



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal

Departamento de Engenharia Rural

Licenciatura em Engenharia Agronómica

Tema:

Mapeamento das áreas Agrícolas Inundadas na cheia do Ano 2023 usando dados Sentinel-1 e Sentinel-2 no Distrito de Boane

Autor:

Humeid Hazize Savai Bicá

Supervisor:

Mestre Artur Pedro Madal, Eng^o.

Prof. Doutor Sebastião Famba, Eng^o.

Maputo, Junho de 2025

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Identificação das áreas Agrícolas Inundadas na cheia do Ano 2023 usando Imagens
Sentinel-1 e Sentinel-2 no Distrito de Boane**

Autor:

Humeid Hazize Savai Bicá

Supervisor:

Mestre Artur Pedro Madal, Eng^o.

Prof. Doutor Sebastião Famba, Eng^o.

Maputo, Junho de 2025

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Humeid Hazize Savai Bicá, declaro por minha honra, que o presente relatório académico foi elaborado por mim próprio não tendo sido apresentado a mesma dissertação anteriormente, e que constitui como resultado da minha investigação pessoal, estando citado no texto e referenciado todas fontes utilizadas.

Maputo, aos _____ de _____ de 2025

(Humeid Hazize Savai Bicá)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Abdul Hazize Savai Bicá, Rute Manuel Bié e também ao meu irmão Sheldon Hazize Savai Bicá.

AGRADECIMENTOS

Agradecer em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida e por me ter sustentado sempre para que pudesse apresentar o presente trabalho perante as diversas adversidades.

Agradeço aos meus pais pelo suporte financeiro, emocional e ensinamentos ao longo dos meus estudos e por estarem sempre presentes na minha vida.

Agradeço ao meu irmão pelo apoio e conselhos constantes.

Agradeço aos meus amigos e colegas Adma David, Esperança Cossa, Ursula dos Santos, Eloide Iva pelo apoio e demais colegas que de forma indirecta ajudaram na elaboração do presente trabalho de licenciatura.

Agradeço aos meus supervisores que guiaram-me e apoiaram pacientemente durante a elaboração desta dissertação.

EPIGRAFE

“Portanto, não se preocupe com o amanhã,
Pois o amanhã trará as suas próprias preocupações,
Basta a cada dia o seu próprio mal.”

Mateus 6:34

RESUMO

As calamidades naturais são fenómenos que têm acontecido frequentemente em todo mundo. Moçambique em específico tem sido alvo de inundações, cheias e ciclones, com tendência a agravar-se nos últimos anos devido as mudanças climáticas, posição geográfica e urbanização descontrolada. As inundações têm sido no país um grande causador de perdas no sector da agricultura e outros e o conhecimento da dimensão real pode ajudar na gestão dos seus efeitos a nível nacional. As técnicas de mapeamento como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), *Google Earth Engine* entre outros é possibilita visualizar o alcance das inundações. O objectivo do presente trabalho foi de mapear remotamente as áreas agrícolas inundadas em 2023 no Distrito de Boane usando a plataforma *Google Earth Engine* para gerar imagens da área inundada através da constelação do Sentinel-1 que fez o uso do método de diferenciação de imagens das datas de pré e pós inundações para a extração da área inundada no distrito e de seguida a validação da precisão apresentando uma precisão total de 81,52% e índice Kappa de 0.7588 comparando com o mapa da *Copernicus EMS* que classifica-se sendo um bom resultado de acordo com a tabela de Landis e Kock no teste Kappa, também através do *Environmental System Resourch Institute (ESRI)* que usando o Sentinel-2 disponibiliza imagens de uso e cobertura da região para a reclassificação e extração da área de agricultura do distrito de Boane usando o aplicativo QGIS. Durante as inundações de Fevereiro de 2023 no distrito de Boane foram inundadas uma área total de 620 hectares, correspondendo a cerca de 8,4% da área total lavrada neste Distrito. Este estudo demonstrou que o uso de imagem satélite e SIG são uteis para resgatar a informação sobre o impacto das cheias no passado e assim, poder-se prever potenciais impactos em tempo real usando metodologias semelhantes.

Palavras-chave: Agricultura, mapeamento de cheias, desastres naturais, *Google Earth Engine*, imagem satélite, suscetibilidade.

ABSTRACT

Natural disasters are phenomena that have been occurring frequently throughout the world. Mozambique in particular has been the target of floods, high waters and cyclones, with a tendency to worsen in recent years due to climate change, geographical position and uncontrolled urbanization. Floods have been a major cause of losses in the country's agricultural and other sectors, and knowledge of their true extent can help in managing their effects at a national level. Mapping techniques such as Geographic Information System (GIS), Google Earth Engine, among others, make it possible to visualize the extent of floods. The objective of this work was to remotely map the agricultural areas flooded in 2023 in the Boane District using the Google Earth Engine platform to generate images of the flooded area through the Sentinel-1 constellation that used the method of differentiating images of pre and post flood dates to extract the flooded area in the district and then validate the accuracy presenting a total accuracy of 81.52% and a Kappa index of 0.7588 compared to the Copernicus EMS map that is classified as a good result according to the Landis and Kock table in the Kappa test, also through the Environmental System Research Institute (ESRI) that using Sentinel-2 provides images of use and coverage of the region for the reclassification and extraction of the agricultural area of the Boane district using the QGIS application. During the February 2023 floods in Boane District, a total area of 620 hectares was flooded, corresponding to about 8.4% of the total cultivated area in this District. This study demonstrated that the use of satellite imagery and GIS are useful to retrieve information on the impact of past floods and thus be able to predict potential impacts in real time using similar methodologies.

Keywords: Agriculture, flood mapping, natural disasters, Google Earth Engine, satellite image, susceptibility.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPIGRAFE	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS	vii
ANEXOS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	ix
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema e justificativa.....	2
1.3 Objectivos.....	3
1.3.1 Objectivo Geral.....	3
1.3.2 Objectivos Específicos	3
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Cheias e Inundações	4
2.2.Factores que influenciam para ocorrência de cheias e inundações em Moçambique	5
2.3. Principais Causas de inundações	6
2.3 Consequências das inundações.....	7
2.4 Historial de fenómenos naturais que afectaram o Distrito de Boane.	9
2.4.1 Secas que afectaram o distrito de Boane	10
2.4.2 Cheias e Inundações que afectaram o Distrito de Boane.....	11
2.4.3 Inundações do distrito de Boane de 2023	11
2.5 Sensoriamento remoto.....	13
2.6 Sentinel-1	17

2.7 Uso e Cobertura do Solo	17
2.8 <i>Google Earth Engine</i> (GEE)	18
2.9 JavaScript	18
2.10 Teste Kappa.....	19
III. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Descrição da área de estudo	21
3.1.1 Clima	22
3.1.2 Hidrografia.....	22
3.1.3 Solo.....	23
3.1.4 Relevo.....	25
3.1.5 Vegetação	26
3.1.6 Agricultura.....	26
3.2 Processamento de imagens Obtidas pelo <i>Google Earth Engine</i> (GEE).....	27
3.3 Avaliação das Imagens processadas pelo <i>Google Earth Engine</i> (GEE) no QGIS.....	27
3.4 Processamento de Imagens obtidas pelo <i>Environmental Systems Research Insitute</i> (ESRI) usando QGIS	28
3.5 Combinação dos dados obtidos pelo GEE e ESRI no QGIS.....	28
3.6 Fluxograma Metodológico	29
V. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Uso e cobertura do solo	30
5.2 Área de Agricultura.....	32
5.3 Área de inundada.....	33
5.4 Área de Agricultura Inundada	35
VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	38
6.1 Conclusões	38
6.2 Recomendações.....	38
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Calamidades recorrentes em Moçambique.	7
Figura 2: Cheias ocorridas em Bacias Hidrográficas.	8
Figura 3: Ordem cronológica de fenómenos naturais ocorridos no Distrito de Boane.	9
Figura 4: Fluxo de entrada e saída diária de água na barragem dos pequenos Libombos.....	12
Figura 5: Níveis de profundidade de água atingidos durante o pico das inundações no distrito de Boane.	13
Figura 6: Sensor passivo (1) e sensor activo (2).....	14
Figura 7: Diferentes resoluções Espaciais. A imagem de alta resolução (0,5 m) a esquerda e a imagem de baixa resolução (30 m) a direita.	15
Figura 8: Resolução Temporal de um satélite geoestacionário.	15
Figura 9: Resolução Espectral.	16
Figura 10: Diferença de Resolução radiométrica.	16
Figura 11: Localização geográfica do distrito de Boane.	21
Figura 12: Barragem dos Pequenos Libombos.....	23
Figura 13: Divisão dos solos de Boane.	24
Figura 14: Mapa do relevo do Distrito de Boane.	25
Figura 15: Diagrama de processamento de imagens.	29
Figura 16: Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Distrito de Boane no ano de 2023.	30
Figura 17: Percentagem de Uso e Cobertura do Solo no distrito de Boane em 2023.	31
Figura 18: Área usada para a prática de Agricultura no distrito de Boane em 2023.....	32
Figura 19: Áreas amplamente inundada extraídas do processamento por GEE.....	33
Figura 20: Área do distrito de Boane inundada em Fevereiro de 2023 de acordo com o autor no mapa a esquerda e Copernicus EMS a direita.....	34
Figura 21: Área de agricultura inundada.	35
Figura 22: Área de Agricultura inundada.	36
Figura 23: Percentagem de área cultivada afectada.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de inundações e suas causas.	5
Tabela 2: Secas que afectaram o distrito de Boane desde 1980 até 2024.....	10
Tabela 3: Inundações e cheias que afectaram o distrito de Boane desde 1980 até 2024.....	11
Tabela 4: Influência dos diferentes tipos de uso de terra sobre as inundações.....	18
Tabela 5: Modelo da matriz de erro usado na validação da precisão temática.....	19
Tabela 6: Níveis precisão conforme o resultado Kappa.	20

ANEXOS

Anexo 1: Classes de uso e cobertura e área que ocupa	47
Anexo 2: Classes e respectivas descrições.	48
Anexo 3: Comparação das classes usando referências da fotointerpretação do Distrito Boane.	48
Anexo 4: Matriz de erro dos mapas de inundação para análise da precisão obtida durante a classificação digital.....	49
Anexo 5: Resultados do índice Kappa baseada na matriz de erro.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS

DINAGECA	Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção
DARN	Direcção de Agronomia e Recursos Naturais
ESA	<i>European Space Agency</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
IAI	Inquérito Agrário Integrado
IIAM	Instituto de Investigação Agraria de Moçambique
MAE	Ministério da Administração Estatal
MADER	Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural
MARH	Monitoria e Avaliação de Recursos Hídricos de Moçambique
MICOA	Ministério Para Coordenação da Accção Ambiental
MSI	Instrumento multiespectral
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PIB	Produto Interno Bruto
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
UNICEF	<i>United Nations International Children's Emergency Fund</i>
USGS	<i>United State Geological Service</i>
SWIR	Infravermelho de onda curta
VNIR	Faixas infravermelho próximo

I. INTRODUÇÃO

1.1 Antecedentes

As inundações são consideradas um dos maiores problemas ambientais que afectam o mundo actualmente, resultantes principalmente do aquecimento global terrestre. As inundações causam grandes impactos em diferentes sectores antropológicos como o sector agrícola, actividades comerciais, transportes, saúde, etc (Rodrigues, 2024). Devido a expansão das zonas urbanas, que leva a redução de cursos de água, sendo antigos leitos de água bloqueados por prédios, estradas ou qualquer outro tipo de edificação, Moçambique registou diversos casos de inundações nos últimos anos, principalmente nas grandes cidades devido a vários factores como a localização geográfica do próprio país que contribui para ocorrência de diversos fenómenos como ciclones, secas e claro inundações (Victor *et al.*, 2023).

Segundo Amaral & Moni (2020), inundações é um fenómeno natural que ocorre em períodos de chuva, considerado o acúmulo de água fora do normal causadas pelo alagamento das águas dos rios, subindo alguns centímetros formando camadas de água próximas do rio ou atingindo níveis alarmantes no caudal do próprio rio. A inundações do ano 2023 no distrito de Boane, é um caso prático que resultou da chuva intensa que se fez sentir na região sul de Moçambique e Africa do Sul que contribuiu para o aumento do caudal da barragem dos Pequenos Libombos excedendo a capacidade máxima de retenção de água da barragem (Nuvunga, 2023).

Actualmente é possível mapear áreas agrícolas inundadas numa determinada região e tempo devido ao avanço das tecnologias de geoprocessamento que permitem a extração de imagens e dados precisos através de modelos e códigos de programação (Chaves *et al.*, 2020). Para Cristo (2002), Ahmad & McCalpin (1999) o estudo de mapeamento de áreas susceptíveis a inundações é de extrema importância, principalmente na planificação urbana e rural, pois possibilita a planificadores elaborarem medidas de prevenção de modo a reduzir danos e criar políticas públicas assim como planos de acções que sejam capazes de até mesmo eliminar as situações de riscos através de deslocamento da população e suas actividades em zonas propensas ao risco.

O Município de Boane apresenta alguns dados estimativos da área afectada pelas inundações (Cuco, 2023), assim como da área agrícola afectada, dando a necessidade de se replicar os estudos usando outra diferente ferramenta para obtenção desses dados, sendo o *Google Earth Engine* uma das ferramentas que apresenta maior precisão actualmente (Becker *et al.*, 2019).

1.2 Problema e justificativa

Segundo o Inquérito agrário integrado (2020) o Distrito de Boane apresenta mais de 14 mil explorações agrícolas com áreas de 0.5 hectares em média (pequenas explorações), ocupando aproximadamente 7.500 hectares que corresponde a 9,1% de toda a superfície do distrito praticada por cerca de 72% da população activa do distrito.

No distrito algumas produções estão em locais próximos ao rio e susceptíveis a inundações, a expansão urbana que interfere com a circulação dos cursos de água (Cau, 2023). Não obstante, Chirinzane (2024) afirma que o acúmulo significativo das descargas na Barragem dos Pequenos Libombos em comunhão com a forte precipitação que se fez sentir no início do ano de 2023 atingiram até 300 mm (acima de 80% da sua capacidade máxima de retenção de água) e conseqüentemente aumentou a perda de grande parte das áreas agrícolas.

O fenómeno reduziu a produção na província afectando negativamente a economia do país assim como aumentou a insegurança alimentar no distrito de Boane (Nuvunga, 2023).

Segundo Cuco (2023) houve perda de 29% das áreas agrícolas no distrito de Boane, correspondendo a mais de 9 mil, em contrapartida os dados do Inquérito Agrário Integrado (2020) e *Environmental Systems Research Insitute* (2024) mostram que área total cultivada no distrito é de aproximadamente 7,500 hectares o que não entra em concordância com o relatório de Cuco, assim sendo, no presente trabalho pretende-se identificar e quantificar as áreas agrícolas afectadas pelas inundações no distrito de Boane, Província de Maputo.

1.3 Objectivos

1.3.1 Objectivo Geral

- Mapear das áreas Agrícolas Inundadas pela cheia do Ano 2023 usando Imagens Sentinel-1 e Sentinel-2 no Distrito de Boane.

1.3.2 Objectivos Específicos

- Avaliar Os diferentes tipos de Uso e Cobertura;
- Identificar as áreas inundadas no distrito de Boane em 2023;
- Quantificar as áreas agrícolas inundadas no distrito de Boane em 2023.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cheias e Inundações

Cheias trata-se de uma catástrofe natural que ocorre quando há precipitação muito intensa num curto período num determinado lugar, fazendo com que o caudal do rio suba excessivamente e aumento saindo do seu caudal normal e conseqüentemente causando as inundações (Ramos, 2009).

Segundo Amaral e Moni (2020) inundação   o acúmulo anormal de água em áreas emersas geralmente causada pelo transbordamento das águas de rios do seu leito natural de escoamento ou aumento do nível do mar. Estes eventos apresentam-se resultantes de diferentes causas e, consoante estas, podem ser divididas em vários tipos: inunda es fluviais ou cheias, inunda es de depressões topográficas, inunda es costeiras e inunda es urbanas.

Embora nem todas as cheias e inunda es sejam devidas a causas meteorológicas, essa   a causa mais comum como factor que desencadeia este fen meno. As inunda es são quase todas devidas a: i) Cheias lentas dos grandes rios; ii) Cheias rápidas dos rios e ribeiras de pequenas e m dias bacias hidrográficas; iii) Subida das águas subterrâneas em locais topograficamente deprimidos; iv) Inunda es devidas   sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais nos meios urbanos; v) Inunda es costeiras devidas a galgamentos oceânicos (*storm surge*) (Amaral & Ribeiro, 2009).

Costa & Teuber (2001) consideram as inunda es e enchentes como um mesmo fen meno inevitável, pois depende inteiramente da natureza para a sua ocorrência, mais tarde alguns autores como Mosca & Lasse (2023) consideraram que são termos diferentes em que inunda es podem ser evitadas ou reduzidas em meio urbano, enquanto as cheias refere-se ao aumento dos meios aquáticos permanentes.

A combina o de opiniões de diferentes fontes, pode-se entender que cheias trata-se de um aumento temporário do nível de água de um corpo de água permanente (rio, lagos, lagoas, etc) resultante de actividades da natureza ou até mesmo rutura de uma barragem e por sua vez inunda es trata-se de um aumento do caudal que apesar de er um fen meno natural, encontra-se directamente ligado a factores de ac es antropológicas (Pedroso e Tybush, 2021).

Chaora (2023) entendem que as inundações podem provir de diferentes formas, dependendo da região ou factor climático condicionadas as mudanças climáticas resultantes de diferentes modificações ambientais como a elevada emissão de dióxido de carbono, desmatamento entre outros. Dependendo destas causas podemos encontrar os seguintes tipos de inundações:

Tabela 1: Tipos de inundações e suas causas.

Tipo	Causas
Cheia (inundação fluvial)	<ul style="list-style-type: none"> - Chuvas abundantes e/ou intensas. - Fusão da neve ou do gelo. - Efeito combinado chuva + efeito das marés e/ou + <i>storm surge</i> - Obstáculos ao escoamento fluvial ou derrocada dos obstáculos
Inundação de depressões topográficas/ pluviais	<ul style="list-style-type: none"> - Subida do lençol freática (natural ou artificial). - Retenção da água da precipitação por um solo ou substrato geológico de permeabilidade muito reduzida. - Cheias.
Inundação costeira	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Storm surge</i> - <i>tsunami</i> ou maremoto - subida eustática do nível do mar - sismos com fenómenos de subsidência tectónica.
Inundação urbana	<ul style="list-style-type: none"> - Chuva intensa + sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais. - Subida da toalha freática (natural ou artificial). - Cheias.

Fonte: Ramos (2009).

2.2.Factores que influenciam para ocorrência de cheias e inundações em Moçambique

Moçambique situa-se na costa do Sudeste da África. Devido a sua localização geográfica, o país tem sofrido com inundações e cheias constantes assim como a situação socioeconómica da população que depende da agricultura e com alto nível de pobreza não reúnem condições suficientes para resistir aos fenómenos climáticos (Mosca & Lasse, 2023). Diversos factores contribuem para a ocorrência desses eventos, incluindo causas naturais como chuvas intensas e prolongadas, assim como actividades humanas, como construção e a urbanização larga escala que influência na compactação do solo reduzindo a superfície de escoamento (Victor *et al.*, 2023).

2.3. Principais Causas de inundações

Moçambique é um país propenso a ocorrência de inundações e secas com maior frequência, devidas a localização numa região de convergência tropical e as alterações climáticas sazonais como as chuvas que vão de Novembro a Março e podem causar cheias e inundações devido ao alto nível de precipitação, com uma média anual variando de 800 a 1200 mm (Caomba, 2018).

A posição geográfica do país, banhado pelo Oceano Índico expõe o país a diversas calamidades como ciclones tropicais e inundações fluviais. Além disso, o clima tropical e subtropical, associada a mudanças climáticas repentinas, geralmente afecta as populações mais vulneráveis devido a falta de qualidade das suas infraestruturas, estando localizadas em áreas propícias e favoráveis (Rodrigues, 2024).

As actividades humanas contribuem bastante na ocorrência de inundações no meio urbano devido ao mau uso da cobertura da terra (Matessane, 2025), algumas razões são: i) desflorestamento e rápida urbanização - a alta urbanização ao longo do país, a capacidade natural do solo de absorção de água das chuvas tende a reduzir significativamente o que faz com que uma parte das águas residuais não sejam escoadas, também tendo maior parte dessas zonas urbanas carenciadas de infraestruturas e sistemas de drenagem acabam tornando-as susceptíveis a inundações isto resultante da remoção de varias áreas verdes ao redor das grandes cidades, e ii) gestão inadequada dos recursos hídricos - construção de barragens e diques ou qualquer forma de ocupação urbana dos leitos de água sem tomar em conta os impactos ambientais e em alguns casos, a liberação excessiva de água de reservatórios também causam inundações súbitas (como o caso das inundações de Boane em 2023) (Pechim, 2021).

2.3 Consequências das inundações

Precipitações intensas causam diferentes danos em diferentes áreas antropológicas e naturais, apresentando danos quantitativos e qualitativos. Os danos podem ocorrer directamente sobre as estruturas urbanas e plantações que têm contacto directo com as águas paradas, resultando em prejuízos económicos ao sector público e privados, além de impactos na saúde alagando infra-estruturas urbanas e outros bens. O fenómeno contribui também na proliferação de diversas doenças causando a perda de vidas humanas e degradação ambiental. Por outro lado temos os danos indirectos, como os custos de recuperação de infraestruturas através de limpezas, serviços de emergência, serviços de reassentamento da população afectada ou em zonas de riscos, sectores de telecomunicações e outros diferentes sectores com a necessidade de recuperação (João, 2023).

Na Figura 1, observa-se o número de ocorrências dos três tipos de calamidades naturais mais recorrentes nas últimas 5 décadas em Moçambique, nomeadamente: as secas, inundações e ciclones tropicais.

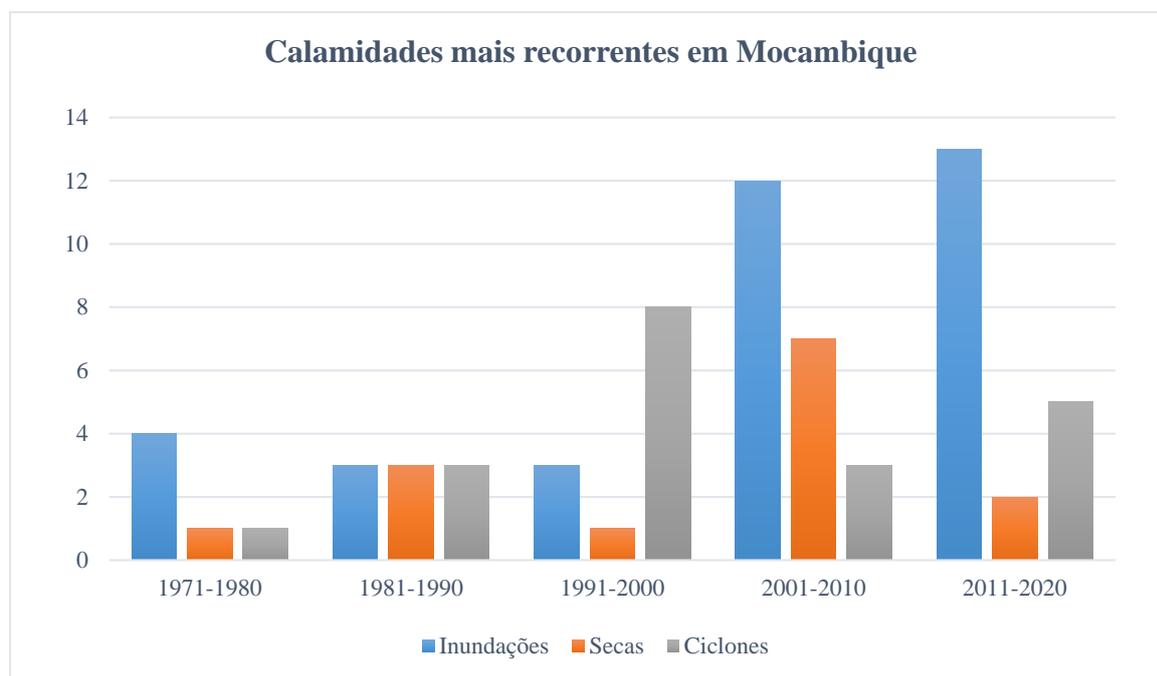


Figura 1: Calamidades recorrentes em Moçambique.

Fonte: Extraído da dissertação de mestrado de Lasse (2023) & UEM/FEWS Net/INGC (2002).

Ainda na Figura 1, pode-se observar que nas últimas 5 décadas houve maior ocorrência de inundações com 38 casos registados desde inundações resultantes das chuvas ou das enchentes das bacias hidrográficas comparadas com os 16 casos de secas e 27 casos de ciclones tropicais em toda região de Moçambique embora alguns casos de inundações estejam associadas a ocorrência de ciclones incluindo 3 casos de inundações, 2 de secas e 5 de ciclones desde 2021 até 2024.

Na Figura 2, observa-se a influência das principais Bacias Hidrográficas na ocorrência das principais cheias que aconteceram desde 1980 até a actualidade.

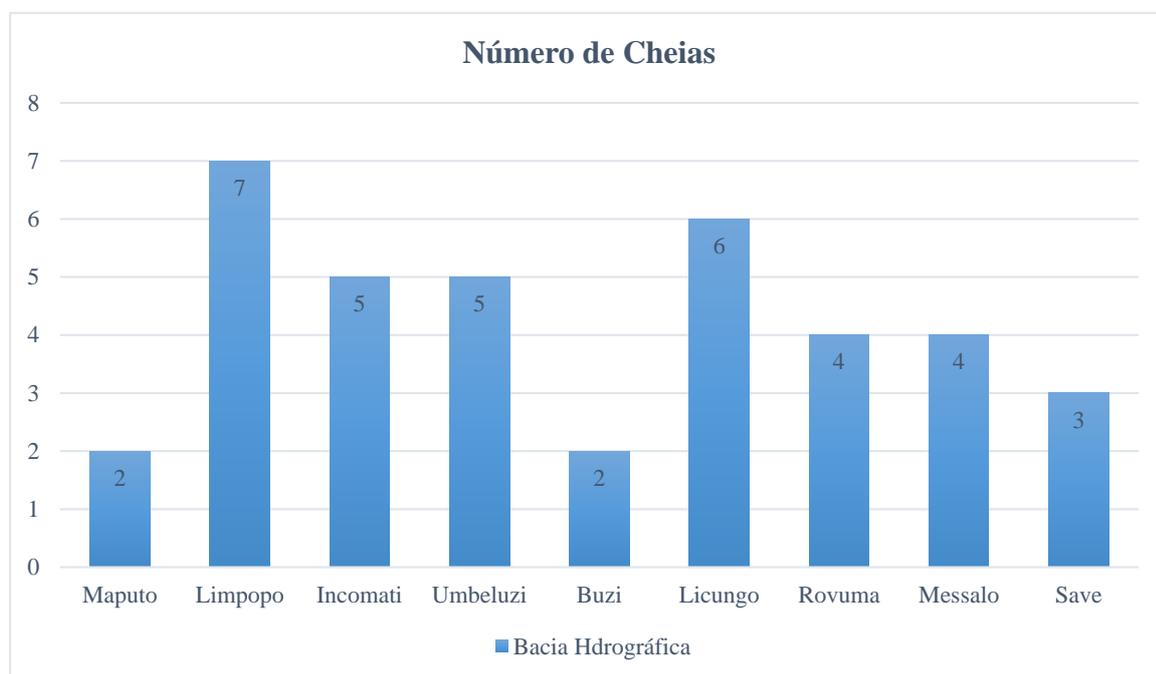


Figura 2: Cheias ocorridas em Bacias Hidrográficas.

Fonte: MARH (2025).

A Figura 2 mostra o número de cheias ocorridas em cada uma das principais bacias hidrográficas existente no país onde pode-se observar que o maior número de ocorrência é resultante dos rios existentes na região sul de Moçambique, falando concretamente dos Rios Limpopo, Incomati, Maputo e Umbeluzi por último que a sua enchente causou a mais recente inundação no distrito de Boane em 2023.

2.4 Historial de fenómenos naturais que afectaram o Distrito de Boane.

Segundo Chivambo (2000) & João (2023) o distrito de Boane é propenso a ocorrência cíclica de fenómenos naturais, como seca ou estiagem, ciclones e cheias ou inundações. Isso se deve a localização geográfica do país e a presença da bacia do Umbeluzi que é uma importante fonte hídrica para diferentes regiões de Maputo, além disso, a região é fisiograficamente vulnerável às cheias em comparação aos outros países ao seu redor.

O Posto Administrativo de Boane Sede e a Localidade de Matola-Rio têm sido geralmente os mais afectados pelas inundações no distrito e não só as inundações, o Posto Administrativo de Boane Sede também tem sido alvo dos ciclones, concretamente a localidade Eduardo Mondlane que encontra-se junto a costa e devido ao tipo de solo presente nas duas localidades, sendo mais pesada e com menor capacidade de percolação (Mauaie e Alfredo, 2016).

A Figura 3 mostra a distribuição cronológica dos principais eventos climáticos registrados que ocorreram na região Sul do país e afectaram directamente o distrito de Boane.

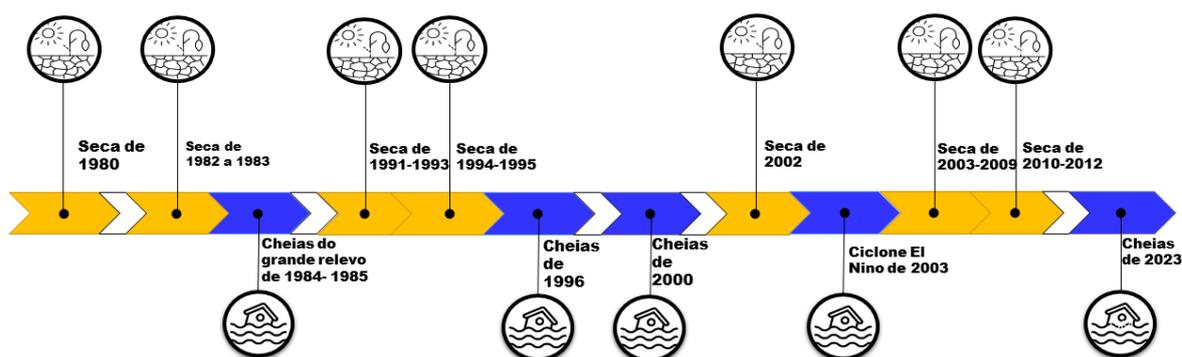


Figura 3: Ordem cronológica de fenómenos naturais ocorridos no Distrito de Boane.

Fonte: Mauaie e Alfredo (2016) & INAM (2024).

Entre estes eventos é possível notar que as inundações e secas continuam sendo eventos cíclicos mais recorrentes na região Sul de Moçambique, causando maiores prejuízos às localidades desta região comparado a qualquer outro tipo de calamidade natural como podemos notar na Tabela 2 e 3 onde tem-se detalhes de cada evento ocorrido em Moçambique que afectou também o distrito de Boane podendo notar que ocorrem de forma cíclica ao longo dos anos pelas últimas 5 décadas.

2.4.1 Secas que afectaram o distrito de Boane

Na Tabela 2, podemos ver as principais secas que afectaram o distrito de Boane desde o ano 1980 até 2024 onde observa-se o ano de ocorrência e o seu impacto na população afectada.

Tabela 2: Secas que afectaram o distrito de Boane desde 1980 até 2024.

Ano	Descrição
2010-2012	86 mil afectadas na região sul de Moçambique.
2003-2009	4,35 milhões de pessoas afectadas nas 3 regiões de Moçambique, incluindo 51 mil de dano em diferentes culturas e perda de 22 mil cabeças de gado.
2002	43 distritos afectados na região Sul e Centro de Moçambique.
1994-1995	1,5 milhões de pessoas afectadas na região Sul e Centro de Moçambique com escassez de água e surto da cólera.
1991-1993	1,32 milhões de pessoas afectadas, afectando a produção Agrícola e limitação no acesso a água potável em todo país.
1982-1983	2,46 milhões afectados na região Sul e Centro de Moçambique.
1980	60 000 pessoas afectadas em toda região Sul e Centro.

Fonte: UEM/FEWS Net/INGC (2002) & *Disaster Information System* (2024).

O distrito de Boane é vulnerável a secas devido na sua maioria as precipitações irregulares, onde a época chuvosa encontra-se localizada num curto período de tempo, podemos ver de acordo com a tabela que esses ocorrem geralmente em largos períodos de tempo (Injage, 2021). De acordo com a tabela nota-se que as secas de 2003-2009 tiveram maior impacto no país durando 6 anos consecutivos afectando mais de milhões de pessoas em todo país assim como a economia do país na área de agropecuária.

2.4.2 Cheias e Inundações que afectaram o Distrito de Boane

Na Tabela 3, observa-se as cheias e inundações mais impactantes de Moçambique que afectaram, de forma directa o distrito de Boane nas últimas 5 décadas.

Tabela 3: Inundações e cheias que afectaram o distrito de Boane desde 1980 até 2024.

Ano	Descrição
2023	O mais recente evento ocorrido na região sul de Moçambique que abrangeram as barragens de Incomáti, Corrumana e Pequenos Libombos obrigando-as a efectuar descargas nas regiões de Boane e Manhiça deixando cerca de 43 mil afetados e pelo menos 10 mortes.
2003	Ciclone que causou cheias na região centro e Sul de Moçambique afectando um total de 9 500 pessoas.
2000	As maiores cheias registadas até aos dias de hoje resultantes das chuvas que afectaram o rio Limpopo, Maputo, Umbeluzi, Incomáti, Buzi e Save causando 640 mortos 2 milhões de afectados incluindo deslocados.
1996	200 000 pessoas afectadas. Alagamento de todos rios da região sul de Moçambique.
1984-1985	500 000 afectados em toda região sul de Moçambique. 9 Bacias hidrográficas alagadas, após 4 anos de secas.

Fonte: UEM/FEWS Net/INGC (2002) & Instituto Nacional de Redução de riscos e Gestão de riscos de Desastres (2023).

A região Sul de Moçambique encontram-se precipitações fluviais resultante de grandes quedas de água intermitente numa mesma região, como por exemplo a cheia de 2000 que foi a pior cheia que aconteceu no país até agora, que afectou maior parte das grandes bacias hidrográficas da região Sul de Moçambique causando 640 mortes e mais de 2 milhões de afectados incluindo deslocados.

2.4.3 Inundações do distrito de Boane de 2023

O mais recente caso de inundações ao sul de Moçambique foi a inundação do distrito de Boane que decorreu de 09 a 15 de Fevereiro de 2023, resultante de fortes chuvas que causaram um aumento de profundida pluviométrica de 350mm afectando principalmente as zonas próximas as águas do rio Umbeluzi e seu afluente Movene devido a sua topografia muito plana, que contribui para o estacionamento de águas fluviais (Cea et al., 2024).

Na Figura 4 observa-se as descargas diárias de entrada e saída de água da barragem dos Pequenos Libombos desde o dia 06 a 15 de Fevereiro de 2023, mostrando como ocorreu a variância dos níveis de água contribuintes para a inundação, mas podemos encontrar para além do Fluxo de entrada diário (Q_{in}) e fluxo de saída diário (Q_{out}) também a elevação da superfície da água (WSE) nos pequenos Libombos em função do nível normal (NPL) e máximo aceitável (MPL) na barragem como referência.

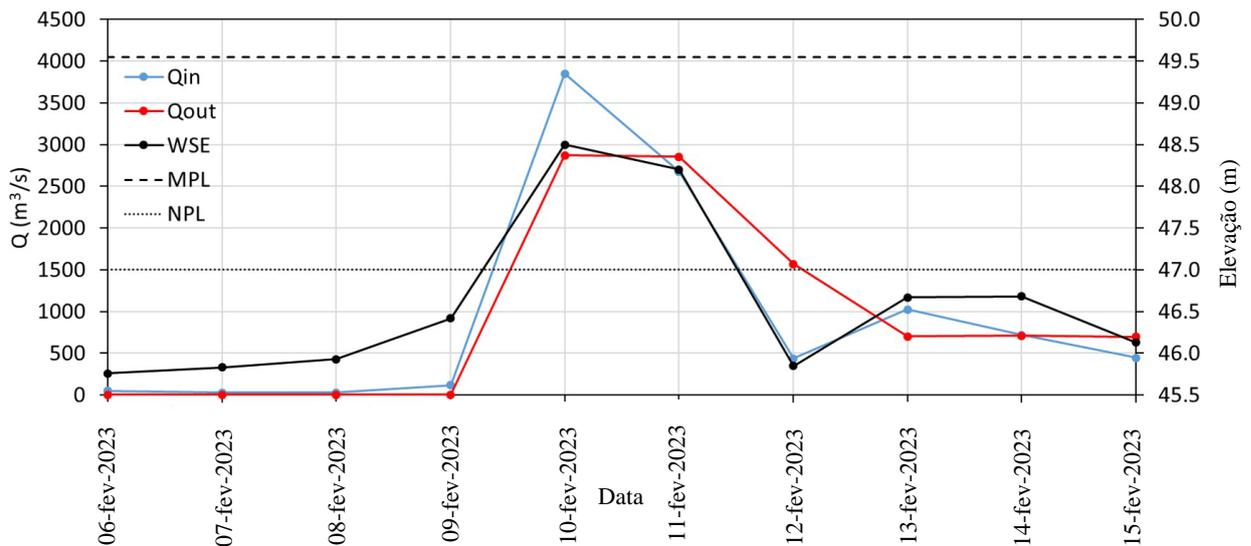


Figura 4: Fluxo de entrada e saída diária de água na barragem dos pequenos Libombos.

Fonte: ARA-Sul (2023) adaptado por Cea *et al.* (2024).

As áreas abrangidas pela inundação não foram afectadas de igual forma, devido a ligeira elevação do terreno em algumas áreas do distrito de Boane, assim sendo após a redução dos níveis das águas, foram feitas análises para apuramento dos níveis de altitude alcançados, obtendo os resultados que podemos ver na Figura 5.

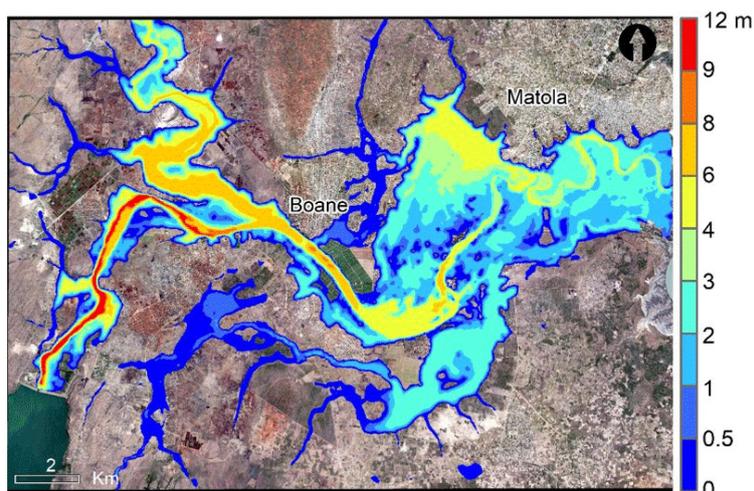


Figura 5: Níveis de profundidade de água atingidos durante o pico das inundações no distrito de Boane.

Fonte: Cea *et al.* (2024).

Durante as cheias, a barragem dos Pequenos Libombos recebeu mais de 800 hm³ de água em um curto período de tempo, até ao dia 10 de fevereiro já excedendo a sua capacidade de retenção, tendo sido obrigado a realizar grandes descargas para não corromper a integridade estrutural, assim resultando nas inundações de Maputo (Nuvunga, 2023).

2.5 Sensoriamento remoto

Segundo Lobo (2020), sensoriamento remoto é a ciência de identificação, observação, colecta e medição de objectos sem entrar em contacto directo com eles, e feito através de satélites ao redor do globo da terra, onde registam energia electromagnética reflectida ou emitida de objectos na terra e guardam essa energia em forma de imagens digitais. Segundo o autor, as imagens digitais são matrizes de *pixéis* com valores numéricos armazenados em cada pixel. Elas são diferentes das fotos analógicas que registam a cena toda de uma vez em um filme.

Existem diferentes tipos de satélites carregando a bordo diferentes tipos de câmeras. A partir desses diferentes tipos de satélites é possível extrair uma grande variedade de dados, que por sua vez, podem ser transformados em informações. O sensoriamento que depende de 3 elementos essenciais para o seu funcionamento, que são o objecto de estudo, radiação electromagnética e sensor e podem ser classificados tendo em conta a fonte de radiação electromagnética, sendo classificados em sensores activos e passivos (Barros, 2023).

Os sensores passivos actuam na região espectral visível situada entre 400 nm e 2500 nm, ou seja, captam e detectam a energia natural que é (naturalmente) reflectida ou emitida a partir da superfície da Terra. Em dias nublados a captação dessa energia pode ser comprometida e deve ser exercida em condições diurnas, o sol iluminando a área de estudo de preferência no período do dia compreendido entre as 10-16 horas que há melhores condições de luz. Estes sensores são mais utilizados em estudos ambientais e dinâmica de uso do solo devido as suas limitações (Almeida & Oliveira, 2010).

Os sensores activos são aqueles que possuem uma fonte própria de energia que é emitida ao alvo (geralmente a superfície da Terra), essa energia retorna ao sensor onde é detectada, diferente dos sensores passivos, estes pode-se operar tanto no período diurno assim como nocturnos e as nuvens ou gases da atmosfera não causam interferência na sua resolução. A praticidade dos sensores activos não inutilizam os sensores passivos, devido a utilização de micro-ondas dos activos interage de forma diferente sobre alguns objectos, assim tornando os sensores um complementar do outro, obtendo imagens mais detalhadas (Barros, 2023).

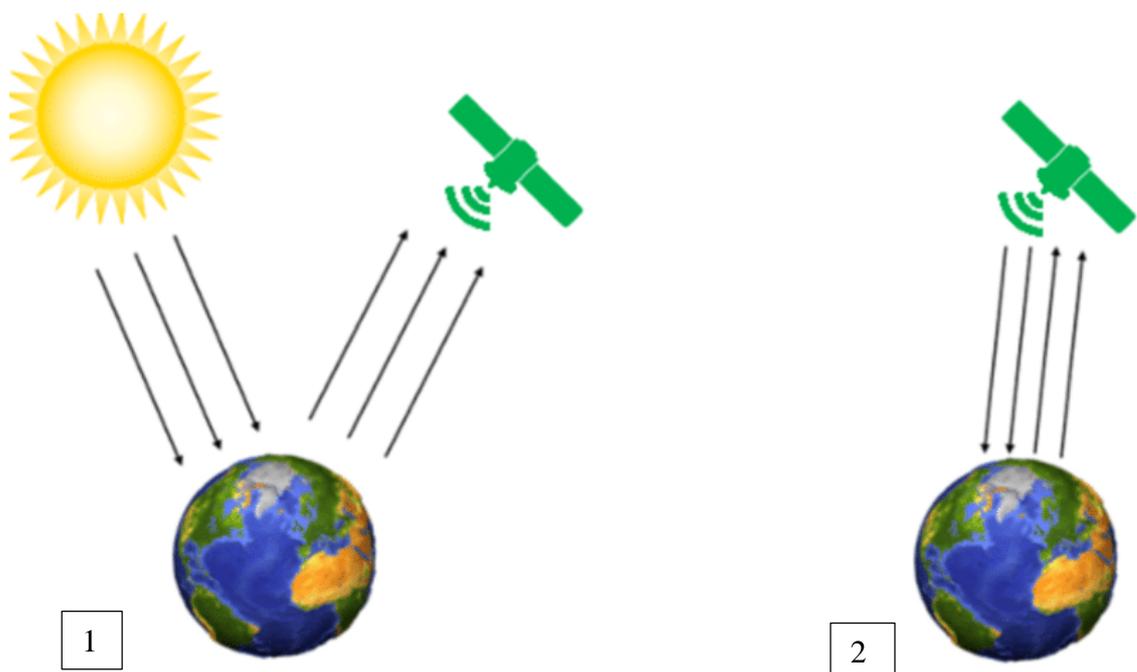


Figura 6: Sensor passivo (1) e sensor activo (2).

Fonte: Ornelas (2016).

Segundo Barros (2023), os sensores apresentam 3 parâmetros de medida: i) número de bandas, ii) largura e comprimento da onda das respectivas bandas, e iii) a posição que se encontram as bandas no espectro electromagnético. As bandas são intervalos que se apresentam entre o

espectro electromagnético, quanto maior o número de bandas, melhor é a resolução e mais nítida se torna a imagem. Esses resultados são classificados em quatro tipos de resoluções: Espacial, Temporal, Espectral e Radiométrica.

A Resolução Espacial está relacionada com a capacidade de cada sensor em detetar os objectos da superfície terrestre. Desta forma, quanto maior resolução espacial, menor o objecto distinguível pelo sensor. Em geral, se classificam os sensores em alta resolução espacial (pixels menores que 10 m), média (10 a 200 m) e baixa resolução espacial (de 200 a 5 km).



Figura 7: Diferentes resoluções Espaciais. A imagem de alta resolução (0,5 m) a esquerda e a imagem de baixa resolução (30 m) a direita.

Fonte: EOS DATA ANALYTICS (2024).

A Resolução Temporal relaciona-se com o intervalo de tempo em que as informações são coletadas, ou seja, é o tempo de revisita do satélite ao mesmo local. Geralmente, é dada em dias ou para satélites geoestacionários (aqueles que ficam girando junto com a Terra e ‘olhando’ sempre para a mesma região do globo), o tempo de revisita pode ser em minutos.

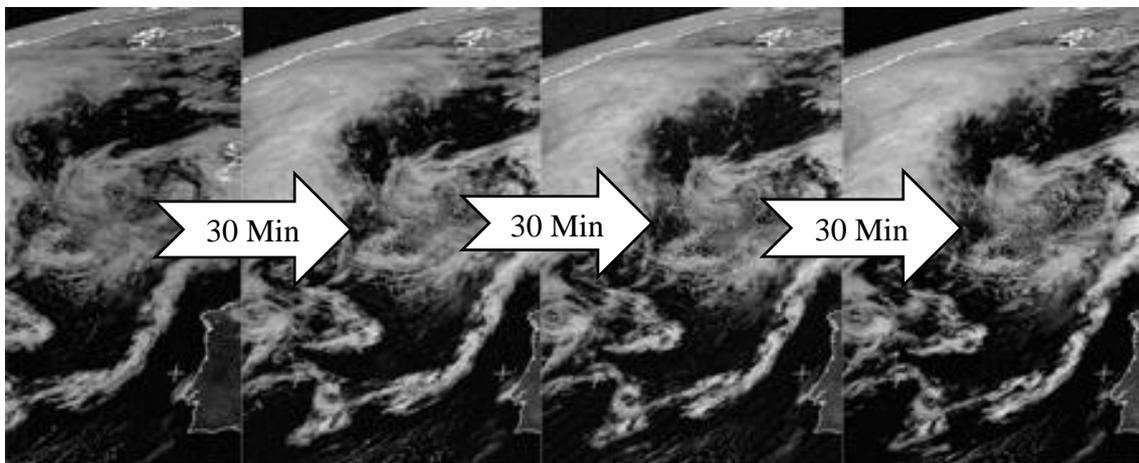


Figura 8: Resolução Temporal de um satélite geoestacionário.

Fonte: SEOS (2023).

A Resolução Espectral define o número e a largura espectral das bandas do sensor. Quanto maior o número de bandas, maior é a resolução espectral. Em geral, os sensores são classificados em Multiespectrais (algumas bandas, até 20, mais ou menos) e Hiper-espectrais, com centenas de bandas ao longo do espectro. Tendo alguns sensores multiespectrais como o Landsat, Sentinel-2, etc.

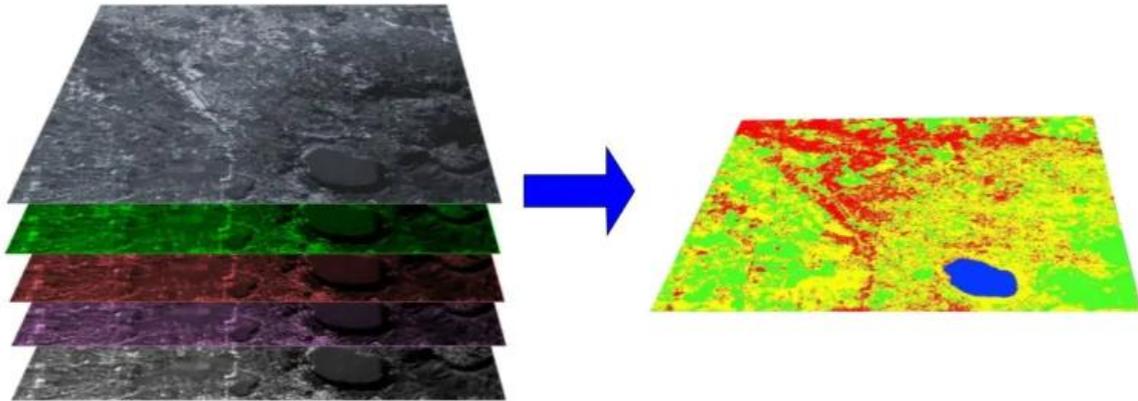


Figura 9: Resolução Espectral.

Fonte: Giovanini (2023).

A Resolução Radiométrica caracteriza os sensores em sua capacidade de distinguir diferentes intensidades da radiação eletromagnética. Ou seja, quantos níveis de cinza o sensor é capaz de detectar. A resolução radiométrica é dada em 2^n , onde n é o número de bits definido no desenvolvimento do sensor. Por exemplo, uma imagem de resolução de 1 bit ($2^1=2$) só possui 2 níveis de cinza, preto e branco. Já um sensor de 8 bits possui 256 níveis de cinza ($2^8=256$).

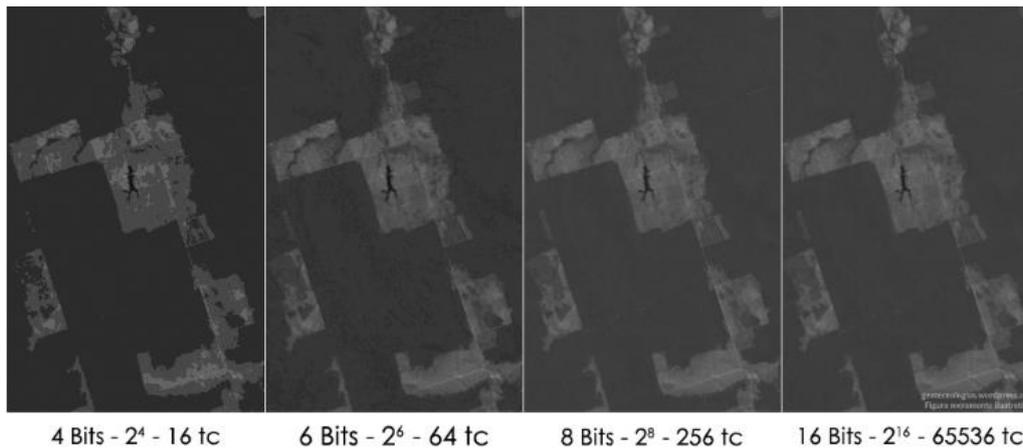


Figura 10: Diferença de Resolução radiométrica.

Fonte: Sadeckgeo (2016).

2.6 Sentinel-1

Lançado em Abril de 2014 através de um projecto da Agência Espacial Europeia (ESA), o Sentinel-1 trata-se de um de satélite equipado com sensor de radar SAR, que apresenta uma abertura sintética que opera na Banda C, ilustrando imagens capturadas à uma resolução de 5 metros divididos em blocos digitais de 250 km de diâmetro com função de realizar monitorização do ambiente: das áreas glaciares, mapeamento de zonas de riscos de movimentação da superfície terrestre, mapeamento de uso e cobertura incluindo áreas florestais, ocupadas por água, solo e agricultura (Embrapa, 2020).

Para além de monitorização de eventos estacionários como uso e cobertura, áreas glaciares e marítimas, este satélite foi também desenvolvido com objectivo de obter imagens através de seus sensores de média e alta resolução, ópticos ou de radar e demonstrar diferenças visuais para apresentar um mapeamento imediato fornecendo respostas e imagens de crises ambientais como inundações, sismos, erupções vulcânicas (Agência Espacial Europeia, 2012).

2.7 Uso e Cobertura do Solo

Segundo Da Silva *et al.* (2021), uso e cobertura é a forma usada para definir áreas exploradas pelo homem, assim como vegetação presente numa determinada área ou região. Para Silva *et al.* (2021) & U.S. *Environmental Protection Agency* (2023), o uso do solo é toda parte que de propósito do homem onde realiza as suas actividades como por exemplo: para agricultura, residências, indústrias, etc. Ao passo que, cobertura do Solo é a descrição biofísica da superfície da terra, ou seja, representa toda parte do solo que podemos observar, como rochas, vegetação, florestas, cursos de água como rios, lagos, pântanos etc. (*Food Agriculture Organization of the UN*, 2024; *US Environmental Protection Agency*, 2023).

Não obstante, Barbosa *et al.* (2021) define uso e cobertura do solo como duas classificações que não devem ser vistas de formas independentes, isto porque onde ocorre o aumento de área de uso acarreta modificações na cobertura, mas não vice-versa.

O uso e cobertura pode ser classificada usando diferentes métodos, sendo uma delas elaborada pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), usando o satélite Sentinel-2, satélite este que apresenta 13 canais de espectros nas faixas infravermelhos (VNIR) e infravermelho de onda curta (SWIR) presentes num único instrumento multispectral (MSI), permitindo uma

melhor resolução na diferenciação do estado de vegetação, solos, humidade, rios e áreas costeiras, edificações com precisão de até 10 m (Forest-gis, 2019).

As classes de uso e cobertura influenciam de formas diferentes na ocorrência de inundações, onde uns têm maior influência sobre a retenção de água comparado a outros (Maziva, 2015).

Tabela 4: Influência dos diferentes tipos de uso de terra sobre as inundações.

Tipologia	Influência
Vegetação densa	Muito Baixa
Matagal	Baixa
Pradaria	Moderada
Área agrícola	Alta
Área urbanizada	Muito Alta
Solo sem vegetação	Alta
Corpos de água	Muito Alta
Mangal	Muito Alta

Fonte: Maziva (2015).

2.8 Google Earth Engine (GEE)

É uma plataforma de computação baseada em nuvem hospedada pelo Google. GEE fornece acesso direto a um catálogo de vários petabytes de imagens de satélite e conjuntos de dados geoespaciais, incluindo todo o catálogo Landsat do EROS (USGS/NASA), MODIS, e Sentinel 1 e 2, bem como, dados de precipitação, elevação, temperatura da superfície do mar e dados climáticos (Lobo, 2020). Além de simplesmente ser um arquivo de imagens, o GEE também fornece APIs (conjunto de rotinas e padrões de programação para acesso a um aplicativo de software ou plataforma baseado na *Web*) para JavaScript e Python para permitir que os pesquisadores realizem análises em escala planetária da superfície da Terra (Trindade, 2021).

2.9 JavaScript

Trata-se de uma linguagem de programação, utilizada para a criação de *websites*, onde se é capaz de implementar itens complexos mostrando conteúdo que se actualiza em um intervalo de tempo, mapas interativos ou gráficos animados, etc (Grillo e Fortes 2008). O núcleo da

linguagem JavaScript apresenta alguns benefícios comuns da programação que permite a realizar tarefas tais como: Armazenar conteúdo útil em variáveis; Operações com pedaços de texto (conhecidos como "*strings*" em programação) e aplicar funções, assim tornando-se a mais adequada para o *Google Earth Engine*, por permitir no final a exibição de resultados em mapas, armazenar códigos para futuras utilização e muitas outras funções que auxiliam o utilizador na codificação (Gandhi, 2024).

2.10 Teste Kappa

Teste Kappa é uma métrica estatística usada para analisar e validar a precisão dos dados de um mapa de forma comparativa com dados existentes da mesma área, este dentre diferentes testes surge de modo a permitir que sejam obtidos resultados correctos (Mendes *et al.*, 2015). O teste Kappa permite avaliar a precisão temática de forma diferenciada pois é mais sensível a variação de erro, tendo a vantagem porque para o seu cálculo inclui-se todos os elementos da matriz de erro das classes e não incluindo somente os elementos da diagonal principal da tabela dos mapas real e classificado (Morreira, 2001). Para o uso do teste kappa constrói-se uma matriz de confusão, representando a distribuição de percentagens de pixel criados, seja, correctos ou não (Congalton, 1991).

Na Tabela 4, observa-se o modelo usado para a obtenção da precisão temática obtida através da matriz de erro comparando diferentes classes que um conjunto de mapas tem, tendo os dados do mapa real distribuída nas linhas em função dos resultados do mapa classificado nas colunas da tabela.

Tabela 5: Modelo da matriz de erro usado na validação da precisão temática.

	Matriz 4x4	Mapa Classificado				
	Classes	A.	B	C	D	Σ dasLinhas
Mapa real	A.	n ₁₁	n ₁₂	n ₁₃	n ₁₄	n ₁₊
	B.	n ₂₁	n ₂₂	n ₂₃	n ₂₄	n ₂₊
	C.	n ₃₁	n ₃₂	n ₃₃	n ₃₄	n ₃₊
	D.	n ₄₁	n ₄₂	n ₄₃	n ₄₄	n ₄₊
	Σ de colunas	n ₊₁	n ₂₊	n ₃₊	n ₄₊	n

Fonte: Mendes et al (2015).

Actualmente alguma ferramentas digitais como QGIS, *Google Earth Engine*, entre outras, tem a capacidade de realizar o teste automaticamente, porem existindo modelos manuais para realização do teste através dos resultados obtidos na matriz de erro (Nhangube *et al.* 2022).

$$\text{Índice kappa} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} + n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} + n_{+i}}$$

$$\text{Precisão global} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ij}}{n}$$

$$\text{Precisão do produtor } j = \frac{n_{ij}}{n_{+j}}$$

$$\text{Precisão do usuário} = \frac{n_{ij}}{n_{i+}}$$

A Classificação da precisão é feita de acordo com a tabela de Landis e Kock.

Tabela 6: Níveis precisão conforme o resultado Kappa.

Índice Kappa (K)	Qualidade
K = 0.2	Má
0.2 < K = 0.4	Razoável
0.4 < K = 0.6	Bom
0.6 < K = 0.8	Muito Bom
0.8 < k = 1	Excelente

Fonte: Mendes (2015).

3.1.1 Clima

O distrito de Boane apresenta um clima sub-húmido e com deficiência de chuva na estação fria, caracterizado também com condições secas, devido a alta pressão subcontinental e as incursões de ventos húmidos do oceano. Vagas de frios por vezes acompanhados de tempestades violentas e chuvas torrenciais de curta duração. Temperatura média anual de 24° C sendo os meses de junho e Julho mais frios e Janeiro e Fevereiro os mais quentes, humidade relativa de 80,5% variando com valores máximos de 86% em Julho a 73,55% de mínima em Novembro (INAM, 2024). A precipitação média anual é de 752 mm, sendo mais de 90% decorrentes no período húmido (Ministério da Administração Estatal, 2005; Mauaie & Alfredo, 2016). Apresenta as temperaturas mais elevadas nos meses entre Dezembro e Fevereiro podendo alcançar a faixa de 38°C a 40°C e os meses de Junho e Julho os mais frios do ano, ou seja, apresenta duas estações: uma quente e húmida que compreende a época chuvosa e outra estação fria e seca (João, 2023).

A época quente e húmida causa aumento da precipitação, trazendo consigo o aumento do caudal dos rios sendo o principal o Rio Umbeluzi que tem registado este aumento geralmente nos meses de Janeiro e Fevereiro de cada ano aumentando consequentemente a vulnerabilidade das populações de baixa renda que vivem nas proximidades dos corpos de água como a bacia do Rio Umbeluzi (João, 2023).

3.1.2 Hidrografia

O distrito de Boane é privilegiado por apresentar bacias hidrográficas dos rios Tembe, Matola Moveene e o maior deles o rio Umbeluzi, tornando um distrito rico em recursos hídricos (Conde, 2022), portanto o Rio Umbeluzi apresenta uma elevação média de 346 m, variando entre 0 a 1828 m e declividade média de 9,9% fornece a todo distrito de Boane e cidades de Maputo e Matola água potável, porem com a expansão dos bairros e da população a água vem cada vez mais tornando-se escassa, tendo como solução a criação da barragem de Pequenos Libombos, de modo a que haja uma utilização controlada do recurso hídrico (Mauaie & Alfredo, 2016).



Figura 12: Barragem dos Pequenos Libombos.

Fonte: Jornal o País (2024).

A barragem dos Pequenos Libombos capaz de fornecer água a quase 200 000 habitantes para o consumo, elaboração de actividades cotidianas, irrigação, produção de energia hidroelétrica e amortecimento de cheias apresenta um escoamento médio anual de $240 \times 10^9 \text{ m}^3$, 46 m de altura e uma potência de 2 MW (Mauaie & Alfredo 2016).

3.1.3 Solo

Segundo o Governo do distrito de Boane (2016) o distrito de Boane é caracterizado por três diferentes tipos de solos principais, nomeadamente: solos fluviais localizados próximos aos corpos de água e alta fertilidade, solos arenosos e solos argilosos vermelhos. i) Solos fluviais - apresenta uma alta fertilidade que abundam principalmente ao longo das margens dos rios Tembe e Umbeluzi, em certas zonas da região como Campoane, Belo Horizonte, sendo a região de vale do rio Umbeluzi a área com potencial agrícola na produção de cereais, tubérculos, leguminosas, hortícolas e fruteiras e também para pecuário, sendo este vale explorado por agricultores do sector privado e familiar. ii) Solos arenosos - ocupando maior parte do Distrito de Boane apresentam baixa fertilidade e baixa retenção de água. iii) Solos argilosos vermelhos - encontra-se numa determinada faixa sendo intermediária entre os outros dois solos em alguns bairros como Mavoco, Massaca, Mahanhane (DINAGECA, 1997 citado por Mauaie & Alfredo 2016).

O Distrito apresenta solos sobre material basáltico, ou seja, solos mais velhos e solos sobre material aluvial, tornando os solos mais recentes e possível notar de forma nítida a transição dos tipos de solo da região, sendo a zona sul, banhada pelos rios Tembe e Umbeluzi, assim beneficiando os regadios possibilitando o cultivo de hortícolas, fruteiras e citrinos que necessitam de boa disponibilidade hídrica (Matule & Macarringue, 2020).

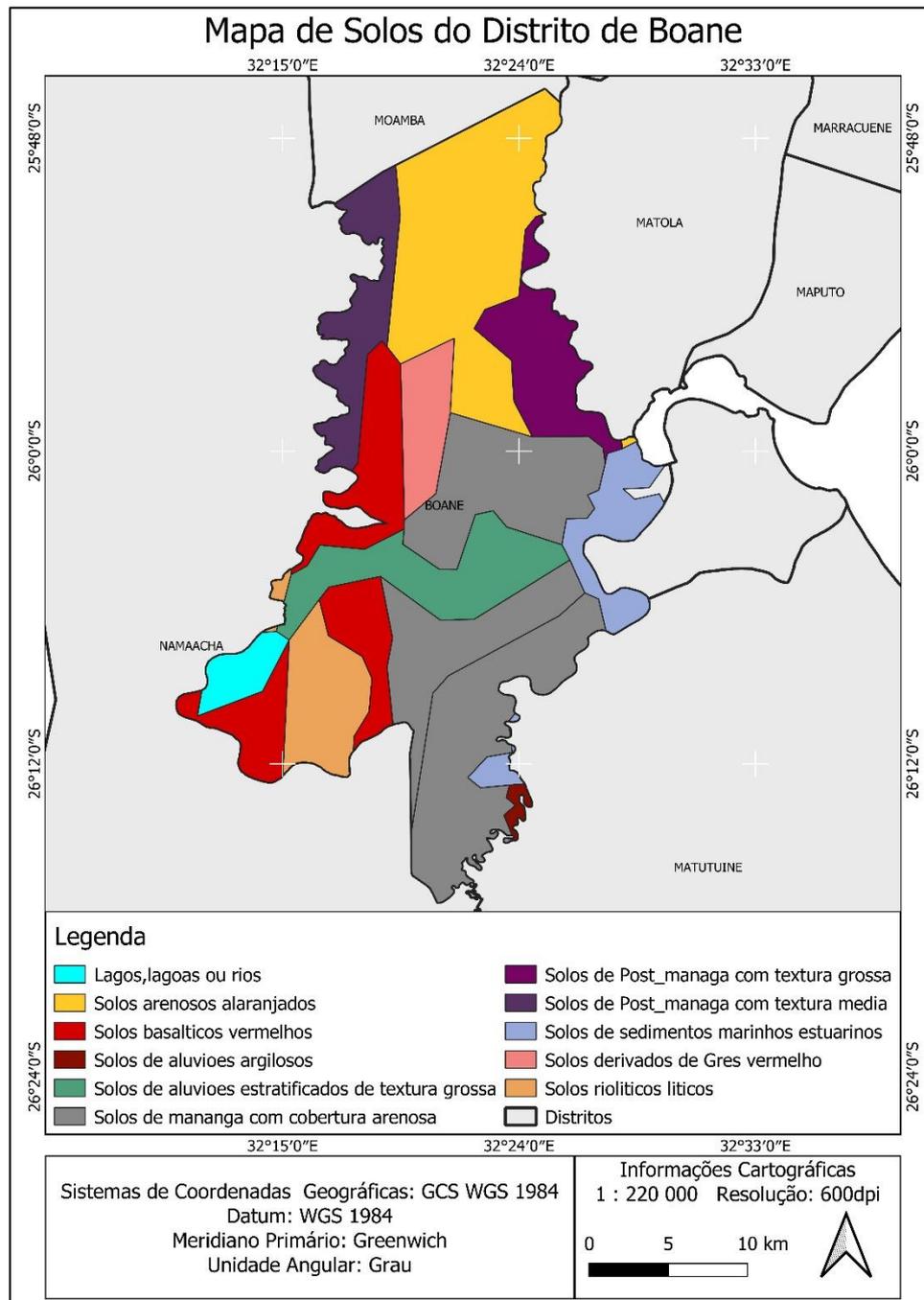


Figura 13: Divisão dos solos de Boane.

Fonte: DARN-IIAM (2016).

3.1.4 Relevo

O distrito apresenta um relevo caracterizado por paisagens levemente onduladas e com ligeiras diferenças da altitude nas regiões Norte, Este e Sudeste do distrito sendo uma verdadeira planície, diferente da região Sul, Oeste e Sudoeste que é caracterizado por uma variação gradual de altitudes que se estende até aos pequenos Libombos variando entre os 100 e 200 metros representa as áreas mais altas do distrito (Mauaie e Alfredo, 2016).

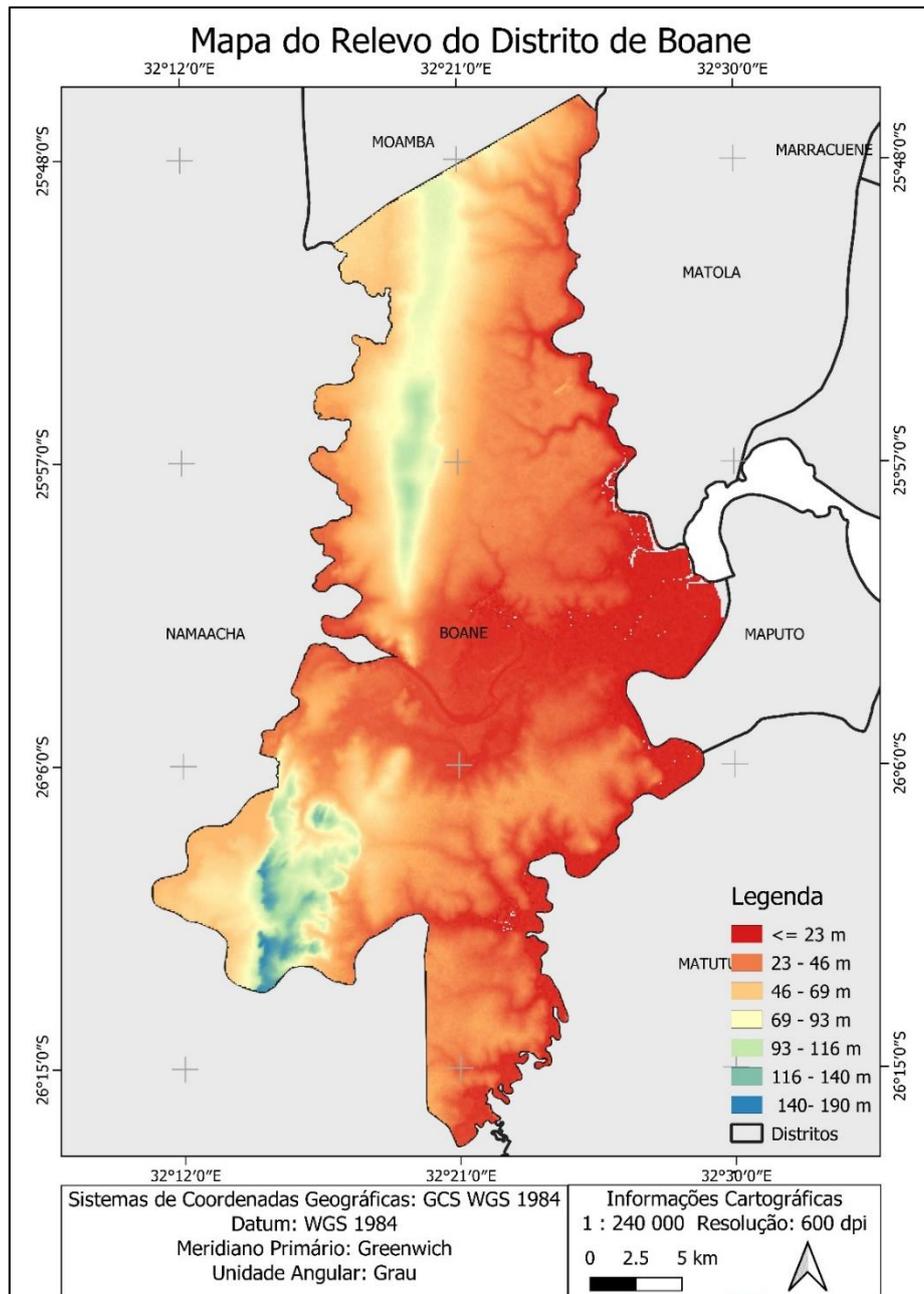


Figura 14: Mapa do relevo do Distrito de Boane.

3.1.5 Vegetação

O distrito de Boane apresenta uma vegetação robusta para algumas zonas sendo predominantes savanas e matagais e sobre influência das florestas sul-africana (Matule & Macarringue, 2020). Algumas zonas do distrito apresentam vegetação aquática influenciada pela presença do vasto rio Umbeluzi, culturas herbáceas e estepes com abundancia de diferentes culturas de espécies do género acácia como *Acácia Xanthophoca*, *Acácia Nigrescers* e entre outras várias assim como vegetações de Estepes Holófilas de gramíneas suculentas do género *Esporobolus* (Mauaie 2016).

Dentre todas as espécies algumas de utilidade para actividade humana na produção de material de construção como as espécies *Terminaria Sericea & Cinereia* e outras espécies com uso medicinal como por exemplo: *Cinereia Sesamum Dichosta Chys* entre outras (Diniz *et al.*, 2013).

3.1.6 Agricultura

Devido a uma rica e variedade de solos o distrito de Boane é favorecido pela possibilidade de se fazer a produção de diferentes culturas ao longo do distrito, podendo se cultivar tubérculos, cereais, leguminosas, hortícolas e fruteiras, tendo como o destaque a produção de algumas culturas como tomate, repolho, batata reno, banana, citrinos, feijão-verde etc (Mauaie e Alfredo 2016). De acordo com os dados de Rosário et al (2022) o distrito apresenta a banana sendo a cultura de maior rendimento anual assim como outras fruteiras e de seguida a batata-reno e o tomate, essa vantagem é dada devido a existência de diferentes tipos de solo ao longo do distrito, sendo dividido por áreas de cultivo em sequeiro e algumas áreas de cultivo ao longo dos corpos de água existentes no distrito como o Rio Umbeluzi e alguns lagos na região, porem devido a alta aglomeração urbana a fertilidade do solo tende a diminuir com a utilização excessiva dos solo para suprir a demanda populacional (João, 2023).

É possível notar que devido a essa disparidade de solo em algumas zonas apresentam a insegurança alimentar, tendo a zona sul do distrito maior estabilidade devido a cadeia de rios ao seu redor que beneficiam os regadios e baixa humidades que favorece o desenvolvimento de hortícolas, bananas e citrinos (Nhanenge, 2024).

3.2 Processamento de imagens Obtidas pelo *Google Earth Engine* (GEE)

Para a detecção da área inundada no Distrito de Boane, usou-se o *Google Earth Engine*, onde primeiramente usando um dos *shapfiles* disponíveis na base de dados da CENECARTA extraiu-se a área do distrito de Boane.

Usando a coleção de imagens Copernicus/S1_GRD que faz o uso da constelação sentinel-1 extraiu-se na área de estudo as zonas inundadas usando uma polarização VV que apresenta uma resolução de até 5m da área, através do método de diferença de pré e pós inundação incluindo corpos de água antes da inundação que para o nosso estudo adoptou-se o dia 18 de janeiro de 2023 até 12 de Fevereiro de 2023 que já tinha iniciado a inundação e corpos de água presentes durante a inundação que partiu do dia 13 de Fevereiro durante a inundação a 18 de Fevereiro data pós inundação.

De seguida usou-se a Limiarização de Otsu (threshold) que é um algoritmo automaticamente processado pelo GEE utilizado como valor limitante para avaliar se um pixel pertence a uma determinada classe na imagem, para estudo que foi de -2,8 que faz a extração automática da área inundada de forma precisa no método de diferenciação de imagens.

Como resultado obteve-se imagens contendo as áreas inundadas no distrito de Boane, podendo encontrar todo *Script* para a produção dos resultados do projecto no *link* do GEE: <https://code.earthengine.google.com/6b4a1c851ffb5126e49da4967d6976ff>.

3.3 Avaliação das Imagens processadas pelo *Google Earth Engine* (GEE) no QGIS

Após a obtenção da área inundada usando GEE fez-se uma posterior avaliação usando o QGIS que de forma comparativa com as imagens de inundação no Distrito de Boane geradas pela *Emergency Management Service* em serviço do *Copernicus Europe's eyes on Earth* usa a ferramenta de validação de precisão realizado através do cálculo da matriz de confusão, do índice Kappa e precisão global dos pixéis e validando com a tabela de Landis e Koch para se saber a o nível de precisão dos dados. Nesta tabela são validados para o uso, os resultados que apresentam-se como Bom, Muito Bom e Excelente.

Tabela 7: Níveis precisão conforme o resultado Kappa.

Índice Kappa (K)	Qualidade
$K = 0.2$	Má
$0.2 < K = 0.4$	Razoável
$0.4 < K = 0.6$	Bom
$0.6 < K = 0.8$	Muito Bom
$0.8 < k = 1$	Excelente

Fonte: Mendes (2015).

3.4 Processamento de Imagens obtidas pelo *Enviromental Systems Research Insitute* (ESRI) usando QGIS

Usando a aplicação oficial da ESRI foi possível extrair o mapa em formato Geotiff que classifica o uso e cobertura que inclui corpos de água, vegetação, vegetação aquática, áreas de agricultura, residências e de pastagem de uma ampla área incluindo Moçambique, usando imagens do Sentinel-2 com uma precisão de até 10m através da reflexão de diferentes bandas, de seguida usando QGIS fez-se a extração dessa classificação para o distrito de Boane através do *clip* do *Shapfile* do distrito com as imagens do uso e cobertura. E por fim fez-se a reclassificação da imagem removendo todas outras classes mantendo a área de agricultura confirmando usando as imagens de satélite na identificação das áreas de agricultura.

3.5 Combinação dos dados obtidos pelo GEE e ESRI no QGIS

Após a obtenção dos dados validados das áreas inundadas pela constelação do Sentinel-1 no *GEE* e área de agricultura reclassificada extraídas no ESRI através do sentinel-2 foi feita uma sobreposição dos dois mapas usando QGIS para obtenção de uma estimativa de área de agricultura que foi inundada, de seguida usando a função *clip* gerou-se uma nova área representando a área exacta de agricultura que foi inundada e por fim calculou-se a área em hectares afectada usando a função *Raster layer unique values report*.

3.6 Fluxograma Metodológico

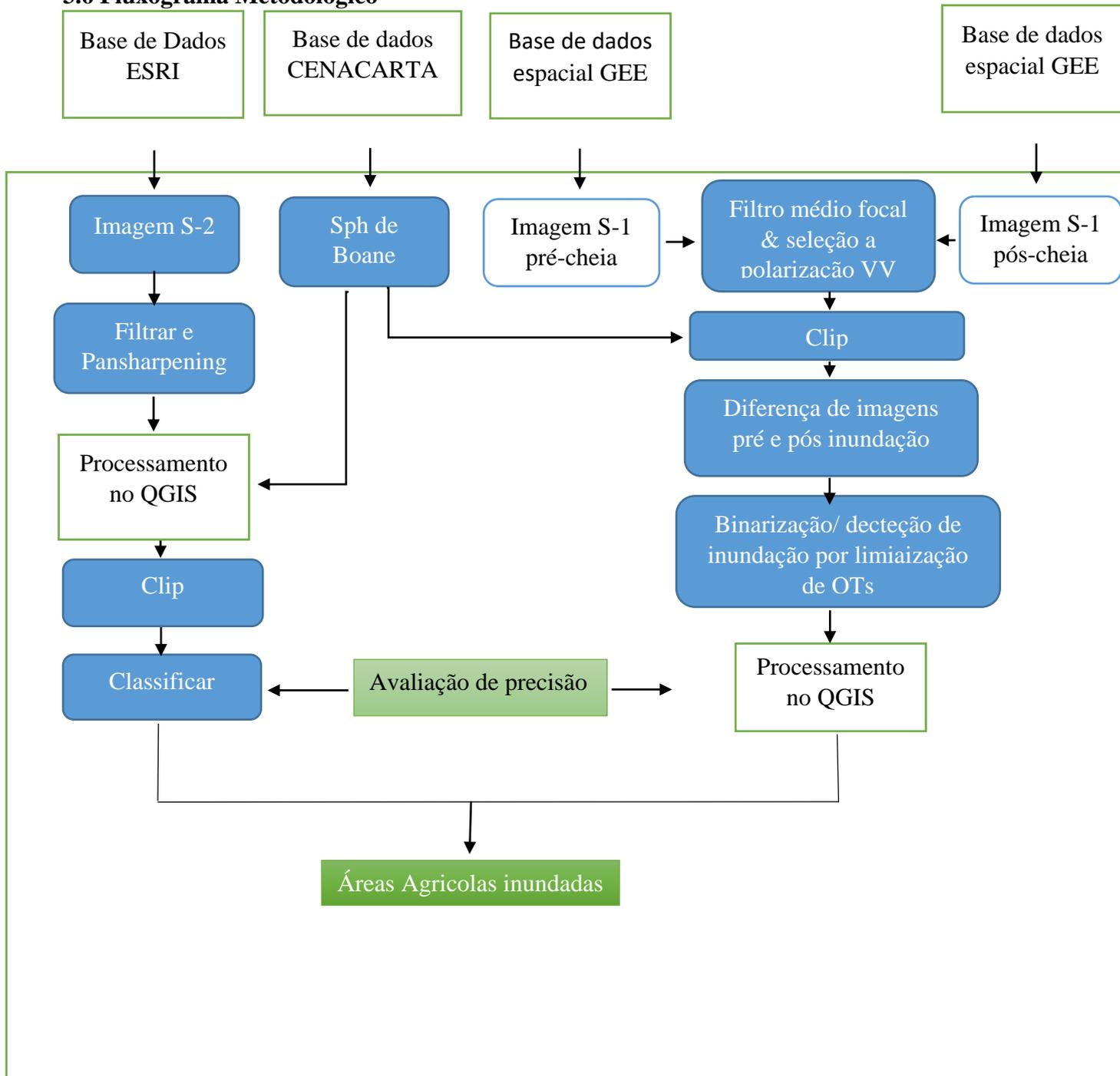


Figura 15: Diagrama de processamento de imagens.

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Uso e cobertura do solo

A Figura 16 mostra o mapa de uso e cobertura de solo de toda área do distrito de Boane, Província de Maputo, no ano de 2023 elaborado com base nos dados de uso e cobertura disponíveis na página virtual do *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) para a extração do respectivo *shapfile* e posterior elaboração do mapa.

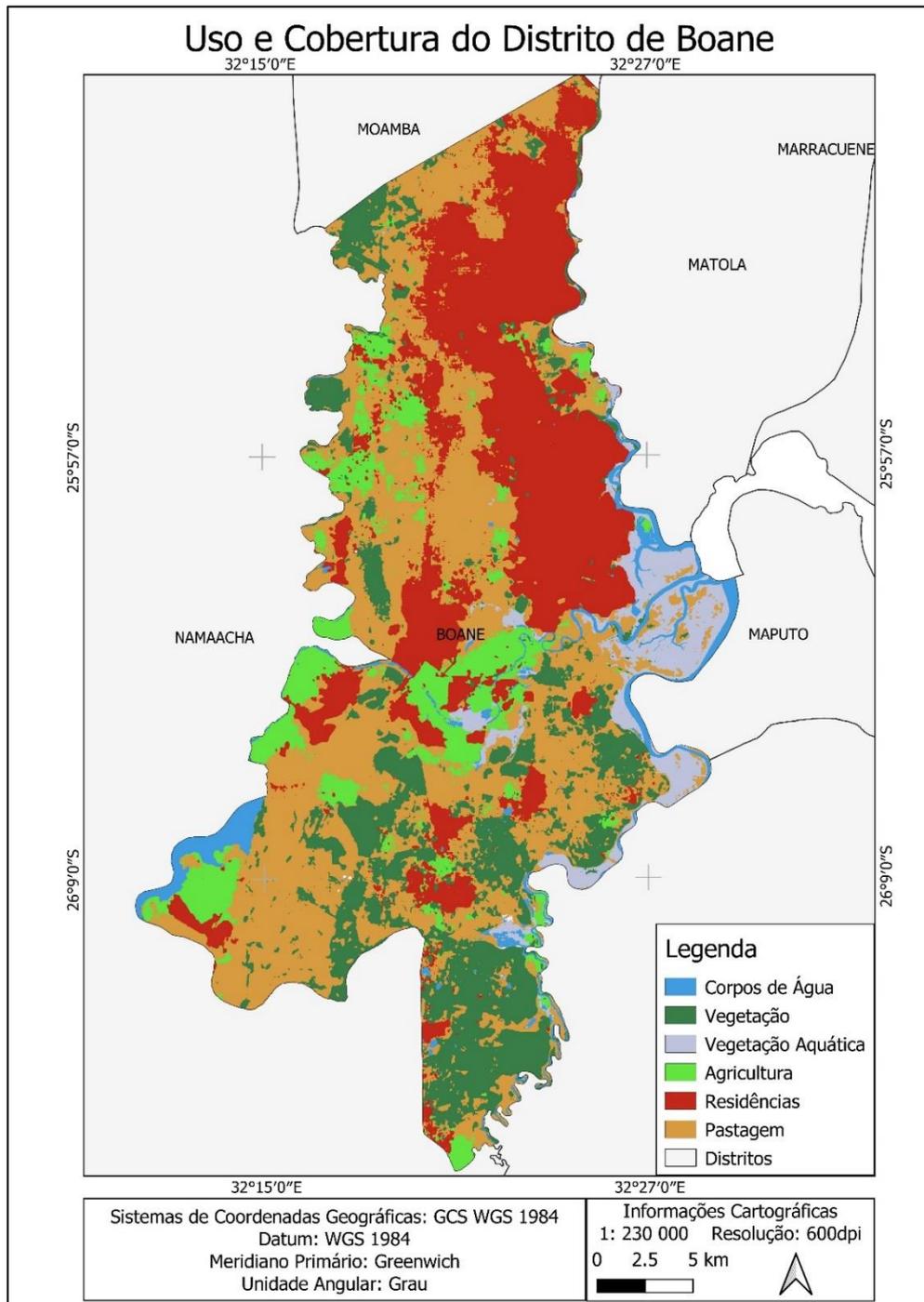


Figura 16: Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Distrito de Boane no ano de 2023.

Na Figura 16, é possível observar que a maior parte do distrito de Boane encontra-se ocupada por uma diversificada vegetação e extensiva área de pastagem a oeste assim como a área nordeste do distrito apresenta uma maior abundância de infraestruturas sejam edifícios residências ou industriais mais para a zona norte do Distrito.

Na Figura 17, é possível observar a distribuição percentual do uso e cobertura de toda região do distrito de Boane, baseando-se nos dados da ESRI.

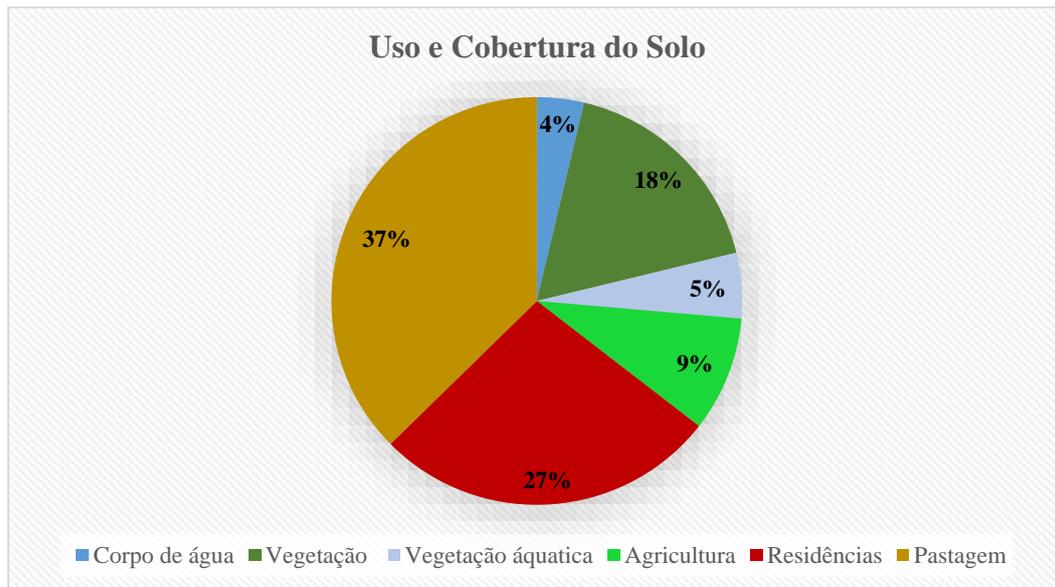


Figura 17: Percentagem de Uso e Cobertura do Solo no distrito de Boane em 2023.

De acordo com a Figura 17, observa-se que o distrito é ocupado majoritariamente pela área propícia a pastagem, que cobre praticamente toda área oeste do distrito com aproximadamente 30 070,16 hectares (37%), seguido da área residencial ocupando com cerca de 21 816,91 hectares (27%), e áreas de vegetação com 14 628,72 hectares (18%) área propícia a agricultura com 7 347,08 hectares (9%) vegetação aquática com 4 063.54 hectares (5%) e por fim corpos de água perfazendo 3 250,83 hectares (4%).

5.2 Área de Agricultura

A Figura 18 ilustra as áreas usadas para a prática da agricultura no distrito de Boane em 2023 de acordo com os dados fornecidos pela ESRI, onde apresenta uma maior abrangência a região central do distrito.

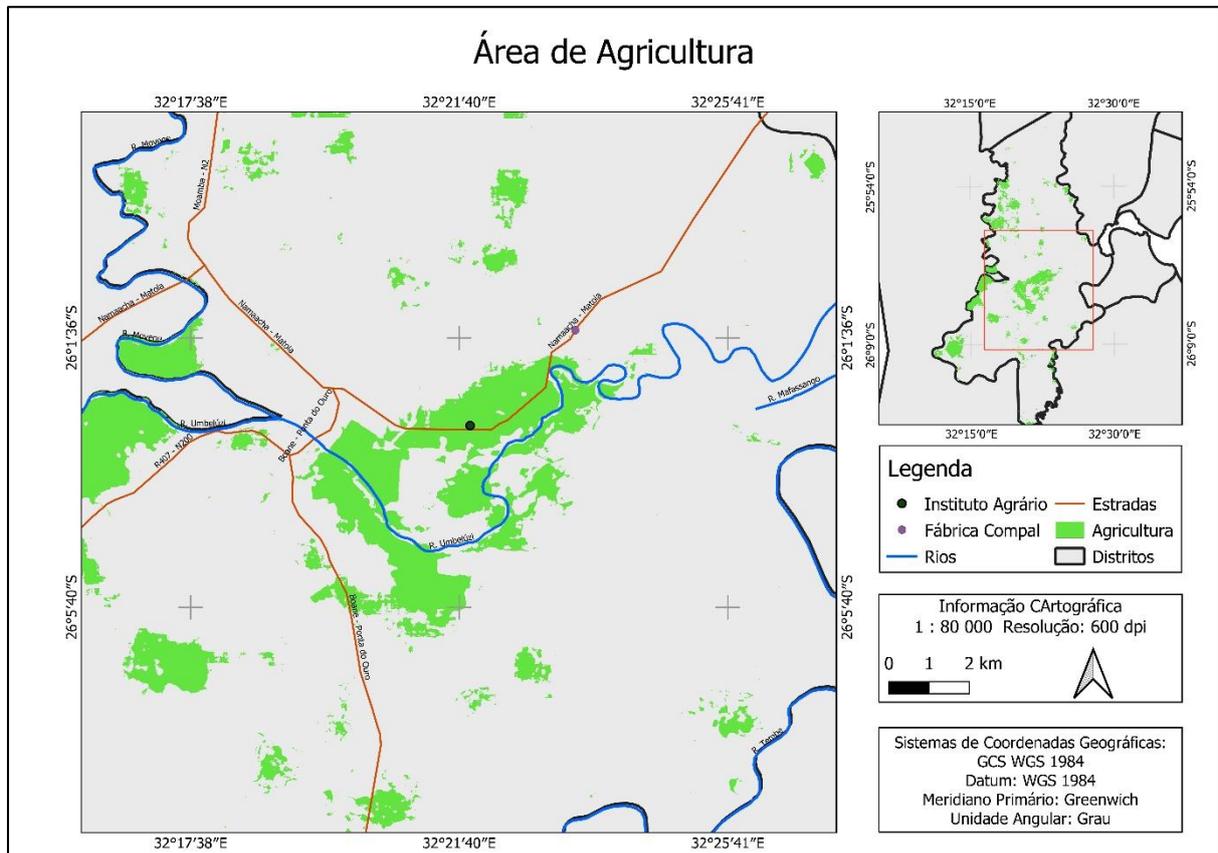


Figura 18: Área usada para a prática de Agricultura no distrito de Boane em 2023.

Na Figura 18, nota-se que o distrito de Boane apresenta diversas áreas de cultivo ao longo de todo distrito ocupando aproximadamente 7 400 hectares, tendo apenas a extremidade norte do distrito a ausência de campos agrícolas, isto deve-se a ausência de rios e presença reduzida de fonte hídrica corrente, em contrapartida a região central e este do distrito apresenta vários aglomerados de campos de produção privados e públicos.

O resultado obtido vai de acordo com os constatados pela FAO (2015) que afirma que a distribuição deve-se a existência de diversas redes de rios como o Rio Umbeluzi e Rio Tembe que alimentam os regadios das zonas centro e sul do distrito, em contrapartida a zona norte é propícia para a produção em sequeiro e prática da avicultura ainda assim mantendo a agricultura como um sector muito vulnerável.

5.3 Área de inundada

Na Figura 19 observa-se os resultados gerados a partir da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) pelo processo de extração das áreas inundadas em Boane, em Fevereiro de 2023 usando um *threshold* de -2,80 conforme o código apresentado na página 27.

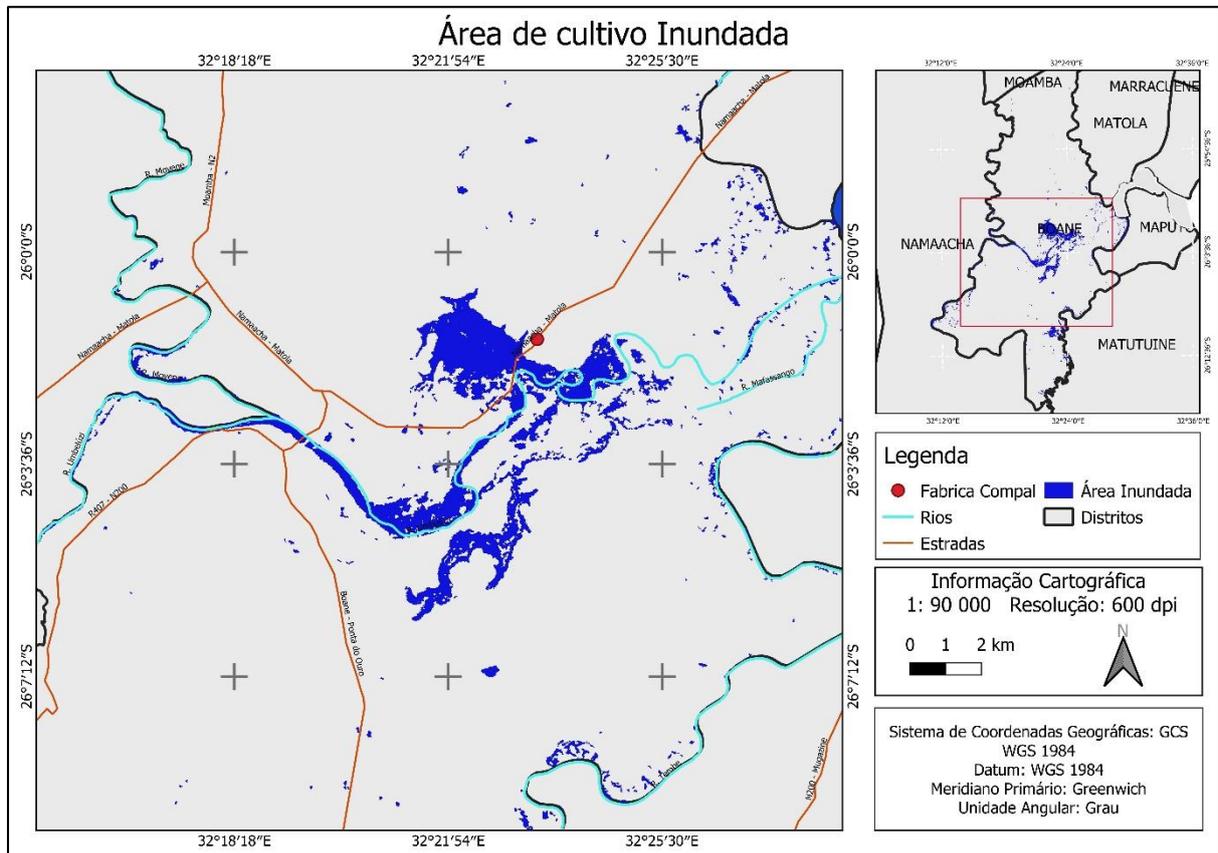


Figura 19: Áreas amplamente inundada extraídas do processamento por GEE.

Após o processamento do código produzido no GEE extraiu-se o mapa que podemos encontrar na Figura 19, representando a vasta área do distrito de Boane severamente afectada pelas chuvas que ocorreram em Fevereiro de 2023 totalizando uma área de 3 119,16 hectares de terra. A mancha azul-escuro no mapa representa a área afectada pelas inundações na qual devido a vários factores não foi capaz de percolar a água assim causando a inundação podendo notar que há maior concentração de água nas proximidades do rio Umbeluzi principalmente ao centro do distrito. Os resultados entram em conformidade com Nuvunga (2023) & Nhanenge (2024) que afirmam que as inundações no distrito de Boane em Fevereiro de 2023 foram resultantes das descargas feitas na Barragem dos Pequenos, devido a sua saturação resultante das chuvas, o que explica a abrangência da inundação nas proximidades do rio Umbeluzi.

Também lançado pelo Serviço de Gestão de Emergências, um serviço de apoio da *European Emergency Response* encontramos na Figura 20 a mancha colectada pelo Copernicus referentes as mesmas inundações no mapa a direita e a mancha gerada usando o código produzido na plataforma *Google Earth Engine* a esquerda da figura.

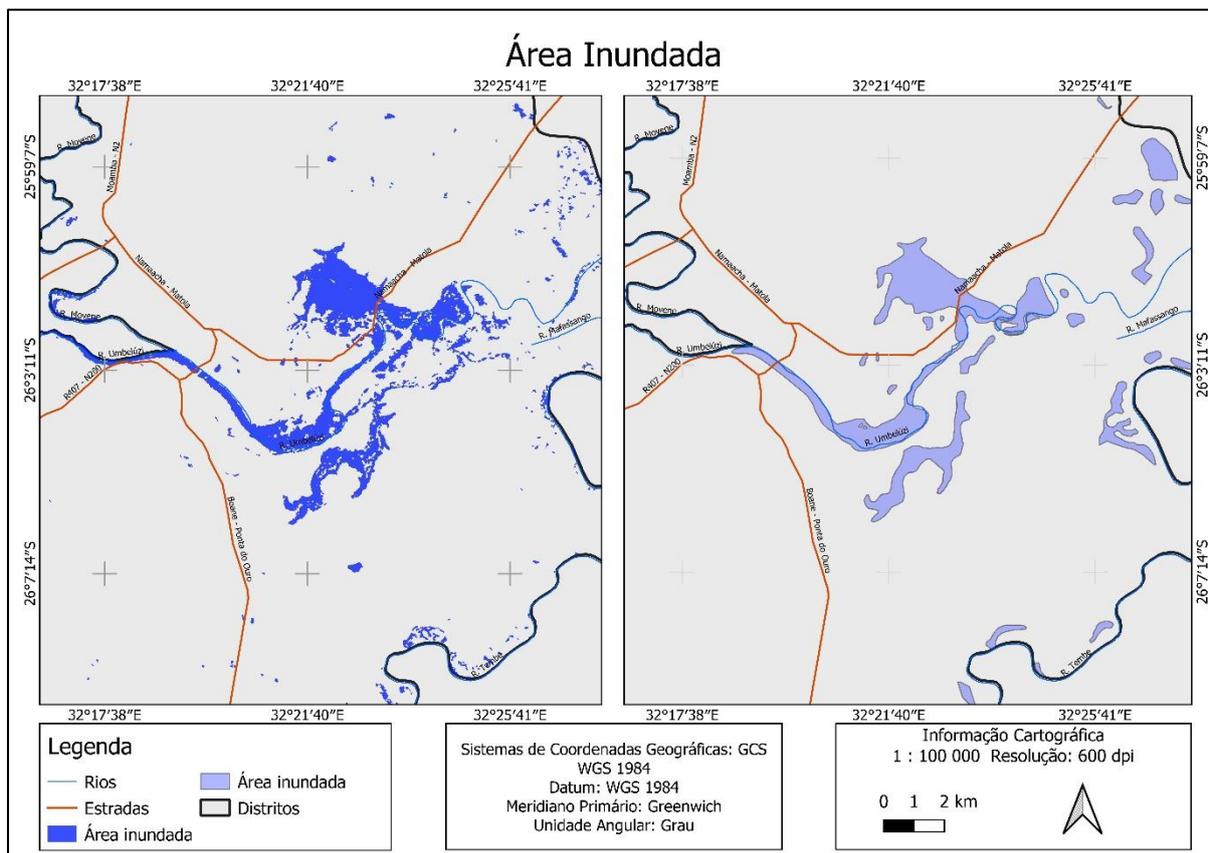


Figura 20: Área do distrito de Boane inundada em Fevereiro de 2023 de acordo com o autor no mapa a esquerda e Copernicus EMS a direita.

Fonte: Copernicus EMS (2024).

Assim de acordo com Serviço de Gestão de Emergências (2024), as inundações abrangeram a zona Centro e algumas partes da zona Sul do distrito de Boane, afectando os campos de agricultura e boa parte da área residencial do distrito de Boane todas na proximidade dos rios, seja o Rio Umbeluzi e Rio Tembe.

Através da classificação automática feita, obteve-se resultados satisfatórias referentes a precisão dos valores obtidos. No geral através do teste Kappa foi possível se obter uma percentagem de 75,88% e uma precisão geral de 81,52% que de acordo com a tabela de precisão

de Landis e Kock (1977) apresenta um índice Kappa, muito bom, podendo ser encontrados os dados para o cálculo do teste Kappa nos anexos 1, 2, 3, 4 e 5 do trabalho.

5.4 Área de Agricultura Inundada

Na Figura 21, observa-se a sobreposição da área de agricultura fornecida pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) e a área inundada gerada a partir do *Google Earth Engine* (GEE), onde temos a informação sobre a área de agricultura inundada combinadas usando QGIS.

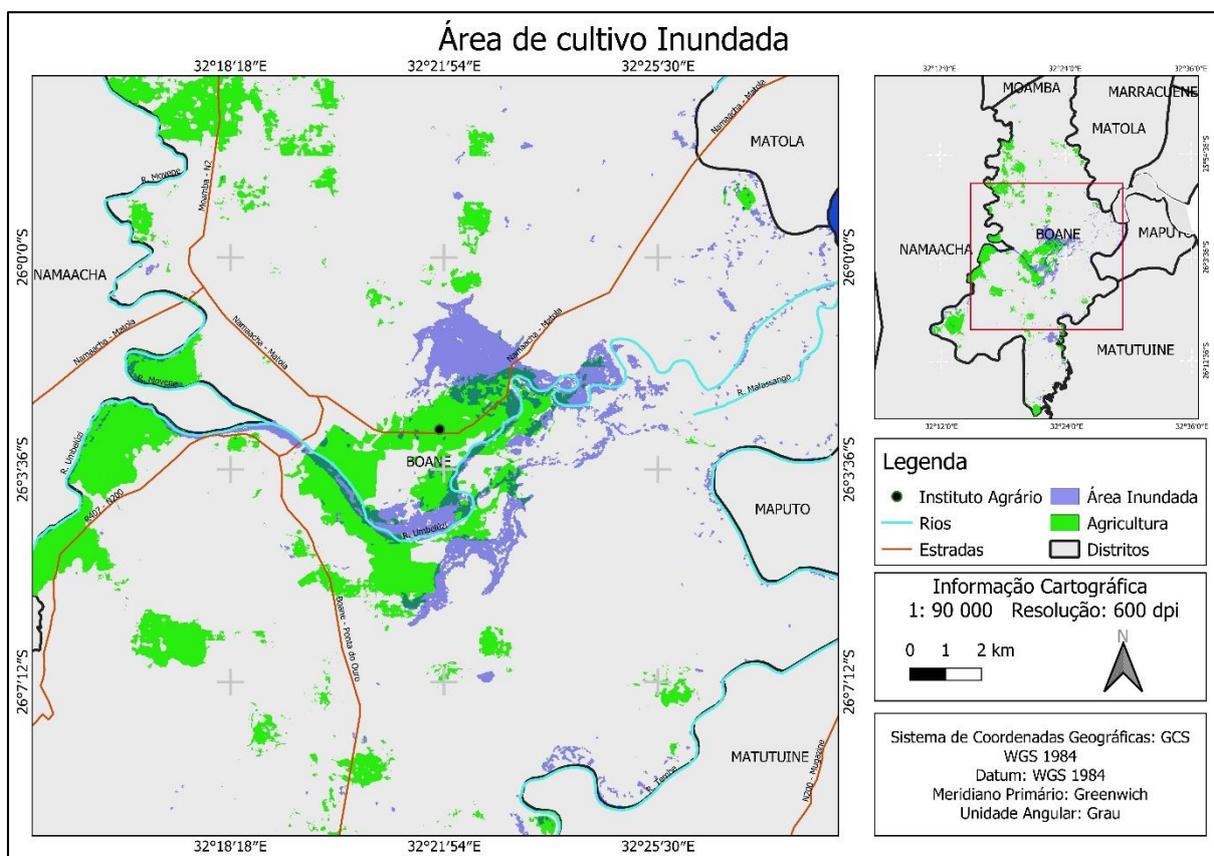


Figura 21: Área de agricultura inundada.

Após a combinação usando o QGIS da imagem da área cultivada obtida pelo ESRI e imagem da área inundada obtida pelo GEE através do mosaico nota-se que houve áreas de cultivo no distrito de Boane que foram afectadas pelas inundações tendo sido a zona de cultivo no centro do distrito mais afectada onde houve maior concentração de perdas nesta área de Boane.

Observa-se na Figura 22, usando a função *Clip* do QGIS a partir da macha de inundação e área de agricultura, a área de agricultura inundada durante as inundações de Fevereiro de 2023 no distrito de Boane.

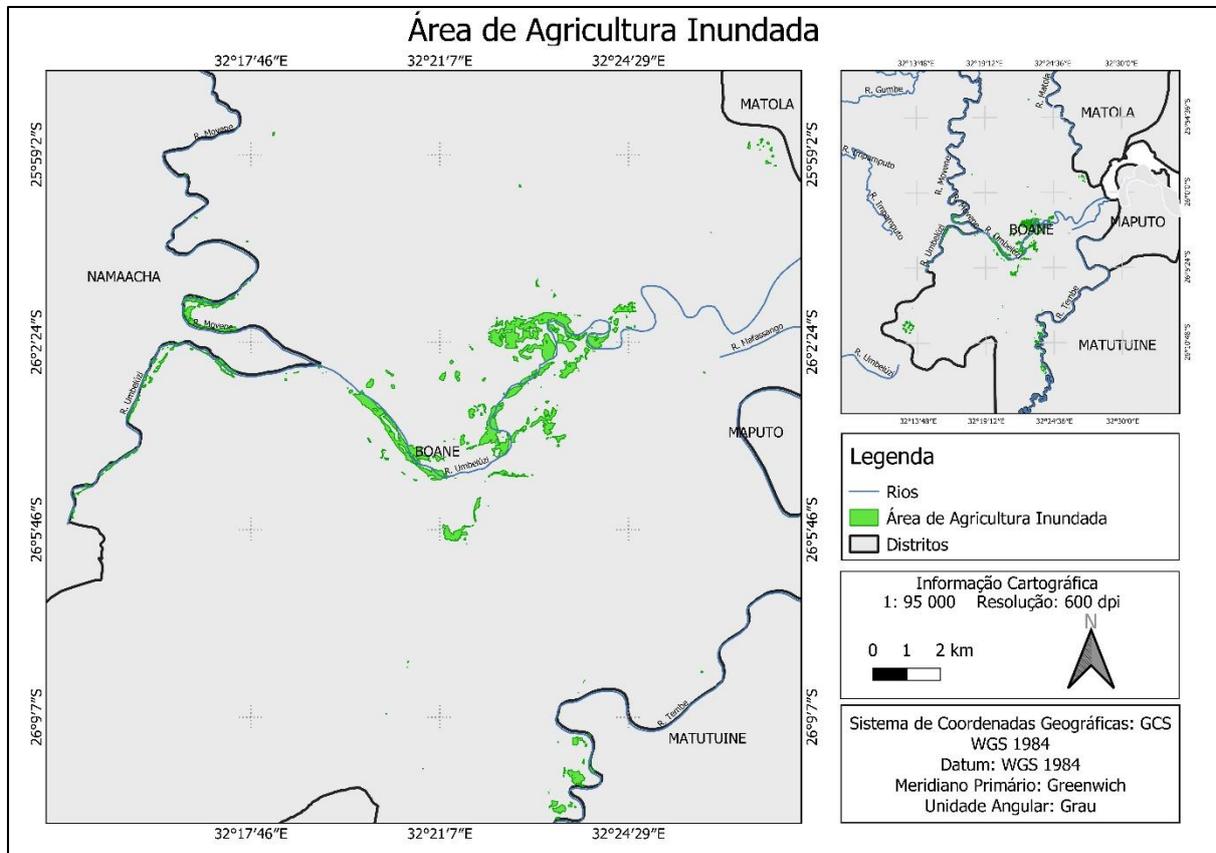


Figura 22: Área de Agricultura inundada.

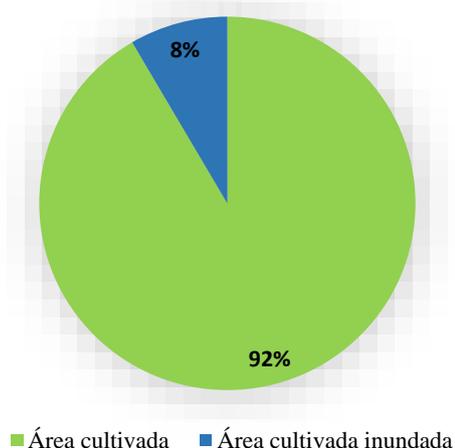


Figura 23: Percentagem de área cultivada afectada.

Usando o QGIS foi possível extrair através da sobreposição da camada de área de agricultura disponibilizada pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) e a camada da área

inundada produzida pelo *Google Earth Engine* (GEE) uma nova camada que demonstra somente a área de agricultura que foi afectada durante as inundações.

De um total de 7 347,08 hectares de terra cultivada até a época do ocorrido, foram afectadas aproximadamente 620,06 hectares correspondendo a 8,44% da área total cultivada comprovadas através do teste Kappa (0,7588) em relação aos dados obtidos pela Copernicus, assim sendo validados os resultados, pois de acordo com Landis e Kock (1977) é classificado com um resultado Muito Bom, ou seja, apresentam uma alta precisão, porém, estes resultados não vão de acordo com alguns autores como Cuco (2023) que afirma que foram afectados 29% de toda área agrícola, notando-se que este autor não só considerou a área cultivada até a data do ocorrido mas também toda área arável não cultivada assim como a área de pastagem do distrito de Boane, abrangendo boa parte da zona Sudoeste do distrito.

VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

O Distrito de Boane apresenta um uso e cobertura distribuído de forma aleatória tendo num total a área de pastagem ocupando 30070,16 hectares (37%), área residencial com 21816,91 hectares (27%), vegetação selvagem com 14 628,72 hectares (18%), área de agricultura com 7 347,08 (9%), a vegetação aquática e corpos de água somando aproximadamente 7 200 hectares (8,3%).

O distrito de Boane foi amplamente afectado pelas inundações de Fevereiro de 2023 resultantes das fortes chuvas que atingiram a região Sul do país. Olhando para os resultados, a região Central do distrito de Boane foi a mais afectada pelas inundações influenciada pelo relevo do próprio terreno, não só atingindo as áreas de agricultura assim como área residencial e de outras actividades humanas totalizando 3 119,6 hectares do distrito.

A área de agricultura do distrito inundada no mês de Fevereiro de 2023 atingiu um total de 620 hectares, equivalentes a 8,44% de toda área lavrada no Distrito.

6.2 Recomendações

- Recomenda-se aos gestores de água do Distrito de Boane o monitoramento das áreas inundadas com base no mapemamento de risco de inundações para facilitar a tomada de medidas sobre áreas a serem lavradas em função da previsão de cheias de determinadas amplitudes;
- Recomenda-se também aos agricultores a procurarem reduzir a produção nas áreas de risco apostando em áreas menos susceptíveis se possível mais a zona Sudoeste do distrito onde apresenta cursos de água, bom solo e uma altitude mais elevada em relação ao resto do distrito.
- Recomenda-se a condução de estudos similares para resgatar a informação sobre cheias do passado e assim melhorar a previsão de áreas inundadas na base de previsão de cheias em tempo real.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmad, R., DeGraff, J., McCalpin J. P., 1999 *Landslides Loss Reduction: A Guide for the Kingston Metropolitan Area, Jamaica. Unit for Disaster Studies, Department Of Geography and Geology, The University of the West Indies, Mona, Kingston, Jamaica. UDS publication No.6*

Almeida, J. A. P., Oliveira, P. J., 2010. Sensoriamento remoto I -- São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2010

Amaral, C. M.; Reis, C. H., 2017. Suscetibilidade a escorregamentos e inundações: hierarquização dos graus de riscos na área urbana de Viçosa-MG. Revista da Anpege, [S.l.], v. 13, n. 21, p. 199-219.

Amaral, R.; Ribeiro, R. R. 2009 Inundações e enchentes. In: TOMINAGA. L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, cap. 3, p. 39-52.

Amaral, C. M.; Reis, C. H., 2017. Suscetibilidade a escorregamentos e inundações: hierarquização dos graus de riscos na área urbana de Viçosa-MG. Revista da Anpege, [S.l.], v. 13, n. 21, p. 199-219.

Asante, K., Brito, R., Brundrit, G., Epstein, P., Fernandes, A., Marques, M.R., Mavume, A, Metzger, M., Patt, A., Queface, A., Sanchez del Valle, R., Tadross, M., Brito, R. 2009. INGC. 2009. Main report: INGC *Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique*. INGC, Mozambique. 2ª versão Pág. 1-46.

Barbosa, F.L.R. Guimarães, R.F. Júnior, O.A.C. Gomes, R.A.T., 2021.- Classificação do uso e cobertura da terra utilizando imagens SAR/Sentinel 1 no Distrito Federal, Brasil. Sociedade e Natureza v.32 pág. 1-2

Barros, J., 2023. O Que É O Sensoriamento Remoto? Conceitos e Características. Geoaplicada Brasil

Becker, W. R.; Carvalho, L. E. Johann, J. A. Silva, L. C. A.; Paludo, A.; Richetti J.; Rambo, E. M. 2019., *Google Earth Engine Como Instrumento De Classificação Uso E Cobertura Do Solo No Município De Cascavel, Paraná, Brasil*- pág. 1-2.

Bloch, R.; Jha, A.K.; Lamond, J. 2012. *Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. Washington: World Bank, p 638.

Caomba, D. P. A. 2018. Ocupações informais do solo urbano em Moçambique: análise dos fatores de motivação e do risco de ocupação das planícies de inundação na cidade de Lichinga (Doctoral dissertation, Universidade do Minho (Portugal)).

Cau, R., 2023. Boane em risco de inundações devido a eminente descarga da Barragem dos Pequenos Libombos disponível em: <https://evidencias.co.mz/2023/01/09/boane-em-risco-de-inundacoes-devido-a-eminente-descarga-da-barragem-dos-pequenos-libombos/> acesso a Ago.2023

Cea, L. Álvarez, M. Puertas, J. 2024. Usando modelagem hidrológica-hidráulica integrada e fontes de dados globais para analisar as enchentes de fevereiro de 2023 na Bacia Hidrográfica do Umbeluzi (Moçambique) v. 24, Ed. 1 Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/24/225/2024/#top> acesso a 30 de Abril de 2025

Chaora, J. L. J.; Raso, E. F. 2023; Análise Das Áreas De Risco Às Cheias e Inundações no Posto Administrativo de Dombe, Distrito de Sussundenga, Região Centro de Moçambique. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar v4,n.11 disponível em: https://www.researchgate.net/publication/375750052_ANALISE_DAS_AREAS_DE_RISCO_AS_CHEIAS_E_INUNDACOES_NO_POSTO_ADMINISTRATIVO_DE_DOMBE_DISTRITO_DE_SUSSUNDENGA_REGIAO_CENTRO_DE_MOCAMBIQUE

Chirrinzane, A., 2024. ARA-Sul adverte sobre o risco de inundações no distrito Boane Mar. Disponível em: [https://aimnews.org/2024/03/26/ara-sul-adverte-sobre-o-risco-de-inundacoes-no-distrito-boane/#:~:text=Maputo%2C%2025%20Mar%20\(AIM\),na%20regi%C3%A3o%20sul%20de%20Mo%C3%A7ambique.](https://aimnews.org/2024/03/26/ara-sul-adverte-sobre-o-risco-de-inundacoes-no-distrito-boane/#:~:text=Maputo%2C%2025%20Mar%20(AIM),na%20regi%C3%A3o%20sul%20de%20Mo%C3%A7ambique.) Acesso a Agosto de 2023.

Chaves, H.L.O. Costa, M.E.L. Koide, S. De Almeida T. Rejane, E.C. 2021. Mapeamento de Suscetibilidade à Inundação Utilizando o Método da Razão de Frequência Aplicado à Bacia do Riacho Fundo - Distrito Federal. Brasil pág. 146-166.

Chivambo, B. 2000. MAGNITUDE E FREQUÊNCIA DA CHEIA DE FEVEREIRO DE 2000 EM MOÇAMBIQUE

Costa, H.; Teuber, W. 2001. Enchentes no Estado do Rio de Janeiro: uma abordagem geral. Rio de Janeiro: SEMADS. 160 p.

Cristo, S. S. V. 2002. Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis - SC.. 195 F.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geografia, Departamento de Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82704>. Acesso a 15 de Out. 2024

Cuco, A., 2023. Mais de 200 famílias afectadas por inundações vivem em zonas críticas em Boane. Jornal OPAÍS Maputo disponível em: <https://opais.co.mz/mais-de-200-familias-afectadas-por-inundacoes-vivem-em-zonas-criticas-em-boane/> acesso a 18 Setembro 2024

Congalton, R. G.; Green, K. 2009 *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. 2. ed. Taylor & Francis Group, , 183p

Congalton, R.G. (1991) *A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data*. *Remote Sensing of Environment*, pág. 37, 35-46. [http://www.dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](http://www.dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)

Da Silva, T. M. Caldeira, C. R. T. Caldeira, M. Co. O. Balieiro, C. P. P. Ferreira, M. E. 2021. Classificação de Uso e Cobertura da Terra e o Monitoramento de Áreas em Restauração Florestal por RPAS. Vol. 19, num 1

De Amaral, R. Moni, S., 2020. Você sabe o que é inundação? – Instituto Geológico 1ª edição.

Diniz, M.A., Bandeira, S. Martins, E. S. 2013. Flora E Vegetação Da Província De Maputo: Sua Apropriação Pelas Populações. Instituto de Investigação Científica Tropical. Pág. 2-6

Embrapa, 2020- SENTINEL – Missão Sentinel disponível em <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel-> Acesso a: 25 abril 2025

EOS Data Analytics, 2023. Resolução Espacial de Imagens De Satélites: Tipos e Usos

Environmental Protection Agency, 2024. Land Cover and Land Use - disponível em: <https://www.epa.gov/report-environment/land-cover-and-land-use> acesso a: Setembro de 2024

European Space Agency. 2012. *Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission For GMES Operational Services SP-1322/1*, pág. 5-30.

Environmental Systems Research Institute, Inc about-us Mauritius jan.2010 disponível em: acesso a Set. 2024

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), *Land Cover and Land Use*, 2023 - <https://www.fao.org/geospatial/our-work/what-we-do/land-cover-and-land-use/en/>.

FEWS/UEM/INGC (2002) *Atlas For Deaster Preparedness and Response in the Limpopo Basin*. FEWS Net, Maputo.

Forest-GIS. 2019. Sentinel-2: Combinação de Bandas e como baixar os dados mais facilmente. Disponível em: <https://forest-gis.com/2019/12/sentinel-2-combinacao-bandas-baixar-dados.html/#:~:text=O%20Sentinel%2D2%20%C3%A9%20uma,2A%20e%20o%20Sentinel%2D2B>. Acesso a: Setembro de 2024

Gandhi, U. 2024. *JavaScript and the Earth Engine API*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374467107_JavaScript_and_the_Earth_Engine_API acesso a: 10 de Maio de 2025

Grillo, F. D. N., Fortes, R. P. M., 2008 *Aprendendo JavaScript*. Disponível em: https://web.icmc.usp.br/SCATUSU/RT/Notas_Didaticas/nd_72.pdf acesso a: 10 de Maio de 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INAM), 2024. Monitoria Climática da Província de MAPUTO. Boletim de Monitoria a Seca. Boletim nº 001

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). N.d. Landsat. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso a: 25 abril 2023.

João, R. A., 2023. *Dinâmicas de Transformação Urbana na Região de Maputo (Boane, Moamba E Namaacha). Análise do Risco de Inundações Geradas pela Impermeabilização de Solos Caso de Estudo: Bairro Fiche - Município da Vila de Boane. TCC em Mestrado, Universidade Eduardo Mondlane Maputo.*

Landis, J. R., Koch, G. G., 1997. *An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers*. Vol. 33 No.2. pág 363-374

Lobo F. 2020 - *INTRODUÇÃO AO GOOGLE EARTH ENGINE*- Universidade Federal de Pelotas pag1-18

Matule, E.D., Macarringue, L.S., 2020. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo no distrito de Boane em Moçambique. *Sociedade & natureza* v.32 p.225-235.

Manjoro, A., Rosse, M.E.G., Ferreira, P.A., 2023. Desafios De Moçambique Após os Ciclones IDAI e Kenneth

Mauaie. T, Alfredo F., 2016 Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito de Boane Governo Do Distrito de Boane 2015-2024 Paginas 15-23 & 47-50

Maziva, L. d. (2015). Identificação das Áreas de Risco de Cheia na Bacia do Rio Limpopo, Moçambique, com Recurso a Sistemas de Informação Geográfica. Dissertação de Mestrado, Universidade De Trás-Os-Montes E Alto Douro, Departamento de Ciências Florestais e Arquitectura Paisagista , Vila Real.

<https://www.worldbank.org/pt/news/press-release/2022/07/11/mozambique-economic-update-getting-agricultural-support-right> acesso a: 26 set 2023

Mendes, D. F. Silva, S. F. Ferrari, J. L. Santos, A.R. Garcia, R. F. 2015. Acurácia Temática Do Classificador Por Máxima Verossimilhança Em Imagem De Alta Resolução Espacial Do Satélite Geoeye-1 v.12 n.1 pág. 111-116

MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL – MAE. 2005. Perfil distrital de Boane. Maputo.

Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural. Inquérito Agrário Integrado 2020, Marco Estatístico, 2020. Disponível em: https://www.agricultura.gov.mz/wpcontent/uploads/2021/06/MADER_Inquerito_Agrario_2020.pdf. Acesso a: 11 de Maio de 2025

MINISTÉRIO PARA COORDENAÇÃO DA ACÇÃO AMBIENTAL (MICOA), 2007. Programa de Acção Nacional para a Adaptação Às Mudanças Climáticas (NAPA)

Monitoria e Avaliação de Recursos Hídricos de Moçambique, 2024. Cheias Históricas – Recursos Hídricos, Moçambique. Disponível em: <https://monitoriaavaliacao.dngrh.gov.mz/cheias-historicas/> acesso a: Dezembro de 2024

Mosca, J.; Lasse, N. 2023. Inundações Em Moçambique: O Factor Humano Como Agravante. Observatório do Meio Rural. Destaque rural nº 209 pág. 2-4

Nhanenge, E. C., 2024. Modelação da Susceptibilidade à Inundações Baseada Em Análise Multicritério Em Sistemas de Informação Geográfica Caso de estudo: Distrito de Boane.

Universidade Eduardo Mondlane. Dissertação de Licenciatura em Ciências de Informação Geográfica. pág. 4-6

Nhangumbe, M.; Nascetti, A.; Ban, Y., 2023. *Multi-Temporal Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 MSI Data for Flood Mapping and Damage Assessment in Mozambique*. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 12, 53. Disponível em: <https://www.doi.org/10.3390/ijgi12020053> acesso a: 10 de Maio de 2025

Nuvunga, A. 2023. Cheias e Inundações em Maputo. Centro Para Democracia e Desenvolvimento. Ano V n.º 9 pág. 1-4 disponível em: https://cddmoz.org/Governo_ nao_informou_as_populacoes_sobre_o_risco_de_cheias_em_Boane_e_chegou_tarde_para_socorrer_as_vitimas1.pdf Precipitações: tipos, medição, interpretação, chuva média - http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=16884

Oliveira, P.N. 2016. “Agricultura familiar, cultura e economia em Moçambique”, Cadernos CERU, 27 (2), p.156-170 disponível em <https://www.revistas.usp.br/ceru/article/view/125090> acesso em 26 set. 2022.

Pechim, L. 2021. Conheça as causas das inundações e saiba como se proteger. – <http://www.medicina.ufmg.br/Conheça-ascausas-das-inundações-e-saiba-como-se-proteger>

Pedroso, F. T., & Tybush, J. S. (2022). Inundações, Desenvolvimentismo e Sustentabilidade Urbana: Uma Análise a Partir das Origens Naturais e Antrópicas dos Desastres Ambientais. *Revista de Direito e Sustentabilidade*, 7(2), 19-38.

Trindade, E.G.B., 2021. O que é e Como Funciona O Google Earth Engine- geosense

Ramos, C. 2009.- PERIGOS NATURAIS DEVIDOS A CAUSAS METEOROLÓGICAS: O CASO DAS CHEIAS E INUNDAÇÕES - Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa Pg11-16

Rodrigues, M. 2024.- Causas das Inundações Cíclicas em Maputo: mudanças climáticas ou Deficientes Políticas Públicas de Ordenamento Territorial?- Centro de Integridade Pública, edição nr2 pág. 3-7

Rodrigues, C. M., 2017. Capítulo 4 – Precipitação. In: Guimarães, R. C., Shahidian, S. e Rodrigues, C. M. (Editores). *Hidrologia Agrícola*, 2ª edição. ISBN: 978-989-8550-40-8. ECT e ICAAM. Évora, 81-87

Rosário, N.M. Ndava, A.O. Faduco, C.I.M. 2022. A extensão Rural, Agricultura e Qualidade De Vida: o Caso de Estudo dos Agricultores do Distrito de Boane, Moçambique. Santa Maria, v. 28, n. 1, e6, pág. 1-25

Victor. R.B; Passe, J.J; Miquitaio, D; Uaila, D; Nganhame, H., 2023. Mapeamento de suscetibilidade de risco de inundação na Bacia hidrográfica do Rio Zambeze 2 em Moçambique. **Boletim GeoÁfrica**, v. 2, n. 7, p. 101-130.

ANEXO

Na tabela abaixo encontra-se os dados das classes do uso e cobertura existentes no distrito de Boane usados para a elaboração da matriz de erro.

Valores do Raster	Classes	Classificações	Σ Pixéis	Área [metros ²]
1	1	1	184	1836636.97
2	2	1	2	19963.45
3	4	1	35	349360.29
4	5	1	20	199634.45
5	8	1	2	19963.45
6	11	1	11	109798.95
7	2	2	5	49908.61
8	4	2	4	39926.89
9	11	2	4	39926.89
10	1	4	27	269506.51
11	2	4	2	19963.45
12	4	4	448	4471811.74
13	5	4	14	139744.12
14	7	4	1	9981.72
15	8	4	3	29945.17
16	11	4	32	319415.12
17	1	5	20	199634.45
18	4	5	8	79853.78
19	5	5	281	2804864.06
20	7	5	3	29945.17
21	11	5	14	139744.12
22	1	7	2	19963.45
23	5	7	3	29945.17
24	7	7	8	79853.78
25	11	7	2	19963.45
26	1	8	3	29945.17
27	8	8	4	39926.89
28	1	11	15	149725.84
29	2	11	9	89835.50
30	4	11	20	199634.45
31	5	11	12	119780.67
32	7	11	2	19963.45
33	8	11	6	59890.34
34	11	11	522	5210459.22

Anexo 1: Classes de uso e cobertura e área que ocupa

Unidade de Área = metros²

SE = Erro Padrão

CI = Intervalo de Confiança

PA = Precisão do Produtor

UA = Precisão do Usuário

Nas tabelas a seguir encontramos os dados da matriz de erro usada na obtenção do índice Kappa, onde na tabela 8 observa-se a descrição de cada classe e a que tipo de cobertura representa, na tabela 9 a matriz de erro em função da contagem de pixels dos mapas, na figura 10 observa-se a área de cálculo baseada na matriz de erro e por fim na figura 11 os resultados obtidos do índice kappa.

Classes	Descrição
1	Corpos de Água
2	Vegetação
4	Vegetação Aquática
5	Agricultura
7	Residências
8	Floresta
11	Pastagem

Anexo 2: Classes e respectivas descrições.

[contagem de pixels]	Classes do mapa base							
Classes do usuário	> Referência							
	1	2	4	5	7	8	11	Total
1	184	2	35	20	0	2	11	254
2	0	5	4	0	0	0	4	13
4	27	2	448	14	1	3	32	527
5	20	0	8	281	3	0	14	326
7	2	0	0	3	8	0	2	15
8	3	0	0	0	0	4	0	7
11	15	9	20	12	2	6	522	586
TOTAL	251	18	515	330	14	15	585	1728

Anexo 3: Comparação das classes usando referências da fotointerpretação do Distrito Boane.

Área baseada na matriz de erro	Classes do mapa base								
	> Referência								
Classes do usuário	1	2	4	5	7	8	11	Area	Wi
1	0.1784	0.0019	0.0339	0.0194	0	0.0019	0.0107	7316602.6924	0.2463
2	0	0.0094	0.0075	0	0	0	0.0075	728665.7525	0.0245
4	0.0108	0.0008	0.1794	0.0056	0.0004	0.0012	0.0128	6268521.8156	0.2110
5	0.0127	0	0.0051	0.1784	0.0019	0	0.0089	6148741.1440	0.2070
7	0.0026	0	0	0.0038	0.0102	0	0.0026	568958.1903	0.0192
8	0.0010	0	0	0	0	0.0013	0	69872.0585	0.0024
11	0.0074	0.0044	0.0099	0.0059	0.0010	0.0030	0.2580	8604244.9125	0.2897
Total	0.2129	0.0166	0.2358	0.2132	0.0135	0.0075	0.3005	29705606.565	0
área Estimada	6324648.61	493803.67	7005786	6332612.96	401288.63	221320.19	8926146.52	29705606.57	

Anexo 4: Matriz de erro dos mapas de inundação para análise da precisão obtida durante a classificação digital.

	Classes						
	1	2	4	5	7	8	11
SE	0.0081	0.0040	0.0076	0.0065	0.0029	0.0020	0.0069
SE área	242074.53	119673.02	225920.73	193287.11	85950.56	59645.25	205468.92
95% CI área	474466.08	234559.13	442804.62	378842.74	168463.09	116904.68	402719.08
PA [%]	83.8025	56.7546	76.0634	83.6935	75.6175	18.0403	85.8661
UA [%]	72.4409	38.4615	85.0095	86.1963	53.3333	57.1429	89.0785
Índice Kappa	0.6499	0.3742	0.8038	0.8246	0.5269	0.5682	0.8439

Anexo 5: Resultados do índice Kappa baseada na matriz de erro

Precisão geral [%] = 81.5240

Classificação do índice Kappa = 0.7588