de todas as regiões do planeta;
- As imagens de detecção remota permitem obter em uma ampla região com as mesmas condições de iluminação, características essenciais para o estudo e análise Geo-espaciais;

- A presença de diferentes sensores capazes de medir a energia infravermelha.

2.1.4. Análise de variáveis geomorfométricas

Segundo Pike (2000), a geomorfometria, é definida como a ciência da análise quantitativa da superfície terrestre. Tem proporcionado um arcabouço teórico- metodológico de destaque para aplicações direccionadas ao estudo da dinâmica e á cartografia do relevo (Li et al., 2005).

Segundo Matos (2008), no contexto dos SIG, designa-se por modelos digitais do terreno (MDT) qualquer conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permite associar a qualquer ponto definido sobre um plano cartográfico, um valor correspondente á sua altitude ou seja permite a criação de uma superfície composta por faces num espaço tridimensional. De acordo com Cardoso et al. (2006), os modelos digitais de terreno asseguram que o escoamento superficial, originado a partir de qualquer ponto da bacia hidrográfica, convirga para a hidrografia e esta para a respectiva foz.

Segundo Valeriano (2008), os modelos digitais de elevações (MDE) são arquivos que contém registos altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel, assim, percebe-se que embora os MDE sejam um elemento fundamental para o conhecimento e caracterização de relevo, a maior sua utilização numérica recai sobre as variáveis declividade, amplitude, curvatura, direcção entre outras que ele pode determinar.

Os modelos digitais de terreno têm muitas aplicações na área das ciências do ambiente como por exemplo permitem determinar redes de drenagem de bacias hidrográficas, determinação de declives, relevos da área de sombreado ou luminosidade, curvas de nível, etc. Segundo Elesbon et al. (2011), a utilização de um modelo digital de terreno, por intermédio do uso de sistemas de informação geográfica, é fundamental para a obtenção automática das características morfométrias das bacias de drenagem, apresentando maior eficiência e confiabilidade dos processos, a produção dos resultado e a possibilidade de armazenamento e partilha dos dados.

A utilização de modelos digitais de elevação na obtenção da altimetria e das suas variáveis (declividade, orientação, curvatura e outros), onde a obtenção dessas variáveis é feita principalmente com base no método do vizinho mais próximo.

- **Orientação de vertente**, representando uma derivada de 1ª ordem da altimetria. Segundo Florenzano (2008), a orientação da vertente é uma medida de ângulo horizontal da direcção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimuth, isto é, em relação ao norte geográfico, onde o valor começa de 0° (ou 360°), crescendo dessa direcção, no sentido horário.
- **Curvatura (forma das vertentes)**, são unidades básicas do relevo e fundamentais para explicar o desenvolvimento das paisagens como um elemento da superfície terrestre inclinado em relação ao plano horizontal (Velo, 2002).

2.2. Análise de bacias hidrográficas

A história da humanidade mostra que a evolução da hidrologia resulta do aumento das obras relacionadas aos recursos hídricos. Assim como, o avanço das obras decorre do avanço da hidrologia, de tal modo, que a ciência e a tecnologia associadas aos recursos hídricos vêm interagindo entre si (Kobiyama et al., 2008).

Entre as regiões hidrológicas de importância para os hidrológicos destacam-se as bacias hidrológicas ou bacias de drenagem, por causa da simplicidade que oferecem na aplicação do balanço de água. Devido a esta simplicidade muitos modelos de estudos de recursos hídricos têm sido conduzidos em bacias hidrográficas.

Segundo Tucci (2004), uma bacia hidrográfica é uma área topograficamente drenada por um curso de água ou um sistema ligado de cursos de água tal que toda a vazão afluente seja descarregada através de uma simples saída (ou exutório). Segundo Tucci, (2004), uma bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

De acordo com Santo et al. (2001), a pluralidade da ocorrência de bacias hidrográficas e a complexidade do ciclo hidrológico caracterizam a hidrologia como uma ciência multidisciplinar, ligada à observação sistemática da natureza. A necessidade de determinação de variáveis hidrológicas a ser utilizadas na gestão dos recursos hídricos, e a bacia hidrográfica a ser utilizada como unidade de gestão dos recursos hídricos.

Segundo Rocha e Santos (2018), o regime de descarga geralmente é baseado nas descargas médias mensais e permite a avaliação da sazonalidade das vazões. A vazão média, máxima e mínimo anual podem revelar as possíveis variações ao longo da série histórica de valores numa determinada estação. Estes aspectos de avaliação tornam-se importantes devido às interações entre o homem e o ambiente, cujos resultados geralmente promovem alterações nos aspectos de intensidade e qualidade da relação precipitação- descargas na bacia hidrográfica.

O conhecimento do regime hidrológico dos rios constitui informação básica para a tomada de decisão em diversas áreas do conhecimento, sobretudo para o planeamento ambiental e uso dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica. Segundo Tucci (2004), o profissional que trabalhe na área de recursos hídricos necessita de conhecer qualitativamente e quantitativamente os processos físicos envolvidos para melhor avaliar e projectar a utilização dos recursos hídricos.

2.2.1. Características físicas de uma bacia hidrográfica

Segundo Lima (2008), o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características morfológicas, ou seja, área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal, etc. A fim de entender as inter-relações existentes entre esses factores os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica torna-se necessário expressar as características da bacia em termos quantitativos.

Segundo Campos et al. (2015), a determinação de vários parâmetros de bacia hidrográfica, produz informações que auxiliam na sua gestão, sendo fundamentais em projectos ou planeamentos ambientais futuros na área de estudo. Neste contexto, os sistemas de informação geográfica tem sido utilizados como ferramenta para geração de informações que correlacionam diversas variáveis ambientais.

A caracterização física de uma bacia hidrográfica tem grande importância para o estudo do seu comportamento hidrológico. Segundo Guimarães (2017), consideram-se características físicas aquelas que podem ser obtidas a partir de cartas, fotografias aéreas ou imagem de satélite. Hidrológicamente interessa caracterizar a bacia relativamente à geometria, sistema de drenagem, relevo, geologia, uso do solo e vegetação.

A bacia hidrográfica pode ser classificada em função de diversos parâmetros, entre os quais destacam-se deságue, curso de água, padrão de drenagem, área de drenagem, perímetro da bacia, coeficiente de capacidade, factor de forma, índice de circularidade, declividade de drenagem, tempo de concentração, altitude média, hipsometria, ordenamento de cursos de água, densidade de drenagem, densidade confluência, sinuosidade rugosidade, extensão média do escoamento superficial e razão de relevo. Essas classificações baseadas nos parâmetros permitem analisar o comportamento da bacia e servem como indicadores de seu comportamento.

a) Ordem dos cursos de água

Segundo Saito (2011), o ordenamento dos cursos de água nas bacias hidrográficas refere-se aos resultados directos do uso da terra. Pode-se perceber que quanto mais ramificada a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem.

A ordenação dos cursos de água permite definir o grau de ramificações e bifurcações existentes em uma bacia hidrográfica. A classificação de ordenamento dos cursos mais utilizada foi proposta por Horton (1945) e modificada por Strahler (1957). Essa ordenação permite identificar a posição hierárquica que um curso de água ocupa na rede de drenagem.

A ordem das demais linhas é determinada de acordo com o método que pode ser de Horton, de Strahler ou de Shreve. A Tabela 2, apresenta as características de cada método.

Tabela 2: Métodos do ordenamento dos cursos de água

Método	Ordenamento
Horton (1945)	Nesse método, os canais de 2ª ordem apresentam somente afluentes de 1ª ordem. Já os canais de 3ª ordem tem afluência de canais de 2ª ordem, porém também podem receber directamente canais de 1ª ordem. Assim, os canais de maior ordem podem ter tributários de ordem n-1 até 1. O que indica atribuição de maior ordem ao rio principal, ampliando esta designação em todo seu comprimento, do exutório á nascente.
Strahler (1957)	As linhas de 2ª ordem são formadas pela junção de duas linhas de 1ª ordem; as linhas de 3ª ordem são formadas pela junção de duas de 2ª ordem e assim sucessivamente. Ressalta-se que as linhas de 3ª ordem, podem também receber um canal de 1ª ordem.
Shreve	Extensões são adicionadas sempre que ocorre a união de duas linhas de

(1967) drenagem, sendo que se a junção é de duas linhas de 2ª ordem, o trecho a jusante recebe a qualidade de 4ª ordem. É importante observar que nesse método algumas ordens podem não existir.

Fonte: Saito (2011).

b) Declividade da bacia

A declividade representa uma derivada de 1ª ordem da altimetria e é de suma importância na análise ambiental, pois, possui uma associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento e outro), além de se tratar de um variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial.

Segundo Valeriano (2008), a declividade é designada como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação á horizontal. Seus valores podem variar de 0° a 90°, embora seja mais comumente expressa em percentagem, de zero a infinito. De acordo com Lima et al. (2013), a declividade em uma bacia hidrográfica está correlacionada a importantes processos hidrográficos, entre os quais pode-se destacar a infiltração, o escoamento superficial, a humidade do solo, etc.

O valor da declividade influencia as vazões máximas e mínimas e tem relação com a velocidade de ocorrência do escoamento, isto é, maior declividade, maior é o pico de cheia e menor vazão de estiagem ou quanto maior a declividade de terreno, maior é a velocidade de escoamento, menor tempo de concentração e maiores são as perspectivas de picos de enchente. A magnitude desses picos de enchentes e a infiltração da água, dependem da declividade média da bacia, associada á cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra (Lima et al.,2013).

Segundo Valeriano (2008), em mapas topográficos, a declividade é estimada pela distância entre as curvas de nível. Em modelos digitais de elevação, sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos. Uma série de temporal, pode fazer referência á função de SIG para sua estimativa, podendo-se listar: *Slope, slope angle, gradiente, steepness e directional derivatives*.

As particularidades que devem ser levadas em conta na utilização de estimativas por geoprocessamento são:

- a) A declividade apresenta grande variabilidade espacial quando comparada á altitude é regular haver grandes mudanças de declividade em curtas distâncias horizontais.
 - b) A distribuição da declividade local de uma área sempre se concentra em valores baixos; há sempre as declividades altas são relativamente raras.
 - c) Os locais de declividade alta são normalmente áreas pequenas e dissociadas a sua vizinhança, enquanto áreas de declividade baixa tendem a formar grandes manchas, mais coesas no terreno.
 - d) A estimativa de declividades altas tende a mostrar maiores desvios relativos ao controle.
- c) O relevo de uma bacia hidrográfica

Segundo Schiaetti e Camargo (2002), o relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os factores meteorológicos e hidrológicos dado que a velocidade de escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto a temperatura, precipitação e a evaporação são funções da altitude da bacia. É de grande importância, portanto, a determinação de curvas características do relevo de uma bacia hidrográfica.

De acordo com Castro Jr (2001), em altitudes elevadas, a temperatura é baixa, e apenas pequena quantidade de energia é utilizada para evaporar a água, ao passo que, em altitudes baixas, quase toda a energia absorvida é usada para evaporação da água. As altitudes elevadas tendem a receber maior quantidade de precipitação, além de a perda de água ser menor.

A caracterização hipsométrica de uma bacia hidrográfica passa pela quantificação da área por classe de altitudes, estabelecendo, assim, a distribuição das respectivas frequências altimétricas. O modo mais usual de fazer esta caracterização consiste em graficamente, representar a função $A = f(Z)$ a qual traduz a área da bacia acima da altitude Z , expressa em unidades de área ou em percentagem da área total- curva hipsométrica da bacia. Actualmente, com recurso á cartografia digital e as ferramentas associadas aos sistemas de informação geográfica, o estudo da hipsometria dos terrenos passou a ser facilitado devido á existência de cartografia hipsométrica (Guimarães, 2017).

Segundo Naghettini (2012), uma análise mais geral sobre o relevo de uma bacia é fornecida pela curva hipsométrica. Essa é uma curva que mostra a variação da cota (ou elevação) com a subárea da bacia com cotas iguais ou superiores a aquela em questão.

2.2.2. Análise dos dados de precipitação

O objectivo de uma estação pluviométrica de medição de chuvas é obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos (ou o estudo da variação da intensidade de chuva ao longo das tormentas). Em qualquer caso, pode ocorrer a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, devido a problemas com os aparelhos de registo e com o operador da estação.

De acordo com Coutinho et al. (2018), na utilização de dados de estações meteorológicas pode-se ter muitas dificuldades, devido à ausência de algumas observações, a problemas de acesso à estação, danificações nos equipamentos, e pode haver erros de medição, gerando dados inconsistentes o que leva a ocorrência de falhas nas séries históricas. Segundo Berton e Tucci (2013), os dados recolhidos nas estações udométricas devem ser submetidos a uma análise preliminar antes de serem utilizados. As causas mais comuns de erros nas observações são:

- a) Preenchimento errado do valor na caderneta de campo;
- b) Soma errada do número de provetas, quando a precipitação é alta;
- c) Valor mal estimado pelo observador, por não se encontrar no local no dia da amostragem;
- d) Crescimento de vegetação ou outra obstrução próxima à estação de observação;
- e) Danificação do aparelho;
- f) Problemas mecânicos no registador gráfico.

Após a análise preliminar dos dados, é possível que as séries apresentem falhas ou lacunas. Contudo, dada a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, as falhas deverão ser preenchidas. Entre os métodos para preenchimento de falhas destacam-se: o método de ponderação regional, regressões lineares e método de ponderação regional com base em regressões lineares.

Segundo Naghettini (2012), a técnica da ponderação regional é muito utilizada para o preenchimento de falhas de dados mensais e anuais. O método de ponderação regional

consiste na escolha de três estações de características climatológicas semelhantes à estação de análise e que possuem dados de pelo menos 10 anos. Para o preenchimento de séries mensais ou anuais pode-se usar a equação 2.1.

$$P_X = \frac{1}{3} \left(\frac{M_x}{M_a} * P_a + \frac{M_x}{M_b} * P_b + \frac{M_x}{M_c} * P_c \right) \quad (2.1)$$

Onde:

P_x - é a precipitação estimada na estação que apresenta falhas;

P_a , P_b e P_c - são as precipitações observadas em três estações A, B e C vizinhas;

M_x , M_a , M_b , e M_c -são precipitações médias observadas nas estações A, B, C e X.

2.2.3. Precipitação média sobre uma bacia

Para fazer o balanço hídrico sobre uma bacia, ou para determinar os valores extremos das chuvas nas regiões, o hidrologista está mais interessado em conhecer a precipitação que cobre toda uma área, e não exactamente os valores pontuais.

Segundo Sarmiento et al. (2020), as medidas da precipitação feitas em pluviómetros fornecem dados pontuais de uma área qualquer. Frequentemente é necessário obter-se, a partir dos dados de vários pluviómetros, a precipitação média em uma determinada área de interesse, no caso de bacia hidrográfica. Os cálculos da precipitação média são feitos a partir de observações feitas dentro da área de interesse, bem como nas suas redondezas.

Para calcular a precipitação média numa superfície qualquer é necessário utilizar as observações dentro dessa superfície e nas suas vizinhanças. Aceita-se a precipitação média como sendo a altura uniforme da lâmina de água que cobre toda a área considerada, associada a um período de tempo dado (uma hora, um dia, um mês, um ano, etc.).

Segundo Schiaetti e Camargo (2002), denomina-se precipitação média como sendo uma lâmina de água de altura uniforme sobre toda a área considerada, associada a um dado período de tempo, seja ele o dia mais chuvoso, o ano, o trimestre mais chuvoso ou trimestre mais seco. Esta precipitação é estimada com base na hipótese de que seja representativa das precipitações ocorridas na área como um todo.

Existem diversos métodos para a estimativa da precipitação média entre os quais se destacam a média aritmética, polígono de Thiessen e o método das isoietas considerado o mais preciso.

Este método utiliza, ao invés de dados de precipitação oriundos das estações pluviométricos isolados, curvas que unem pontos de igual precipitação, as chamadas isoietas.

Segundo Bertoni e Tucci (2013), o método da média aritmética atribui pesos idênticos a todos os postos pluviométricos disponíveis, sem levar em consideração a área de abrangência de cada um, bem como as diferenças climáticas e topográficas. O método da média aritmética só apresenta bons resultados para bacias pequenas com poucas variações pluviométricas, ou para bacias com uma rede vasta e bem distribuída espacialmente de estações pluviométricas como mostra a equação 2.2.

$$P_m = \frac{\sum P_i}{n} \quad (2.2)$$

Onde:

Pi – precipitação (altura) no posto i= 1,2,...,n

Pm – precipitação média

n – número de postos dentro da área de estudo.

O método de Thiessen é usado para calcular a precipitação média atribuindo pesos as observações de cada estação pluviométrica conforme a área de abrangência na bacia de cada estação (Bertoni e Tucci, 2013). O método apresenta bons resultados quando aplicado em terrenos levemente acidentados e quando não existem grandes distâncias entre as estações pluviométricas. A fórmula para calcular a média segundo o método de Thiessen, está representada na equação 2.3.

$$P_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i * A_i) \quad (2.3)$$

Onde:

A é a área de integração entre cada polígono de Thiessen e a bacia hidrográfica

Pi é o valor da precipitação correspondente á estação i

Pm é a precipitação média

Segundo Schiaetti e Camargo (2002), o método das isoietas baseia-se em curvas de mesma precipitação desenhada a partir da interpolação dos dados das estações pluviométricas existentes na região estudada. A precipitação média é calculada tornando como referência

uma média ponderada do valor médio entre duas curvas de mesma precipitação (isoietas). Para efectuar o cálculo utiliza-se a equação 2.4.

$$P_m = \frac{\sum (\frac{P_i + P_{i+1}}{2}) A_i}{\sum A_i} \quad (2.4)$$

Onde:

P_m – Precipitação média

P_i – Precipitação da curva i

A_i – Área entre as curvas i e i+1

Para caracterizar as variações mensais das precipitações, podem-se utilizar os coeficientes pluviométricos mensais (em percentagem), que são obtidos a partir das médias pluviométricas mensais, dadas pelo quociente da altura pluviométrica anual por 12 meses. Pode-se, também, utilizar coeficientes pluviométricos acumulados, que dão, para cada mês, a percentagens da altura pluviométrica anual caída desde o início do ano até o mês considerado (Naghattini , 2012).

O estudo das alturas pluviométricas mensais pode ser feito nas mesmas bases indicadas para o estudo das alturas pluviométricas anuais, sendo habitual indicar (para um estudo completo) para cada mês, por meio de tabelas e gráficos: a média mensal, as máximas e mínimas mensais observadas durante o período considerado, o desvio padrão, o coeficiente de variação, e a distribuição das frequências com base na qual pode- se ajustar uma curva teórica de probabilidade que permita a previsão de ocorrências excepcionais de uma função dos tempos de retorno ou de recorrência.

CAPITULO III. METODOLOGIA

3.1. Instituto público de estágio

De acordo com o decreto nº 73/2020 de 20 de Agosto, havendo necessidade de aprimorar as acções de mitigação do efeito das mudanças climáticas, com maior ênfase para as cheias e secas, reduzir assimetrias no desenvolvimento de bacias hidrográficas, melhorar a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos e a prestação dos serviços á população, racionalizar os recursos humanos, técnicos e financeiros, inerentes a gestão dos recursos hídricos, para garantir a sua sustentabilidade e disponibilidade, surgiu a necessidade de fundir as antigas Administrações Regionais de águas em ARA- Norte, IP.

A administração Regional e Águas do Norte IP, abreviadamente designada por ARA- Norte, IP, é um instituto público de gestão operacional de recursos hídricos e prestação de serviços, de categoria A, dotado de personalidade jurídica, autonomia administrativa, financeira e patrimonial.

Com sede na província de Nampula, a ARA- Norte, IP desdobra-se em 4 divisões de gestão de bacias hidrográficas (DGBs) a saber, a divisão de gestão da bacia hidrográfica do Ruvuma (DGBR), com sede em Lichinga, a divisão de gestão da bacia hidrográfica do Messalo e Montepuz, (DGBM), com sede em Pemba, a divisão de gestão da bacia hidrográfica do Lúrio, (DGBL), com sede em Cuamba e a divisão de gestão da bacia hidrográfica do Licungo, (DGBLic), com sede em Mucuba.

3.1.1. Estações pluviométricas

As estações de Namapa e Nuite foram escolhidas por serem as únicas estações que possuem dados completos, dentro da bacia hidrográfica de estudo. Na Tabela 3, estão apresentados os códigos das estações, com latitude e longitude correspondente.

Tabela 3: Estações pluviométricas com as coordenadas geográficas

Nº da Estação	Localização		Coordenadas	
	Distrito	Posto Adm	Latitude	Longitude
P-289	Mecuburi	Muite	14° 02' 00" S	39° 02' 00" L
P-839	Namapa	Namapa	14° 43' 00" S	36° 49' 30" L

Os dados para a realização do trabalho estão descritos na Tabela 4, com as respectivas fontes.

Tabela 4: Lista de dados necessários para a realização do estudo

Dados	Fonte
Shapfile de divisão Administrativa	CENACARTA
Modelo Digital de Elevação (30 metros)	Open topography
Dados de precipitação (2015 a 2022)	ARA-Norte,IP
PERSIANN (2015 a 2022)	CHRS

Para a manipulação das imagens e elaboração dos mapas de diversos fins, foi utilizado o software ArcGis Pro 2.0. Para a concepção de bases de dados, análise e a elaboração dos gráficos da precipitação foi utilizado o Microsoft Excel 2010. Para a elaboração do texto e slides para apresentação foram usados o Microsoft Word e Power Point 2010.

3.2. Métodos

O método utilizado nesta pesquisa foi indutivo, pois, as generalizações foram feitas com base nas constatações particulares da realidade.

A pesquisa bibliográfica foi fundamental para a escolha do método da análise hidrológica de superfície. O Estudo de caso foi utilizado devido a sua relativa simplicidade e economia na recolha de dados, e sua aplicabilidade em situações em que o objecto do estudo é conhecido.

3.2.1. Análise e tratamento de dados

No início, os dados diários foram registados pelo leitor nas estações pluviométricas relacionadas as estações na bacia hidrográfica do rio Lúrio.

Antes de processamento dos dados observados foi feita uma análise descritiva para verificar os valores e que parte das estações avaliadas apresentaram falhas ao longo de suas séries históricas, por sua vez, no que se refere aos dados diários, estes foram preenchidos com dados consistentes.

Para testar as hipóteses de que estações vizinhas apresentam médias iguais nos diferentes meses dos anos, foi usado o método de altimétrica, no qual foram apresentadas estatísticas com tendência e sazonalidade.

3.2.2. Determinação dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Lúrio

Na produção das características físicas na bacia hidrográfica do rio Lúrio recorreu-se a técnicas dos sistemas de informação geográfica.

A classificação de bacias hidrográficas com base em sua área de drenagem. Bacias com inferior a 26km² são consideradas pequenas, enquanto aquelas com área igual ou superior a 26km² são classificadas como grandes. Segundo Hartwig (2012), descreve seguinte:

- Bacia hidrográfica pequena, quando o efeito do escoamento superficial não canalizado sobre o pico de descarga, é predominantemente ao efeito decorrente do escoamento superficial canalizado;
- Bacia hidrográfica grande são aquelas em que o escoamento superficial não canalizado sobre o pico de descarga, não predomina sobre o efeito do escoamento superficial canalizando.

Entende-se por escoamento superficial canalizado aquele que corre no curso de água e por escoamento superficial não canalizado aquele que ocorre na superfície do terreno.

O coeficiente de compacidade é um dos parâmetros que reflecte a forma da bacia. Segundo Fernandes et al. (2018), o coeficiente de compacidade (Kc) é calculado pela relação entre a circunferência de um círculo de área análogo a bacia e o perímetro da mesma. O seu valor é superior a 1, quanto mais próximo o Kc for de 1, a bacia será mais susceptível a enchentes. A determinação de Kc é baseada na equação 3.1.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3.1)$$

Onde:

A é a área da bacia (km²)

P é o perímetro da bacia (km).

A Tabela 5, apresenta os valores de Kc e com sua susceptibilidade á ocorrência de enchentes.

Tabela 5: Valores de Kc e a susceptibilidade de grandes enchentes

Valores de Kc	Característica da bacia
1,00 -1,25	Bacia mais propensa a grandes enchentes
1,25 -1,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes

> 1,50 Bacia não sujeita a grandes enchentes

Fonte: Fernandes et al. (2018)

O factor de forma (K_f) relaciona o formato da bacia com um reticulado, relacionado à razão entre o complemento axial e a largura média. Ao comparar duas bacias, quanto menor for o factor de forma, menos sujeita ela será a enchentes, se comparando-a à outra de mesmo tamanho, porém com um factor de forma maior (Tucci, 2004). O factor de forma é obtido dividindo a área pelo quadrado do comprimento da bacia como mostra a equação 3.2.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (3.2)$$

Onde A é a área de drenagem (km^2) e L é o comprimento do eixo da bacia (km). A Tabela 6 apresenta os valores de K_f e a condição em relação a susceptibilidade à ocorrência de enchentes.

Tabela 6: Valores de K_f e a susceptibilidade a enchentes

Valores de K_f	Característica da bacia
< 0,50	Bacia não sujeita a enchentes
0,50- 0,75	Bacia com tendência mediana a enchentes
0,75-1,00	Bacia sujeita a enchentes

Fonte: Tucci (2004).

Quanto ao índice de circularidade (I_c), pode-se considerar outra característica que relaciona a forma da bacia ao formato de círculo. O índice de circularidade tende a 1, conforme a bacia se aproxime do formato circular e diminui quando é mais alongada. Para efectuar o cálculo utiliza-se a equação 3.3.

$$I_c = \frac{12.57 \cdot A}{P^2} \quad (3.3)$$

Onde A é a área de drenagem (km^2) e P é o perímetro da bacia (km).

A densidade de drenagem (D_d) relaciona o comprimento total de todos canais presentes na bacia (perenes, intermitentes e efémeros) com a sua área de drenagem. A densidade de drenagem será dada pela expressão 3.4.

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (3.4)$$

Representando o comprimento total dos cursos de água na bacia por L e a área de drenagem por A. A Tabela 7, tem o valor Dd e a eficiência real da drenagem actuante da bacia hidrográfica.

Tabela 7: Densidade de drenagem

Valor da densidade de drenagem	Nível da drenagem na bacia
$Dd > 3,5 \text{ Km/Km}^2$	Bacias excepcionalmente bem drenadas
$2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ Km/Km}^2$	Bacias com drenagem muito boa
$1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ Km/Km}^2$	Bacias com drenagem boa
$0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ Km/Km}^2$	Bacias com drenagem regular
$Dd < 0,5 \text{ Km/Km}^2$	Bacias com drenagem pobre

Fonte: Tucci (2004).

A hierarquização fluvial foi realizada a partir da metodologia de Strahler (1957), onde canais de primeira ordem são aqueles que não apresentam tributários. Canais de segunda ordem, são aqueles formados a partir da confluência de canais de primeira ordem, podendo também ter tributários de primeira ordem. A 3ª ordem é formada a partir da confluência de dois canais de segunda, podendo receber tributários de segunda e primeira ordens, e assim se sucede para os demais tributários.

Amplitude altimétrica (H) é a diferença entre a maior e a menor altitude da área da bacia. A amplitude altimétrica é expressa em metros e foi obtida conforme a expressão 3.5,

$$H = AM - Am \quad (3.5)$$

Onde:

AM= maior altitude

Am= menor altitude

A declividade média da bacia pode ser determinada pela equação 3.6.

$$Dm = \frac{D}{A} * CN_i * 100 \quad (3.6)$$

Onde:

Dm: Declividade média da bacia

D: Distância entre as curvas de nível (m)

A: Área da bacia (m²)

CNi: comprimento total das curvas de nível (m)

Existe diversos procedimentos de análise do relevo incluem a classificação da área em faixas de declividade, para posterior integração com outros planos de informação. Na Tabela 8, estão apresentados os limites de declividade de acordo com Marque (1971), com levantamento da capacidade de uso, actualizado em Lepsch et. al. (1991), assim como a actual classificação da Empresa Brasileiro de Pesquisa Agro-pecuária (EMBRAPA, 1999).

Tabela 8: Comparação entre diferentes limites de classe de declividade para avaliação de terreno

Marques (1971)		Lepsch (1991)		Valeriano (2008)	
Declive	Faixa (%)	Classe	Faixa (%)	Relevo	Faixa (%)
A- suave	0 a 2.5	A	0 a 2	Plano	0 a 3
		B	2 a 5	Suave ondulado	3 a 8
B - moderado	2.5 a 12	C	5 a 10	Ondulado	8 a 20
C- forte	12 a 50	D	10 a 15		
		E	15 a 45	Forte ondulado	20 a 45
D - muito forte	Acima de 50	F	45 a 70	Montanhoso	45 a 75
		G	Acima de 70	Escarpa	Acima de 75

As características geomorfológicas, são de uma maneira geral, as do rebordo oriental do continente africano, onde se destique uma faixa montanhosa que desce em degraus do planalto até a planície litoral. De acordo com as formas de relevo propostas por Muchangos (1999) para Moçambique que são: planícies, planaltos, montanhas e depressões.

Tabela 9: Formas de relevo

Altitude	Características do relevo
Altitude < 200	Planícies

200 – 600	Planaltos
600 – 100	Altiplanaltos
Altitude > 1000	Montanhas

Fonte: Muchangos (1999).

3.2.3. Processamento e análise de dados

Esta face teve o lugar no departamento de recursos hídricos, no ambiente hidrológico da Administração Regional de Águas do Norte, e constituiu na introdução, processamento e análise dos dados. De acordo com a natureza dos dados disponíveis, escolheu-se o software ArcGis Pro como plataforma para o processamento e análise e a metodologia definida foi a aplicação da modelação geográfica, usando apenas os parâmetros relacionados com o ambiente físico.

Para o cálculo da precipitação média na bacia hidrográfica e estimativa de precipitação utilizando imagens de infravermelho foi usada a média aritmética simples conforme a equação 2.2.

CAPITULO IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características físicas da bacia hidrográfica do rio Lúrio

A bacia hidrográfica do rio Lúrio apresenta as características morfométricas apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10: Características geométricas da bacia hidrográfica do rio Lúrio

	Parâmetros morfológicos	Unidade	Resultado
	Área de Drenagem	Km ²	61.119,206
	Perímetro	Km	1.679,222
Forma da Bacia	Coeficiente de compacidade (Kc)	-	1,9
	Factor de Forma (Kf)	-	0,23
	Índice de circularidade (Ic)	-	0,27

De acordo com o resultado da Tabela 10, a bacia hidrográfica do rio Lúrio apresenta uma área de drenagem cerca de 61.119,206 Km² e perímetro igual a 1.679,222 km. Dos resultados, pode-se observar que o factor de forma é igual a 0,23, o coeficiente de compacidade é igual a 1,9, e o índice de circularidade é igual a 0,27. Estes números indicam que a bacia hidrográfica do rio Lúrio apresenta um formato irregular, apresentando-se alongada e não está sujeita a enchente em condições normais de precipitação pluviométrica.

4.1.1. Ordem dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Lúrio

Tabela 11: Resultado das características de rede da drenagem da bacia hidrográfica do rio Lúrio

Parâmetros morfológicos	Unidade	Resultado
Comprimento do rio principal	Km	605
Comprimento total de todos os canais	Km	7.706,844
Densidade de drenagem	Km/Km ²	0.12
Numero de ordens	—	4

De acordo com a Tabela 11, a bacia hidrográfica do rio Lúrio apresenta um comprimento do rio principal de 605 km e um comprimento total de todos os canais de 7.706,844 km. Ainda da Tabela 12, pode-se observar que a densidade de drenagem é de 0,12 km/km². Este número

indica que a bacia hidrográfica do rio Lúrio possui uma baixa capacidade de drenagem e os cursos de água na bacia variam da 1ª até a 4ª ordem conforme a Figura 4 ilustra.

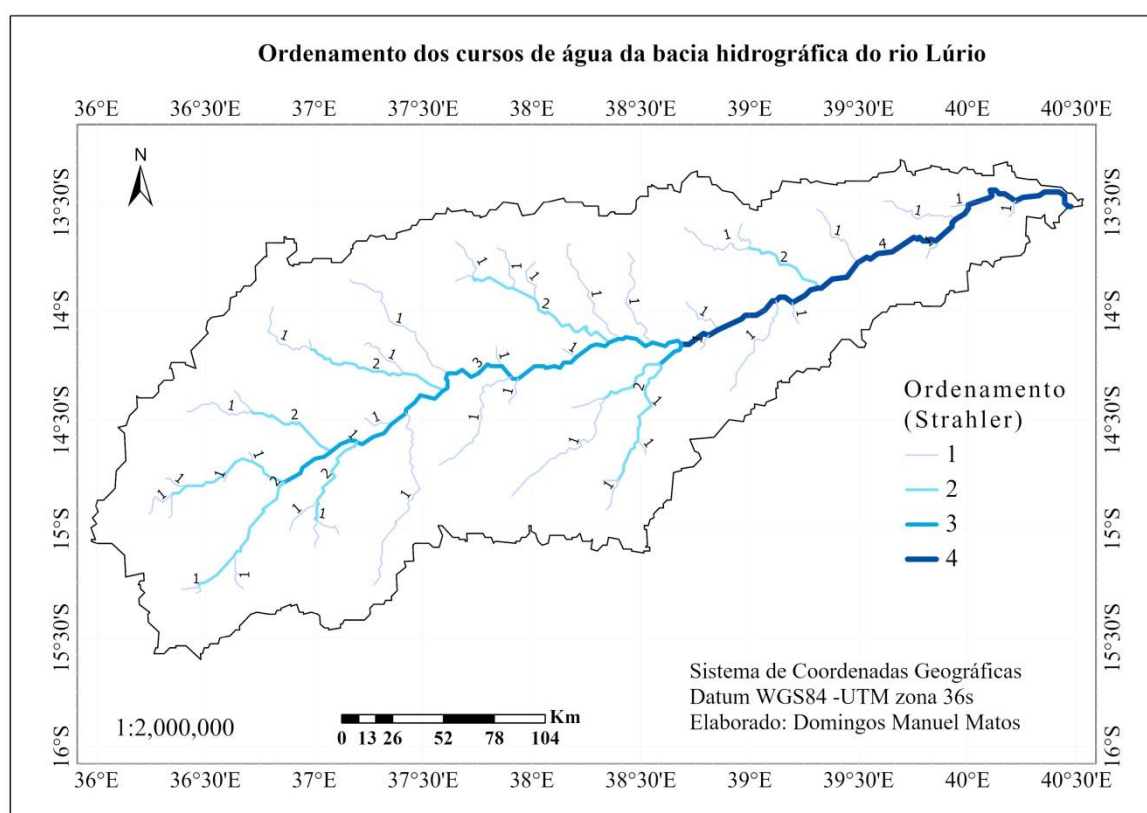


Figura 4: Hierarquia dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Lúrio

A Figura 4, apresenta o ordenamento dos canais da bacia hidrográfica do rio Lúrio, que reflecte a eficiência do seu sistema de drenagem. A bacia hidrográfica do rio Lúrio possui ramificação até 4ª ordem. A maioria tributária de bacia hidrográfica do rio Lúrio é da 1ª ordem. Como na Tabela 12 pode-se observar.

Tabela 12: Quantidade de cursos de água classificados por ordem, os respectivos comprimentos e a percentagem

Ordem dos cursos de água	Quantidade	L (Km)	%
1ª	47	10,717	52,41
2ª	19	5,128	25,08
3ª	16	2,406	11,77
4ª	11	2,198	10,75
Total	93	20,449	100

A Tabela 12, apresenta a rede de drenagem total da bacia hidrográfica do rio Lúrio composta por 93 canais, cujo somatório do comprimento dos trechos (L) é igual a 20,449 Km. Dos resultados, observa-se a quantidade total de cursos de águas classificadas por ordem e os seus respectivos comprimentos (L). Assim, nota-se que 52,41% dos rios da bacia hidrográfica do rio Lúrio são da 1ª ordem o que representa um grande número de nascentes na bacia, visto que estes não se originam da junção de rios, como é o caso dos cursos de água de ordens superiores.

4.1.2. Hipsometria

Na Tabela 13, estão apresentadas as características da altimetria da bacia hidrográfica do rio Lúrio, onde pode-se observar grande variação de altitude com uma altitude mínima de 20 e máxima de 2.100 m que corresponde a uma amplitude altimétrica de 2.080 m apresentando altitude média de 777,5 metros. Analisando a hipsometria da área de estudo, é possível verificar que a elevação variou entre 20 e 2100 m. Em função da alta variação de elevação, a bacia é sujeita a grandes variações de temperatura, precipitação e intensidade de escoamento da água.

Tabela 13: Resultado das características de elevação da bacia hidrográfica do rio Lúrio

Parâmetros Morfológicos	Unidade	Resultado
Altitude máxima	m	2100
Altitude média	m	777,5
Altitude mínima	m	20
Amplitude altimétrica	m	2080

Observa-se na Figura 5, que as altitudes aumentam gradualmente as maiores cotas são relativas as áreas de nascentes, menores encontram-se na área jusante, é possível observar o predomínio de planícies de 20-251,11 m na parte costeira e próximo no distrito de Namapa na província de Nampula, á sua entrada predomínio de planície litoral. Dada a extensão da bacia hidrográfica, ela apresenta muitos afluentes, a linha mostra da subdivisão do planalto moçambicana de 251,11-713,33 m, altiplanaltos de 713,33 -1175,56 m, algumas serras e montanhas de 1175,56 - 2100 m no nascente da bacia no distrito de Malema.

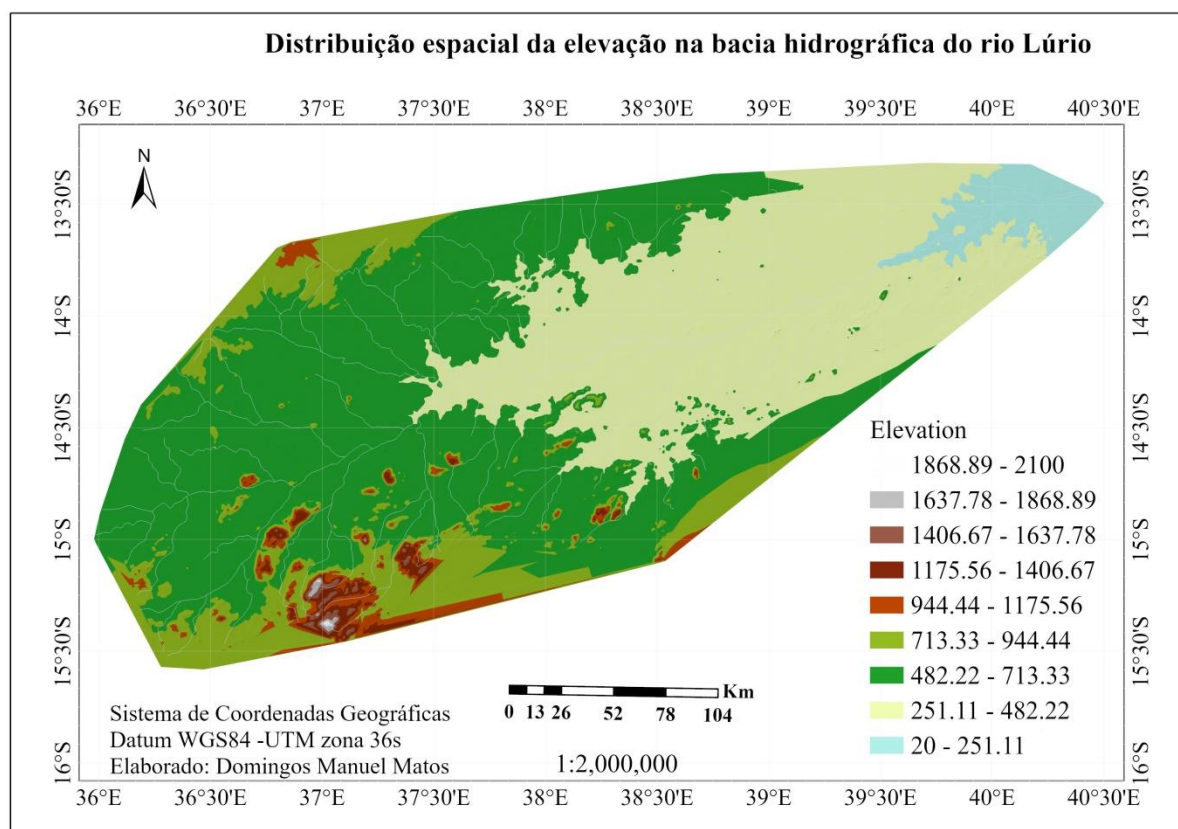


Figura 5: Distribuição espacial da elevação na bacia hidrográfica do rio Lúrio

4.1.3. Resultados da declividade na bacia

Tabela 14: Resultado das características de declividade da bacia hidrográfica do rio Lúrio

Parâmetros morfológicos	Unidade	Resultado
Declividade máxima	%	42,47
Declividade média	%	2,72
Declividade mínimo	%	0,00

A declividade média encontrada para a bacia hidrográfica do rio Lúrio foi de 2,72%, o que caracteriza a bacia com relevo plano. Este resultado é reforçado na Tabela 14, onde 86,26% da área da bacia apresenta um relevo plano e apenas 0.95% do relevo na bacia é fortemente ondulando.

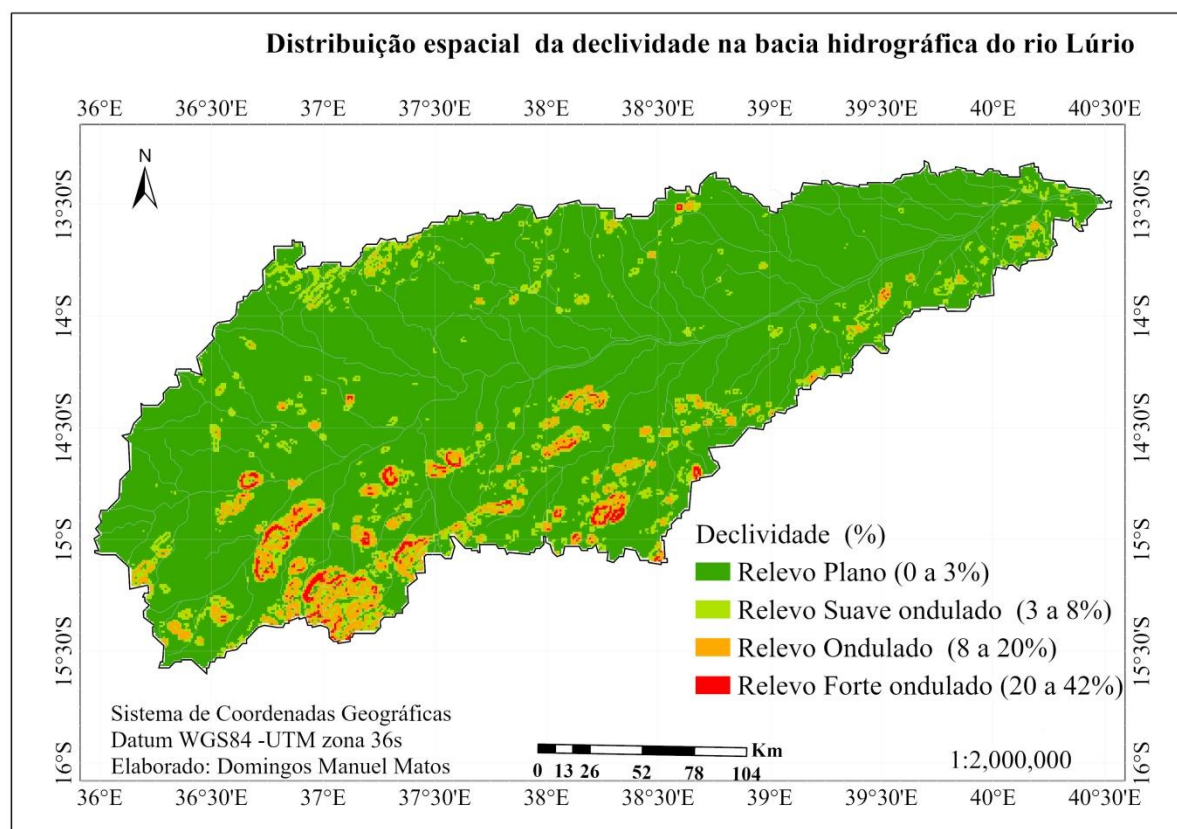


Figura 6: Distribuição espacial da declividade na bacia hidrográfica do rio Lúrio

A distribuição espacial da declividade na bacia hidrográfica do rio Lúrio está apresentada na Figura 6. Pode-se observar que a bacia hidrográfica do rio Lúrio apresenta maior área coberta com um relevo plano de 0-3%, em seguida um relevo ondulado entre 8-20%. Entre as outras classes de relevo, a que apresentou menor representatividade na bacia foi a de relevo forte ondulado com uma percentagem de declividade que varia de 20-42%.

Tabela 15: Distribuição espacial da declividade na bacia hidrográfica do rio Lúrio

Declividade (%)	Descrição	Nº de ocorrências	%
0-3	Relevo plano	62081	86.26
3-8	Relevo suave ondulado	5899	8.20
8-20	Relevo ondulado	3305	4.59
20-42	Relevo forte ondulado	681	0.95
Total		71966	100

Na Tabela 15, pode-se observar que a bacia hidrográfica do rio Lúrio apresenta 86.26% da sua área com um relevo plano e entre as outras classes de relevos, a que apresentou menor representatividade na bacia foi o relevo forte ondulado, apresentando uma percentagem de

0.95%. Associada as condições climáticas da região, essa característica da bacia é favorável a prática agrícola crescente na região.

4.2. Análise dos dados hidrológicos monitorados

Nas Tabelas 16 e 17 apresentam-se os dados das alturas de precipitação mensais obtidas para cada uma das estações monitoradas. As estações pluviométricas nas zonas jusante foram utilizadas na análise e as zonas monte e intermédio não foram utilizadas por falta de dados nos registos encontrados.

Tabela 16: Precipitação acumulada mensal na estação de Muite da bacia hidrográfica do rio Lúrio

Ano	Mês												Total
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	
2015-16	5,9	233,9	274,9	126,5	155,4	92,6	25	0	8,3	3	0	0	925,5
2016-17	11,8	11,3	59,1	263,9	128,3	66,4	49,4	0	10,1	1	3,2	0	604,5
2017-18	16	26	101,8	235,2	199,2	184,2	34	13	0	3,9	0	0	813,3
2018-19	3,2	9,6	207,1	393,3	121,8	126,3	69,6	10,4	0	4,2	0	0	945,5
2019-20	4	54,4	71,2	325,9	81,3	59,6	12	8	0	0	0	0	616,4
2020-21	32,3	0	72,4	123,9	126,3	264,6	11,2	8,3	4,2	6,1	0	0	649,3
2021-22	0	18	0	226,6	172,1	222,8	116,2	3	0	0	0	0	758,7
Média	10,5	50,5	112,4	242,2	140,6	145,2	45,3	6,1	3,2	2,6	0,5	0	759,0
Máximo	32,3	233,9	274,9	393,3	199,2	264,6	116,2	13,0	10,1	6,1	3,2	0	1546,8
Mínimo	0	0	0	123,9	81,3	59,6	11,2	0	0	0	0	0	276,0
Amplitude	32,3	233,9	274,9	269,4	117,9	205,0	105,0	13,0	10,1	6,1	3,2	0	1270,8

Tabela 17: Precipitação acumulada mensal na estação de Namapa da bacia hidrográfica do rio Lúrio

Ano	Mês												Total
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	
2015-16	0	20,8	121,2	262,7	167,7	112,9	33,7	0	0	0	0	0	719
2016-17	0	0	3,3	119,2	192,1	142,3	31,6	1,2	0	0	12,2	0	501,9
2017-18	14,7	22,5	177,9	309	162,6	168,6	59,3	20,5	0	4,9	0	1,1	941,1

2018-19	1,1	42,1	100,4	223,6	123	134,6	366,2	15,4	0	0	0	0	1006,4
2019-20	27	1,9	136,2	130	42,1	8,1	0	0	0	0,5	0	0	345,8
2020-21	0	9,4	51,7	139,8	163,9	230,6	5,3	0	0	52,1	0	0	652,8
2021-22	5,2	5,3	7,2	359	92,8	124,2	230,3	27,5	0,8	15,8	0	0	868,1
Média	6,9	14,6	85,4	220,5	134,9	131,6	103,8	9,2	0,1	10,5	1,7	0,2	2207,9
Máxima	27	42,1	177,9	359	192,1	230,6	366,2	27,5	0,8	52,1	12,2	1,1	1661,3
Mínimo	0	0	3,3	119,2	42,1	8,1	0	0	0	0	0	0	1488,6
Amplitude	27	42,1	174,6	239,8	150	222,5	366,2	27,5	0,8	52,1	12,2	1,1	1315,9

Analisado a variabilidade na média mensal, entre as duas estações da bacia do rio Lúrio, os meses com maiores médias de precipitação são os meses de Janeiro, Fevereiro e Março. Nos meses de ocorrência da estação chuvosa Outubro a Março os resultados nas Tabelas 16 e 17 observa-se ainda que o mês de Outubro, é o mês de início de período chuvoso, o total médio mensal de chuva é de 105 mm e 6,9 mm. A variação da média das chuvas neste mês foi de 32,3 mm e 27 mm, com o valor máximo médio 32,3 mm e 27mm referente as estações em Muíte e Namapa e de modo contrário, o valor mínimo de 0 mm e 0 mm.

Nos meses mais chuvosos, Janeiro, Fevereiro e Março, a média mensal de chuvas em Janeiro é de 242,2 mm e 220,5 mm, e a variação de 269,4 mm e 239,8 mm em Muíte e Namapa. Já a média mensal de precipitação em Fevereiro é de 140,6 mm e 134,9 mm e a amplitude de 117,9 mm e 150 mm referente as estações de Muíte e Namapa e, a média mensal de chuvas em Março é de 145,2 mm e 131,6 mm, e a oscilação de 205,0 mm e 222,5 mm em Muíte e Namapa.

No que se refere, especificamente, aos meses de Abril a Setembro, quando se considera o período de estiagem, e no mês de Abril ocorrem os maiores valores de precipitação mensais registrados, há um acumulado médio mensal de 45,3 mm e 103,8 mm, onde a variação de dados é de 105,0 mm e 366,2 mm, entre o valor máximo médio de 116,2 mm e 366,2 mm e o valor mínimo médio de 11,2 mm e 0 mm nas estações de Muíte e Namapa.

Os meses de Julho, Agosto e Setembro são os meses mais secos e com menor incidência com dias de chuva do ano e da estação, a média mensal de chuvas em Julho é de 2,6 mm e 10,5 mm, e a variação de 6,1 mm e 52,1 mm em Muíte e Namapa. Já a média mensal de precipitação em Agosto é de 0,5 mm e 1,7 mm e a variação de 3,2 mm e 12,2 mm referente

as estações de Muíte e Namapa a média mensal de chuvas em Setembro é de 0 mm e 0,2 mm, e a variação de 0 mm e 1,1 mm em Muíte e Namapa.

A sazonalidade climática na bacia hidrográfica é percebida nas Figuras 7 e 8, que ilustram as médias das alturas pluviométricas mensais entre 2015- 2022.

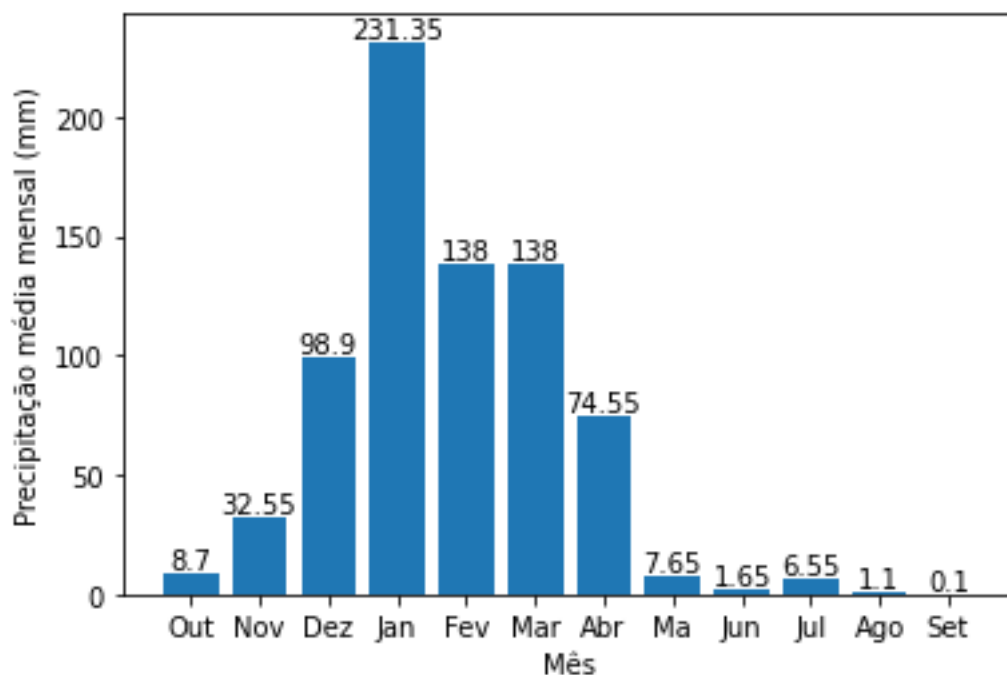


Figura 7: Precipitações médias mensais da bacia hidrográfica do rio Lúrio

Na Figura 7, observa-se que durante o ano hidrológico de 2015-16 a 2021-22, na bacia hidrográfica de Lúrio a precipitação durante as estações chuvosas ocorre entre Outubro a Março, enquanto a estiagem vai de Abril a Setembro.

Os maiores totais de precipitação ocorrem nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março com 231,35 mm, 137,75 mm e 138,4 mm, respectivamente. Em Abril ocorrem os maiores valores de precipitações mensais registadas, quando se considera o início do período de estiagem com 74,55 mm. Já, os menores totais de precipitação ocorrem nos meses de Junho a Setembro com 1,65 mm, 6,55 mm, 1,1 mm e 0,1 mm.

4.3. Estimativa de precipitação por detecção remota

4.3.1. Representação gráfica da precipitação

A Figura: 8, mostra a variação das precipitações médias mensais, dos dados via satélite para o intervalo entre 2015 a 2022, os meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro tiveram as

maiores variações de precipitação. Os meses mais secos foram Junho, Julho, Agosto e Setembro.

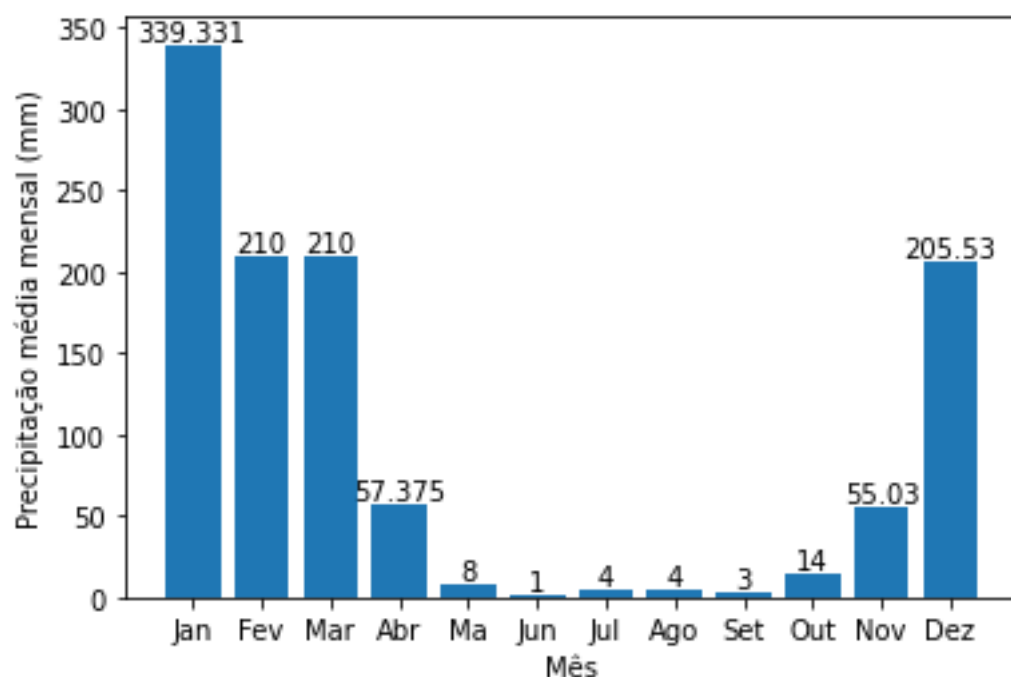


Figura 8: Comportamento da precipitação média mensal de satélite

4.3.2. Distribuição espacial de dados estimados por detecção remota

Tabela 18: Distribuição da precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio Lúrio

Precipitação média anual	Unidade	Quantidade
Média	Mm	1.156,60
Mínimo	Mm	988,87
Máximo	Mm	1.324,46
Amplitude	Mm	335,60

Segundo a Tabela 18, a distribuição espacial de precipitação média anual na bacia é de 1.156,60 mm, e a variação da média anual da precipitação foi de 335,60 mm, com a mínima quantidade média anual de 988,87 mm e máxima de 1.324,46 mm.

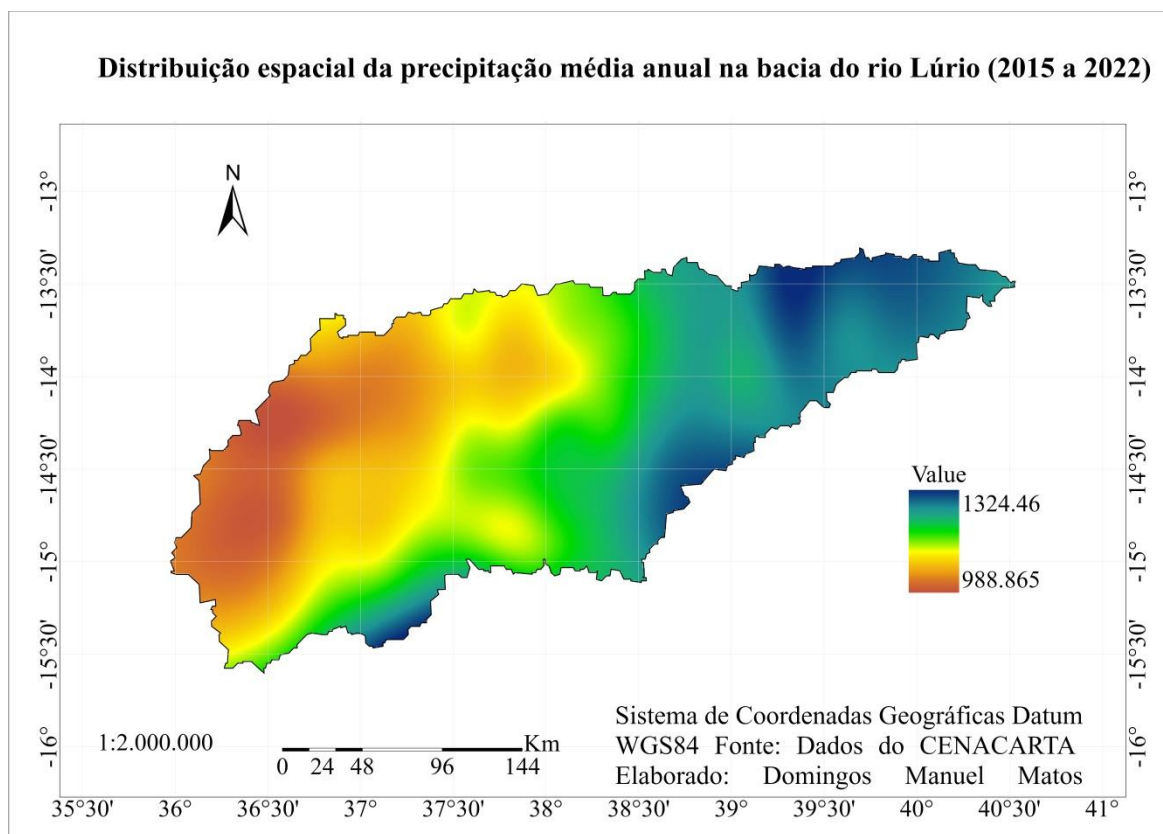


Figura 9: Distribuição espacial da precipitação média anual da bacia hidrográfica do Lúrio

O valor da precipitação média anual varia significativamente dependendo da localização e do clima da região. A Figura 9, mostra a precipitação média anual em diferentes locais da bacia do rio Lúrio.

4.4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as características físicas da bacia hidrográfica do rio Lúrio são classificados em 3 grupos de parâmetros morfométricos. Conforme o que se constatou nas relações entre as características físicas de susceptibilidade e os diversos contextos topográficos:

Quanto as características geométricas, a bacia hidrográfica do rio Lúrio apresenta uma área de drenagem de 61.119,206 km² e um perímetro de 1.679,222 km. Essa característica geométrica é classificada como das bacias grandes, tal informação permite avaliar a sua potencialidade hídrica e sua resposta hidrológica. Já o factor de forma 0,23, o coeficiente de compacidade 1,9 e o índice de circularidade 0,27, mostram que a bacia é moderadamente alongada com poucas chances de ocorrerem inundações de grandes áreas. Considerando essas

características, a bacia apresenta menor risco de enchentes em condições normais de precipitação. O formato alongado da bacia denota menor possibilidade de precipitações intensas cobrirem simultaneamente toda sua extensão. Dessa forma, menor probabilidade de uma grande quantidade de água vinda de diferentes tributários contribuírem simultaneamente água para o canal principal. Martins et al. (2020), encontraram resultado similar para a bacia de Monapo, ao sul da bacia hidrográfica do rio Lúrio, ao obter o coeficiente de compacidade de 1,968, o factor de forma igual a 0,205 e índice de circularidade de 0,254 indicando um formato alongado da bacia e uma predominância dos processos de escoamento.

No que se refere as características da rede de drenagem, a densidade de drenagem encontrada foi de 0,12, Km/Km² de rio para cada Km de área da bacia. Este índice é considerado baixo ou bacia com drenagem pobre, mesmo tendo uma quantidade considerável de cursos de água. Valores baixos de drenagem geralmente estão relacionados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração de precipitação. Em termos de classificação é de 4ª ordem, e nota-se 52,42% dos rios da bacia são de 1ª ordem o que representa um grande número de nascentes. Na bacia do rio Monapo, Martins et al. (2020) encontraram resultados similares com uma densidade de drenagem de 0,351 Km/Km² considerada também baixa mas apresentou diferença por ter o canal de 5ª ordem.

No que concerne as características de relevo a bacia hidrográfica do rio Lúrio apresenta grande variação de altitude, com mínima de 20, máxima de 2100 m e altitude média de 777,5 metros. De acordo com a classificação de relevo apresentada por Muchangos (1999) a bacia hidrográfica do rio Lúrio apresenta grandes variações de temperatura causando variações na evapotranspiração anual. Essa variação nos valores de altitude pode influenciar na distribuição da precipitação e na intensidade de escoamento da água na bacia hidrográfica do rio Lúrio. Em altitudes elevadas, a temperatura é baixa, e apenas pequena quantidade de energia é utilizada para evaporar a água, ao passo que, em altitudes baixas, quase toda a energia absorvida é usada para evaporação da água.

De um modo geral, a bacia apresenta baixa declividade, em que predomina o relevo plano e relevo suave ondulado, cujas declividades estão entre 0 a 8% e algumas áreas com declividade de 8 a 20%, todas como com relevo ondulado além de pequenos recortes territoriais que possuem relevo fortemente ondulado entre 20 a 42%. A declividade

encontrado por Macarringue et al. (2017) no corredor de Nacala, norte de Moçambique, a região predomina por terreno planos declividade até 3% (67%) e solos com textura argiloso ou media. Essa característica favorece a expansão agrícola, pois os níveis de erosão nesta classe de declividade são relativamente reduzidos, facilitando a prática da agricultura mecanizada.

O período chuvoso tem início no mês de Outubro, estendendo-se até o final do mês de Março, sendo que os maiores picos são observados nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março (JFM). Por outro lado, o período de estiagem, tem início desde os meses de Abril a Setembro, que caracteriza a época de seca segundo o calendário meteorológico do país, e no mês de Abril ocorrem os maiores valores de precipitação mensais registados, isto porque no mês de Abril ocorre a maior influência da convergência entre os fluxos de leste e nordeste e sujeitas a advecção de humidade proveniente da região oceano indico, dada a sua localização junto á costa oceânica no canal de Moçambique, e sendo que os meses de Julho, Agosto, Setembro são os que apresentam os menores valores médios mensais da precipitação.

Essas características mensais do período chuvoso são semelhantes as características encontradas por Tique (2015), quando fez uma análise da climatologia dinâmica da variabilidade da precipitação na região Sudeste da África com objectivo de analisar a variabilidade da precipitação na região sudeste da África, com maior ênfase para Moçambique, durante sua estação chuvosa Outubro a Março, a precipitação sobre a região norte e vice-versa no período de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, sendo um resultado influenciado pela manifestação do El Nino - Oscilação Sul.

As séries temporais mensais de precipitação estimada por satélite para os meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro apresentam maiores valores de precipitação em relação aos, meses de Outubro e Novembro quando se consideram estações quente e chuvosa, nesta época do ano, a zona de convergência intertropical (CIT), no seu movimento anual para sul, invade a fronteira norte de Moçambique em Novembro e a sua frente alcança entre Janeiro e Fevereiro a sua posição meridional. Os ciclones são mais frequentes entre Janeiro e Fevereiro provocam chuvas acompanhadas por trovoadas, ventos fortes e tempestuosos que atingem, por vezes, mais de 100km/h. Na estação seca e fresca que vai de Abril a Setembro, apresenta

menor variação de precipitação do ano. O comportamento da precipitação anual da bacia possui uma precipitação média anual superior a 1.156,60 mm.

Em estudo realizado por Macarringue et al. (2017) no corredor de Nacala, norte de Moçambique, constatou-se que as precipitações mais altas concentram-se mais nas suas porções, especialmente nos distritos de Ngauma, Cuamba e Malema. Constatou-se ainda que cinquenta e um por cento (51%) do corredor possuem condições de precipitação média anual entre 1.000 mm a 1.100 mm.

CAPITULO V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

A partir dos dados obtidos através dos trabalhos no estágio, realizados entre Agosto a Dezembro de 2023, aplicando os sistemas de informação para análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Lúrio, conclui-se que a bacia apresenta:

- a) Um formato irregular, com um coeficiente de compacidade de 1,9, o factor de forma 0,23 e o índice de circularidade 0,27 fazendo com que a bacia apresente pouca susceptibilidade a pico de enchentes em condições normais de precipitação.
- b) Um sistema de drenagem de baixa densidade o que significa uma pequena quantidade de canais em relação a área de drenagem, isto é, bacia menos propensa a picos de vazão e, portanto, menor risco de ocorrência de extravasamento do canal. Em termos hierárquico a bacia apresenta quatro ordens, sendo a primeira ordem a que apresenta maior número de canais, cerca de 52, 41% de cursos de água.
- c) A sua área com um relevo plano, factor que propicia o desenvolvimento de actividades agrícolas. Quanto a altitude, a área da bacia apresenta grande variabilidade por consequência maior variação nas variáveis temperatura e precipitação.
- d) Dois períodos característicos bem definidos, sendo o período chuvoso que ocorre de Outubro a Março e outro de estiagem, de Abril a Setembro. Os meses com maiores médias de precipitação são os meses de Janeiro, Fevereiro e Março. Os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro são os meses mais secos e com menor incidência em dias de chuvas do ano e da estação.

5.2. Recomendações

Na realização do presente estudo alguns aspectos importantes de natureza técnica foram notados, os quais podem ser considerados em estudos futuros, assim recomenda-se:

- Escolher locais bem monitorados, que permitam a utilização de outros métodos no cálculo da precipitação média sobre a bacia, uma vez que o presente estudo se limitou

a utilizar dados de precipitação oriundos das estações a fim de calcular as médias altimétricas de uma estação localizada no interior da bacia hidrografia.

- A continuidade da pesquisa com um número maior de estações em toda a região de estudo, para uma melhor análise da bacia hidrográfica.
- Usar as técnicas de geoprocessamento aplicadas em ambiente de SIG na análise de comportamento hidrológico da bacia hidrográfica, que apresentam as aplicações de planejamento e gestão de recursos hídricos e ambientais.

6. REFERÊNCIAS

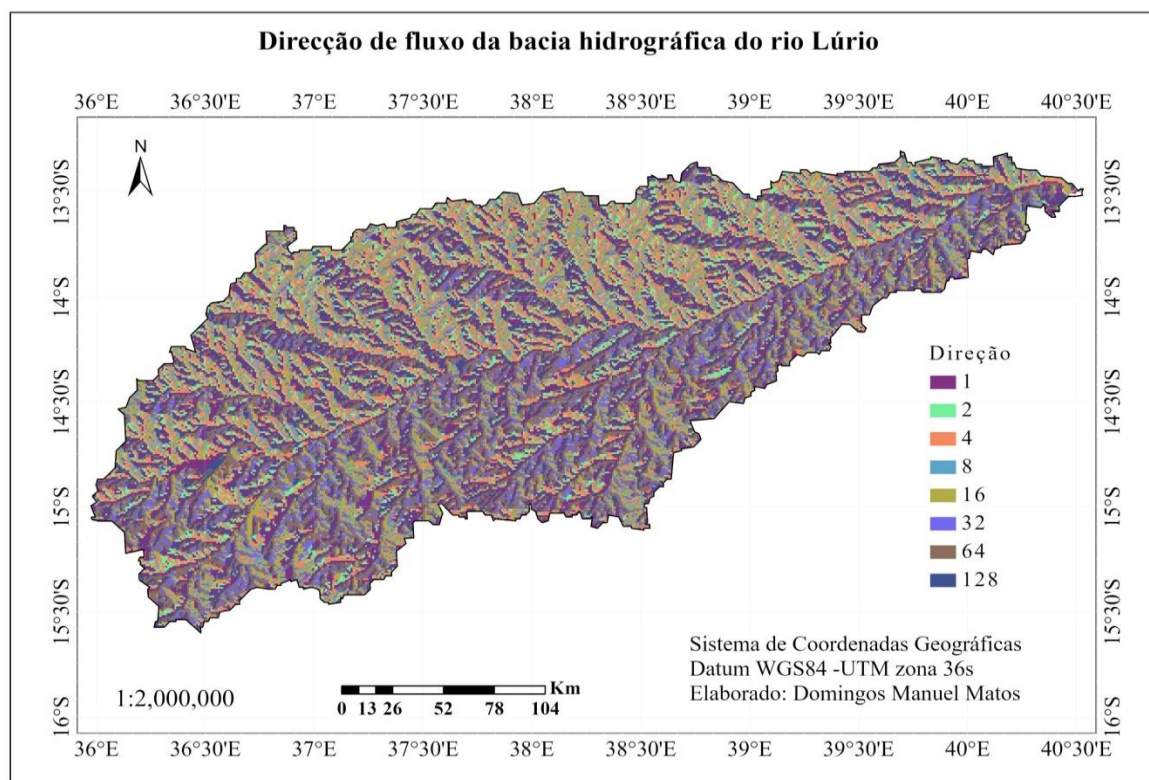
- Andriotti, J. L. (2009). *Fundamentos de estatística e geoestatística*. São Leopold: RS, Unisimos.
- Becker, F. G. (2002). Aplicação de sistemas de informação geográfica em ecologia e manejo de bacias hidrográficas. In Schiavetti, e Camargo., *Conceitos de bacias hidrografias: Teorias e aplicações* (pp. 91-110). Brasil: Ilheus, Ba.
- Bertoni, J. C., e Tucci, C. E. (2013). Precipitação. In C. E. Tucci, *Hidrologia: ciência e aplicação* (4 ed.). porto Alegre: UFRGS.
- Boletim da Republica deMoçambique. (2019). Plano nacional de recursos hidricos. Moçambique: BR. Nr. 49 da I Série. Resolução 11/2019 de 12 de Marco.
- Caeiro, S. (2013). *Sistema de informação geográfica*. Portugal: LCA.
- Campos et al. (2015). Geoprocessamento aplicado na caracterização morfomètria da microbacia da ribeirão descavado - botucatu, SP. *Irriga*, 1, 52-66.
- Cardoso et al. (2006). Caraterização morfometrica da acia hidrográfica do rio Debossan. *Revista Árvore*, 30(2): 241-248.
- Castro JR., E. (2001). *O papal da fauna endopedonica na estruturação física dos sols e o seu significado para a hidrologia de superficie em região montanhosa florestada*. Universidade Federa do rio de Janeiro, Mestrado em Geografia, Rio de Janeiro.
- Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção. (2023). *Cartografia da Divisão Administrativa de Moçambique*. Moçambique: CENACARTA.
- Centeno, J. S. (2003). *Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais*. . Curitiba: UFPR.
- Cosme, A. (2012). *Projecto em sistema de informação geográfica*. Lisboa: LIDEL- Edições Técnicas.
- Costa, S. G. (2017). *Análise de espácio-temporal de chuvas na paraíba Utilizando estimativas de satélite TRMM*. João Pessoas: Desertação de Mestrado, UFPB, PB.

- Coutinho et al. (2018). Application of artificial neural networks in the gap filling of meteorological time series. *Revista brasileira de meteorologia*, 32 (2) 317-328.
- Elesbon et al. (2011). Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço norte do rio são Mateus. *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, 64, 281 - 288.
- Centro Nacional de Pesquisa de Solos (1999). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: EMBRAPA. Produção de Informação, Rio de Janeiro.
- Feitosa, F. E. (2008). *Hidrogeologia: conceito e aplicações* (3º rev. e ampl ed.). Rio de Janeiro: CPRM, LABHID.
- Fernandes et al. (2018). Análise das características morfométrica da bacia hidrográfica do rio de ondas, BA. . *Revista Científica Multidisciplinar Nucleo do conhecimento*, Volume 2 , 55-71. ISSN: 2448-0959
- Ferreira et al. (2012). Características morfométrica da sub-bacia do Ribeiro Panquinhas, ES. *Enciclopédia Biosfera*, 8(15) 2247-2256.
- Florenzano, T. G. (2008). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo:: oficina de Textos.
- Gonçalves, A. C., e Sousa, A. M. (2017). *Tecnologias de informação geográfica ARCGIS 10*. Évora: Universidade de Évora, textos didáticos.
- Guimarães, R. C. (2017). Bacia Hidrográfica. In Shahidian et al, *Hidrologia agrícola* (2ª ed., revista e ampliada, pp. 5-18). Evora: CAAM . ISBN: 978-989-8550-40-8
- Hartwig, M. P. (2012). *Apostila hidrologia*. Brasil: Universidade Alberta do Brasil do Instituto Federal Sul- rio gradiente.
- Horton, R. E. (1945). Erosional developement of streams and their drange basins . hydrophisical approach to quatitative morphology, *Bulletin of the Geological society of america*, 56(3), 275-370.
- Kobiyama et al. (2008). *Recursos hídricos e seneamento* (1º ed.). Curitiba: Organic Trading.
- Lepsch et al. (1991). *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso* (4 ed.). campias: SBCC.

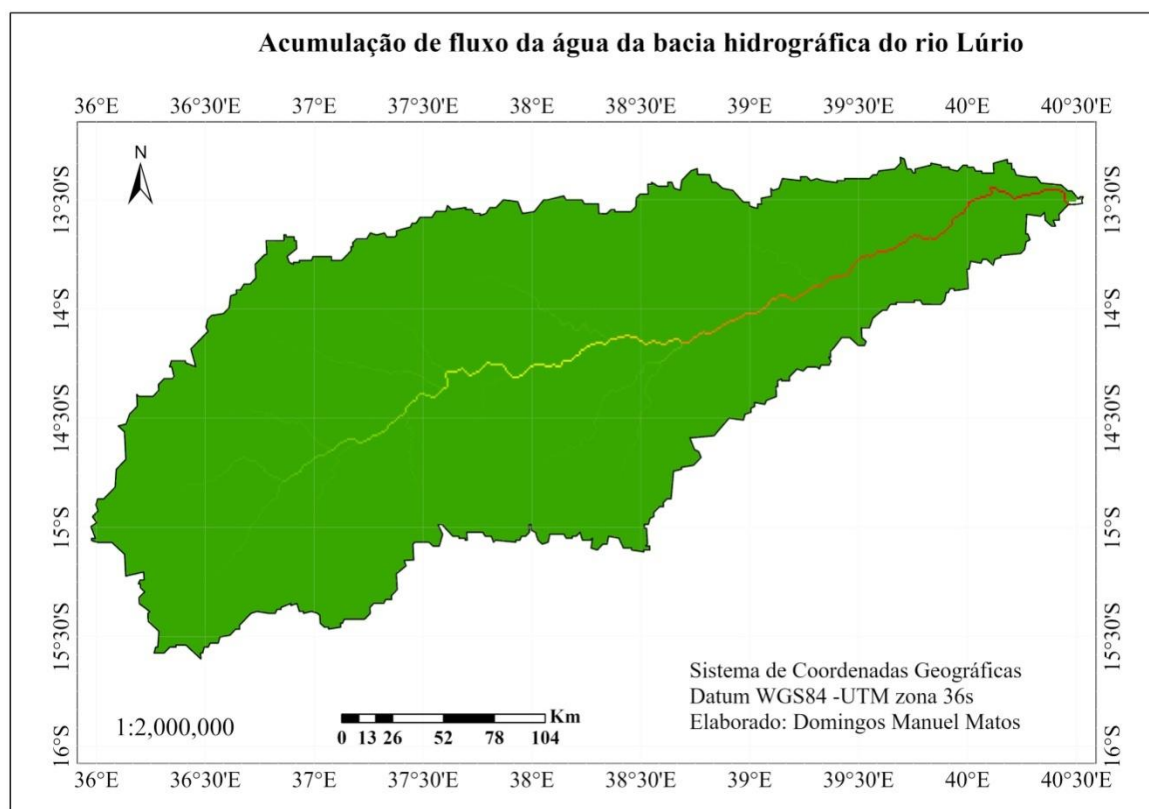
- Li et al. (2005). *Digital Terrain Modeling: principles and methodology*. Boca Raton: CRC Pres.
- Lillesand, T. M., e Chipman. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7º ed.). New york: Wiley and Sons Inc.
- Lima, et al. (2013). Estimativa do potencial de recarga na sub-bacia das posses, extrema (mg), em função dos atributos fisiografica, pedológicos e topográficos. *Geociencias* 32(1). 51-62
- Lima, W. P. (2008). *Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas*. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de ciências florestais Paracicaba. SP.
- Macarringue et al. (2017). Considerações sobre precipitação, relevos e solos e analise do potencial de expansão agrícola da região Norte de Moçambique. *Uberlandia*, 29(1). 109-122.
- Marques, J. Q. (1971). *Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra* (3 ed.). Brasil: Escritório Técnico Brasil-Estados Unidos (ETA).
- Martins et al. (2020). Análise fisiográfica da bacia do rio Monapo – Província de Nampula-Moçambique. *Geographia*, 23(50). 1-21.
- Matos, J. (2008). *Fundamentos de informação geográfica* (5ª ed.). Lisboa: LIDEL- Edições Técnicas.
- Mioto et al. (2014). Morfometria de Bacias Hidrograficas atraveés de SiGs Livres e Gratuitos:. *Anuario do Instituto de Geociencias.*, 37(2). 16-22.
- Miranda, J. I. (2005). *Fundamentos de sistemas de informações geográficas*. Brasilia: Embrapa Informação Tecnológica.
- Mote-Mor., R. C. (2012). *Análise de processos hidrológicos em bacias de rios intermitentes no semiárido mineiro*. Belo Horizote: Tese, UFMG.
- Muchangos, A. (1999). *Moçambique paisagens e Regiões Naturais*. Maputo: FBM.
- Naghattini, M. (2012). *Introdução á hidrologia aplicada*. Belo Horizote: UFMGEE.

- Painho, M., e Cuvelo, P. (2008). *Ciência da informação geográfica*. Nova de Lisboa: E-book 1 a 5. Unidades de Aprendizagem Instituto Superior de Informação Geográfica da Universidade.
- Pike, R. J. (2000). Geomorphometry - diversity in quatitative surface analysis. *Progress Physical Geography* 24 (1), 1-20.
- Rocha, P. C., e Santos, A. (2018). *Análise hidrológica em Bacias hidrográficas*. Mercator, fortaleza.
- Saito, N. S. (2011). *Modelos digitais de elevação na sub-bacia hidrografica do correjo Horizonte, Alegre- Espirito Santo*. Desertatação (Mestrado em Ciencias Florestais), Faculdade de Ciencias Agrarias. Geronimo Monteiro: Universidade Federal do Espirito santo.
- Santo et al. (2001). *higrometria aplicada*. Curitiba, PR: Instituto de tecnologia para o desenvolvimento .
- Sarmiento et al. (2020). Análise da precipitação na bacia hidrográfica do rio Forqueta. *XIX Simpósio Brasileiro de recursos Hídricos*, 1-20.
- Schiavetti, A., e Camargo, A. F. (2002). *Conceitos de bacias hidrografias : Teorias e aplicação*. Brasil: Ilheus, BA: Editus.
- Shreve, R. L.(1967). Infinite topologically random charnel networks. *The Journal of Geology*, 75(2): 178--186.
- Strahler, A. N. (1957). Quatitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union*. 38(6): 913-920
- Tique, A. T. (2015). *Analise da climática da climatologia dinâmica da variabilidade da precipitação na região sudeste da África*. Dissertação- Instituto de astronomia, Geofísica e Ciência Atmosferas, Universidade de São Paulo.
- Tucci, C. E. (2004). *Hidrologia: ciência aplicada*. (2º, Ed.) Porto Alegre: UFRGS/ABRH.
- Valeriano, M. M. (2008). *Topodata: Guia para utilização de dados geomorfologicos locais*. São José dos campos: INPE.
- Veloso, A. J. (2002). Importância do estudo das vertentes. *GEOgraphia*, 4(8):79- 83.

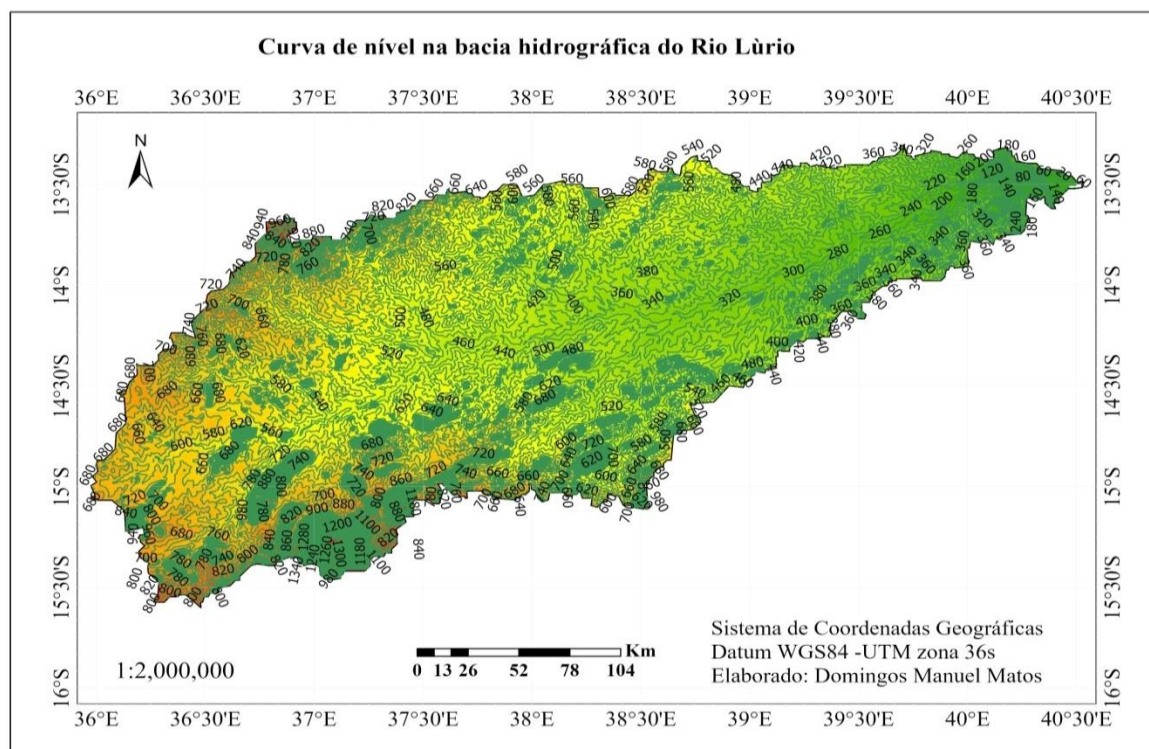
APÊNDICES



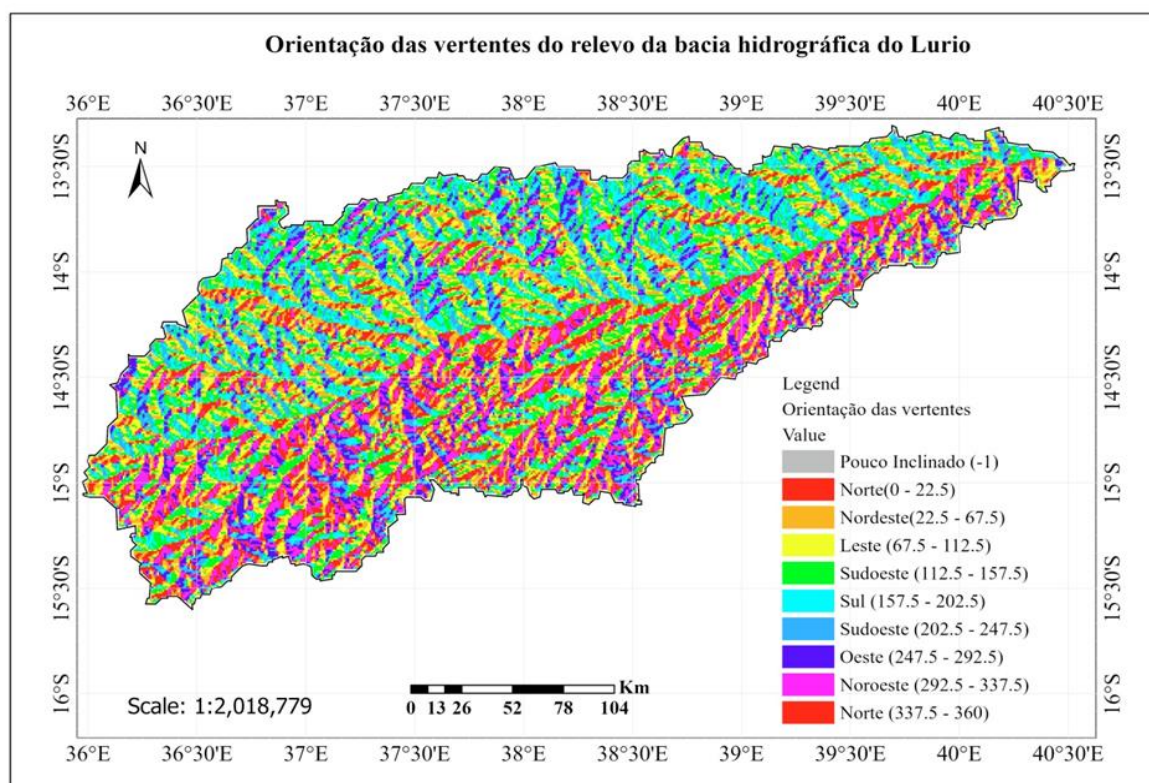
Apêndice 1: Direcção da descida mais íngreme da bacia hidrográfica do rio Lúrio



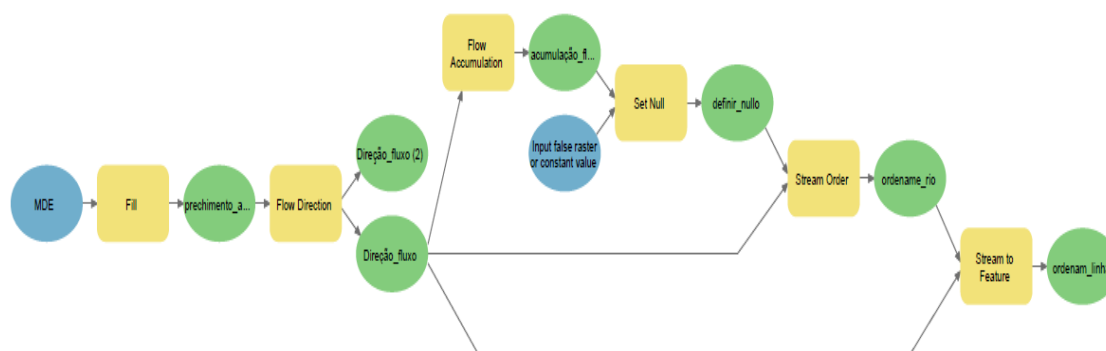
Apêndice 2: Acumulação de fluxo da água da bacia hidrográfica do rio Lúrio



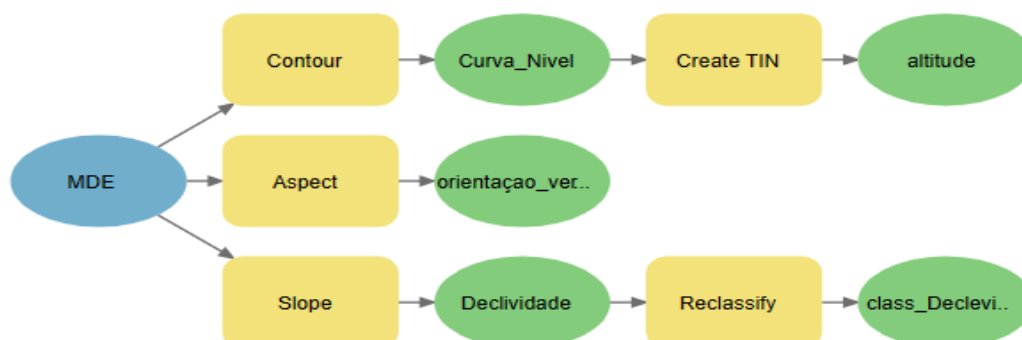
Apêndice 3: Curva de nível na bacia hidrográfica do rio Lúrio



Apêndice 4: Orientação das vertentes do relevo da bacia hidrográfica do rio Lúrio



Apêndice 5: Modelação geográfica para determinar a hierarquização dos cursos de água



Apêndice 6: Modelação geográfica para determinar a análise de superfície