



**FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

TRABALHO DE LICENCIATURA

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ÁGUA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO INCOMATI**

Autor:

Langa, João Paulino

Supervisor:

Prof. Doutor Clemêncio Nhantumbo, Eng^o

Co-supervisor

Lic. Zubaida Esperança, Eng^a

Maputo, Julho de 2025

FACULDADE DE ENGENHARIA

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

TRABALHO DE LICENCIATURA

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ÁGUA NA BACIA
HIDROGRAFICA DO RIO INCOMÁTI**

Autor:

Langa, João Paulino.

Supervisor:

Prof. Doutor Clemêncio Nhantumbo, Eng^o

Co-supervisor

Lic. Zubaida Esperança, Eng^a

Maputo, Novembro de 2025

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante finalista João Paulino Langa entregou no dia ___/___/2025
as ___ cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura com referência:

_____ intitulado: “**Avaliação do Sistema de monitoramento de água na
Bacia do Rio Incomát**”.

Maputo, ___ de _____ de 2025.

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra, que o presente relatório académico foi elaborado por mim próprio. Não se recorreu a quaisquer outras fontes, para além das indicadas, e todas as formulações e conceitos usados, quer adoptados literalmente ou adaptados a partir das ocorrências originais (em fontes impressas, não impressas ou na internet), se encontram adequadamente identificados e citados em conformidade com as convenções e normas do regulamento de culminação de cursos de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Declaro ainda, que este relatório não foi apresentado a qualquer outra entidade ou instituição, para além da diretamente envolvida na sua elaboração, para efeitos de avaliação, apreciação ou recurso de suporte em outras pesquisas.

Declaro finalmente, encontrar-me ciente de que a inclusão, neste relatório, de qualquer falsa declaração ou manipulação de informação terá consequências legais.

Maputo, Novembro de 2025

O Autor

(Langa, João Paulino)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a duas pessoas muito especiais que com muito esforço, sacrifício lutara incansavelmente para que eu pudesse estudar e concluir o meu curso de Engenharia do ambiente.

A minha esposa a Sr^a. Henriqueta Maria Nhavotso Langa e a minha família que apesar das dificuldades da vida sempre pensaram em primeiro a minha escola. Em todos os planos e projectos que eu tinha eles sempre estiveram para me apoiar, incentivar e dar-me muita força para poder continuar.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a DEUS, pai todo-poderoso que está e sempre esteve comigo nesta caminhada desde o início até o fim. Mesmo nas dificuldades nunca me abandonou, em todos os momentos sempre me guiou.

Agradeço a empresa ARA-Sul por ter aceitado o meu estágio. Agradecer todos os colaboradores da ARA-Sul em especial a unidade de gestão da bacia do Incomati pela contribuição para a efetivação desse curso

Agradecer a minha esposa a minha mãe e os meus filhos, Henriqueta Langa esposa, Filomena Moises Mucuho- mãe, Marcilio João Langa- filho, Febo João langa- filho, Pelos vários desafios que enfrentaram durante a minha escolaridade e o amor que me consideram e concede na valorização das minhas intenções.

Agradecer os professores desta instituição pela objectividade, carácter e capacidade de si adequar com o comportamento do aluno.

Agradeço ainda aos colegas da turma pela contribuição nos estudos e investigações em especial os elementos do grupo a colega Sara Muthemba e a colega Zaida Banze

Colegas de serviço Rui Rodrigues, Lourenço Cumbe, Raimundo Zavala, Ananias Saize, Raimundo Massindo, pela disponibilidade do tempo e material para a realização do meu estágio.

RESUMO

As actividades realizadas numa bacia hidrográfica influenciam directamente a quantidade e a qualidade da água, bem como a saúde dos ecossistemas e a disponibilidade de seus serviços ambientais. Actualmente, a preservação dos ecossistemas e dos serviços que prestam tem sido o foco de diversas pesquisas, em resposta à crescente preocupação com o meio ambiente. O sistema de monitoramento de água em bacias hidrográficas é fundamental para garantir o uso sustentável dos recursos hídricos e a proteção dos ecossistemas. O sistema de monitoramento de água em bacias hidrográficas envolve a coordenação de ações voltadas à preservação da quantidade e da qualidade da água, à prevenção de desastres naturais e à promoção do desenvolvimento sustentável dentro da área da bacia. A bacia do rio Incomáti, por sua vez, apresenta uma vasta área, composta por diversos afluentes e caracterizada por intensas actividades humanas, como agricultura, extração de inertes, criação de gado, produção de energia hídrica e descarte de resíduos urbanos. Este trabalho teve como objectivo estudar os mecanismos de monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Incomáti. A partir dessa análise, buscou-se avaliar o sistema de monitoramento actualmente em vigor, comparando-o com outros sistemas implementados em bacias hidrográficas semelhantes. A metodologia adoptada incluiu pesquisa bibliográfica e visita de campo, onde se constatou um elevado custo logístico para cobrir o itinerário de colecta e os custos laboratoriais envolvidos. Os resultados apontam que o sistema de monitoramento da quantidade de água apresenta alguma estrutura funcional, especialmente no que diz respeito à detecção de aumento dos níveis, velocidade do fluxo e quantidade de precipitação. Como proposta para mitigar os problemas identificados, foi sugerida a implementação de um sistema automático de monitoramento da qualidade da água, o qual permitiria a redução de custos operacionais, fornecendo resultados em tempo real e possibilitando o armazenamento de dados por longos períodos, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável da bacia do rio Incomáti.

Palavras chaves: Bacia hidrográfica, sistema de monitoramento, medidas de mitigação.

ABSTRACT

Activities carried out in a river basin directly influence the quantity and quality of water, as well as the health of ecosystems and the availability of their environmental services. Currently, the preservation of ecosystems and the services they provide has been the focus of numerous research projects, in response to growing environmental concerns. Water monitoring systems in river basins are fundamental to ensuring the sustainable use of water resources and the protection of ecosystems. The Incomáti River basin, in turn, presents a vast area, composed of several tributaries and characterized by intense human activities, such as agriculture, extraction of aggregates, livestock farming, hydroelectric power generation, and urban waste disposal. This work aimed to study the water quality monitoring mechanisms in the Incomáti river basin. From this analysis, the study sought to evaluate the monitoring system currently in place, comparing it with other systems implemented in similar river basins. The methodology adopted included bibliographic research and a field visit, which revealed a high logistical cost to cover the collection route and the laboratory costs involved. The results indicate that the water quantity monitoring system has some functional structure, especially with regard to detecting increases in levels, flow velocity, and amount of precipitation. As a proposal to mitigate the identified problems, the implementation of an automatic water quality monitoring system was suggested, which would allow for a reduction in operational costs, providing real-time results and enabling data storage for long periods, contributing to a more efficient and sustainable management of the Incomáti River basin.

Keywords: Watershed, monitoring system, mitigation measures.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A(m ²)	Área em metros quadrados
ANA	Agência Nacional de Águas
ARA	Sul – Administração Regional de Águas do Sul
CE	Condutividade Elétrica
DGBI	Divisão da Gestão da Bacia do Incomati
DM	Diploma Ministerial
DNGRH	Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos
DO	Demanda de Oxigênio
DPGA	Direção Provincial de Gestão Ambiental
DT	Dureza Total
GIRE	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
INAM	Instituto Nacional de Meteorologia
INE	Instituto Nacional de Estatística
MTA	Ministério da Terra e Ambiente
pH	Potencial Hidrogeniônico
Q(m ³ /s)	Caudal em metros cúbicos por segundo
SDPI	Serviços Distritais de Planeamento e Infraestruturas
Tc ^o	Temperatura em graus Celsius
WWF	World Wide Fund.

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 Rede de estações telemétricas.....	35
Tabela 2 Estações de medição de caudal.....	36
Tabela 3 Estações de monitoramento de pluviosidade.....	44
Tabela 4 Estações de monitoramento de níveis hidrometrica.....	45
Tabela 5 Lista de caudais medidos.....	46
Tabela 6 Orientcao para validação de um caudal.....	46
Tabela 7 Orientcao para validação de um caudal.....	46
Tabela 8 Rede de estações de monitoramento de qualidade de água automática.....	60
Tabela 9 Anexo 1. Tabela de estações de monitoramento de níveis de água.....	- 1 -
Tabela 10 Anexo 2: Tabela de pontos de monitoramento de pluviosidade.....	- 2 -
Tabela 11 Anexo 3: Tabela de pontos de monitoramento de qualidade de água subterrânea.....	- 3 -
Tabela 12 Anexo 4. Tabela de controle de variação de parâmetros (pH) ao longa da Bacia do Incomáti.....	- 4 -
Tabela 13 Anexo 5. Tabela de controle de variação de parâmetros (CE) ao longa da Bacia do Incomáti.....	- 4 -
Tabela 14 Anexo 6.Tabela de controle de variação de parâmetros (N03) ao longa da Bacia do Incomáti.....	- 5 -
Tabela 15 Anexo 7.Tabela de controle de variação de parâmetros (Dt) ao longa da Bacia do Incomáti.....	- 5 -
Tabela 16Anexo 8.Tabela de pontos de monitoramento de qualidade água superficial.....	5
-	
Tabela 17 Anexo 9: Tabela Áreas e consumo de água por agricultores.....	- 6 -

INDICE DE FIGURAS

Figure 1. Estação hidrométrica.	7
Figure 2 <i>Visão geral da Bacia do Rio Inkomati (parte de Moçambique). A elevação é baseada em dados SRTM, Bydekerke (2007).</i>	8
Figure 3 Regiões agroclimáticas na parte moçambicana da bacia do rio Inkomati, segundo Tauacale et al., (2007).....	11
Figure 4. Bacia hidrográfica do Incomáti.....	17
Figure 5 Mapa da localização geográfica da bacia hidrográfica de Incomáti.	19
Figure 6 Hidrografia da Bacia do Incomáti.	21
Figure 7. Distribuição da precipitação na parte moçambicana da Bacia do Rio Inkomati, segundo Tauacale et al., (2007).....	22
Figure 8 Visão geral da bacia do rio Inkomati; declive baseado em dados SRTM, Bydekerke (2007).....	23
Figure 9 Potencial para agricultura na parte moçambicana da bacia do rio Inkomati, segundo Tauacale et al., (2007).....	24
Figure 10 Exploração de inertes na Bacia do Rio Incomáti.....	27
Figure 11 Barragem da Corumana.....	29
Figure 12 Plantas aquáticas no rio Incomáti.	31
Figure 13 Cheias na Bacia do Rio Incomáti.	32
Figure 14 Rede de estações de monitoramento de recursos hídricos.	33
Figure 15 Estação hidrométrica. Banco de dados da UGBI.....	34
Figure 16 Estação telemétrica de Magude E43, (a) Banco de dados da ARA-Sul. Estação telemétrica de Sabie E 413 (b) Banco de dados da ARA-Sul.....	35
Figure 17 a) Furo piezometrica Banco de dados DGBI, b) furo piezometrica com telemetria, Banco de dados DGBI.....	37
Figure 18 Estação pluviométrica de Mahel (Magude).	38
Figure 19 Mapa de estações de monitoramento de qualidade de água superficial.....	40
Figure 20 Mapa de estações de águas subterrâneas. Banco de dados DGBI.....	41
Figure 21 Analise da precipitação na Bacia do Rio Incomati	48
Figure 22 Analise de medições de caudal na Bacia do Rio Incomati	48
Figure 23 Analise leituras de níveis hidrométricos na Bacia do Rio Incomati	49

Figure 24	Análise níveis hidrométrico na Bacia do Rio Incomati.....	50
Figure 25	Análise de pH na Bacia do Incomati.	51
Figure 26	Análise de CE na Bacia do Incomati.	52
Figure 27	Análise de NO3 na Bacia do Incomati.....	53
Figure 28	Análise de Dt na Bacia do Incomati.	54
Figure 29	Mapas da bacia do Rio Barigui.	59
Figure 30	Monitoramento automático de (OD) e pH.....	61
Figure 31	Monitoramento automático de Turbidez e Temperatura.	61
Figure 32	Anexo 10: Representação geral da Bacia do Incomati	- 6 -
Figure 33	Anexo 11: Açude de Incoluane	- 7 -
Figure 34	Anexo 12: Represa de Macaene.....	- 7 -
Figure 35	Anexo 13: Represa de Mapulanguene.....	- 8 -
Figure 36	Anexo 14: Estação pluviométrica	- 8 -

INDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA.....	i
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
1.0 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objectivos.....	2
1.1.1 Objectivo geral.....	2
1.1.2 Objectivos específicos.....	2
1.1.3 Metodologia.....	3
1.1.4 Classificação quanto aos Procedimentos Técnicos.....	3
1.2.Instrumentos de Colecta de Dados.....	4
1.2.1 Tratamento e Análise de Dados.....	4
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Conceitos.....	5
2.1.1 Caudal.....	5
2.1.2 Níveis de agua.....	5
2.1.3 Vegetação de um rio.....	5
2.1.4 Qualidade da água.....	5
2.1.5 Nascente de um rio.....	6
2.1.6 Divisores de um rio.....	6
2.1.7 Afluentes.....	6
2.1.8 Efluentes.....	6

2.1.9 Ano hidrológico	6
2.1.10 Precipitação	7
2.1.11 Estações hidrométricas.....	7
2.1.12 Bacia Hidrográfica.....	8
2.1.13 Precipitação numa bacia hidrológica	10
2.1.14 Vegetação na bacia hidrológica	10
2.2 Sistema de monitoramento de qualidade de água em bacias hidrográficas	13
2.3 O monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas	14
2.3.1 Etapas de monitoramento de qualidade de água	15
3.0 CASO DE ESTUDO	17
3.1 Descrição da área em estudo: BACIA DO RIO INCOMÁTI	17
3.1.1 Caracterização geral da bacia	18
3.1.2 Hidrografia da Bacia do Incomáti	20
3.1.3 Clima da Bacia do Rio Incomáti em Moçambique	21
3.1.4 Geologia e geomorfologia.....	22
3.1.5 Topografia	23
3.1.6 Solos.....	23
3.1.7 População na bacia hidrográfica do rio Incomáti em Moçambique	25
3.1.8 Uso e cobertura do solo na bacia no território nacional	25
3.1.9 Estruturas hidráulicas existentes na bacia do rio Incomáti	26
3.2. Actividades desenvolvidas na bacia hidrográfica do Incomáti.....	27
3.2.1 Exploração de Inertes.....	27
3.2.2 Criação de Gado	27
3.2.3 Actividade Agrícola	28
3.2.4 Produção de Energia Eléctrica	28

3.2.5 Descarga de efluentes.....	29
3.2.6 Exploração de Água e Uso da Bacia do Incomáti	30
3.2.6.1 Abastecimento para consumo humano.....	30
3.2.6.2 Agua para Irrigação.....	30
3.3.0 Eventos ocorridos na bacia do Incomáti	30
3.3.1 Contaminação das águas na estação de monitoramento E 23.....	30
3.3.2 Contaminações das águas na estação de monitoramento de qualidade de água E 28	30
3.3.3 Desenvolvimentos de plantas aquáticas no rio.....	31
3.3.4 Cheias na bacia do Incomáti	31
3.3.4 Tempo de propagação de ondas na bacia hidrográfica do Incomáti.....	32
3.4 Sistema de monitoramento de água na bacia do Incomáti	33
3.4.1 Rede de estações de monitoramento de recursos hídricos	33
3.4.2 Rede de estações hidrométricas de escalas verticais	33
3.4.3 Rede de Estações Telemétricas.....	34
3.4.4 Rede de Estações de Medição de Caudal.....	36
3.4.6 Rede de estações subterraneas	36
3.4.7 Rede de Estações Pluviométricas.....	37
3.4.8 Monitoramento de qualidade de água na Bacia do Incomáti.....	38
3.4.9 Monitoramento de qualidade de agua superficial	39
3.5 Plano de Monitoramento de qualidade de água na bacia do Incomáti.....	41
4.0 Trabalhos realizados durante o estagio.....	43
4.1 Visita a bacia do incomati	43
4.1.1 Visita a estacoes pluviométricas.	43
4.1.2 Recolha de dados de estacoes hidrométricas	44

4.1.3	Medições de caudal.....	45
4.2	Analisa do sistema de monitoramento de água na Bacia do Rio Incomáti.....	47
4.2.3	Analise da rede hidrométrica estacao hidrométrica E564.....	48
4.2.4	Analise da rede hidrométrica estação hidrométrica E 43.....	49
4.2.5	Analise de Parâmetros.....	50
4.2.5.1	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	50
4.2.5.2	Condutividade eléctrica.....	51
4.2.5.3	Nitratos.....	52
	Figura 27; Análise de NO3 na Bacia do Incomáti.....	53
4.2.5.4	Dureza total.....	53
	Figura 28; Análise de Dt na Bacia do Incomáti.....	54
5.0	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
5.1	Análise do sistema de monitoramento da qualidade de água na Bacia do Rio Incomáti.....	55
5.2	Soluções para melhorar o sistema de monitoramento de qualidade de água.....	56
5.3	Monitoramento automático.....	56
5.4	Experiência de uso de sensores para monitoramento de qualidade de água.....	58
	Bacia do rio Barigui.....	58
	Figura 29; Mapas da bacia do Rio Barigui.....	59
	Tabela 8. Rede de estações de monitoramento de qualidade de água automática.....	60
5.5	Funcionamento.....	60
5.5.1	Central de comando.....	60
	Figura 30; Monitoramento automático de (OD) e pH.....	61
	Figura 31; Monitoramento automático de Turbidez e Temperatura.....	61
5.5.1.1	Análise do sistema de monitoramento de qualidade de água através de sistemas automáticos.....	61

6.0 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	62
6.1 Conclusão	62
6.2 Recomendações	63
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS	67

1.0 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural importante para a existência da vida no planeta, sendo indispensável para a sobrevivência da espécie humana, conservação e manutenção do equilíbrio da biodiversidade e das relações de dependência entre seres vivos e ambientes naturais (Bacci, 2008).

Com o aumento demográfico, observa-se um aumento exponencial do uso inadequado e da pressão sobre os recursos hídricos (CEAGRE, 2021) este facto pode estar associado às mudanças climáticas, que é responsável pela redução dos caudais nos rios, sobretudo para o consumo humano e desenvolvimento socioeconómico (UNSCO e UN-water, 2020).

Em Moçambique, a ocorrência frequente de eventos naturais extremos, como secas prolongadas e ciclones intensos, combinada com o rápido crescimento do parque industrial e a prática da agricultura itinerante, contribui significativamente para a deterioração dos cursos de água nas principais bacias hidrográficas (Forslund, et al., 2009).

Estudos recentes mostram que a qualidade da água tem diminuído em até 30% nas últimas duas décadas, e os caudais ecológicos estão cada vez mais comprometidos (ceagre2021). Portanto, é essencial implementar medidas rigorosas de monitoramento e manutenção para garantir a preservação e sustentabilidade desses recursos hídricos. O país conta com mais 13 bacias hidrográficas de natureza internacional, facto este gera impacto negativo sobre a condição da água a jusante porque os caudais são dependentes de países a montante (Chilundo. Keldermane Keefe, 2007).

No território nacional, actividades como a agricultura, a pecuária, a exploração de inertes, a deposição de resíduos sólidos e líquidos industriais e urbanos não tratados, o desmatamento das florestas nas zonas nascentes, tendem a agravar a condição dos cursos da água, essencialmente, para responder ao abastecimento nas zonas urbanas assim como para a manutenção do ecossistema (Hogwane ET al 2002: Gustafsson e johansson2006 : WWF2021).

Neste âmbito, o (WWF) Moçambique imbuído na necessidade de apoiar a administração Regional de Águas do Sul (ARÁ Sul, IP) uma entidade do governo responsável pela gestão dos recursos hídricos na região sul de Moçambique, promoveu um estudo, que visa essencialmente, identificar, caracterizar e mapear as fontes de poluição da água nas bacia hidrográficas dos rios de Incomáti e Umbeluzi, e recomendar as respectivas ações de mitigação ambientalmente sustentável, incluindo soluções baseadas na redução da poluição da água, que podem ser facilmente adoptadas e implantados por diferentes actores.

Um sistema de monitoramento de quantidade e qualidade de água numa determinada bacia representa um conjunto de actividades que compõe uma estrutura gestão eficiente em bacias hidrográficas. O presente trabalho pretende analisar o funcionamento do sistema de monitoramento de qualidade de água na Bacia Hidrográfica do Rio Incomáti. Com este trabalho pretende-se avaliar o sistema de monitoramento de água na Bacia do Rio Incomáti, e propor medidas ambientalmente sustentáveis.

1.1 Objectivos

1.1.1 Objectivo geral

→ Avaliar o sistema de monitoramento de água na Bacia hidrográfica do Incomáti

1.1.2 Objectivos específicos

- ✓ Caracterizar a bacia hidrográfica do Rio Incomáti;
- ✓ Descrever o sistema de monitoria de qualidade de água na Bacia do Incomáti;
- ✓ Analisar o sistema de monitoramento da qualidade de água na Bacia do Rio Incomáti.
- ✓ Identificar outro sistema de monitoramento de qualidade de água usado em outras bacias hidrográficas;
- ✓ Propor sistemas de monitoramento de qualidade de água eficiente para mitigar desastres.

1.1.3 Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvendo empregando uma abordagem combinada dos métodos qualitativos e quantitativos de pesquisa. Durante a realização do trabalho foi feita pesquisa bibliográfica e trabalho do campo de acordo com a seguinte sequência:

- **Recolha de informação:** Foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre recursos hídricos. Através de consulta de fontes como, revisão de literatura, consulta de livros, jornais, revistas, internet e abordagens directas sobre o tema com gestores Bacia do Rio Incomáti.
- **Trabalho de campo:** Nesta fase do estudo foram desenvolvidas as actividades de recolha de dados, onde foi feita uma visita à Bacia do Rio Incomáti recolha de informações relevante ao tema, análise de dados recolhidos e compilação da informação.

1.1.4 Classificação quanto aos Procedimentos Técnicos

- Este estudo classifica-se como pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimento para aplicação prática na gestão dos recursos hídricos. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva, combinando:
- Pesquisa bibliográfica, para fundamentar teoricamente os conceitos de gestão de bacias hidrográficas e sistemas de monitoramento da qualidade da água;
- Pesquisa documental, com análise de relatórios, planos de gestão e dados técnicos fornecidos por instituições responsáveis pelo monitoramento ambiental na Bacia do Rio Incomáti;
- Pesquisa de campo, por meio de visita técnica à bacia, visando observar in loco as condições de monitoramento existentes e coletar informações relevantes com os actores locais.

1.2.Instrumentos de Colecta de Dados

A colecta de dados foi realizada com base nos seguintes instrumentos:

- ✓ Roteiro de observação directa, aplicado durante as visitas de campo para identificar pontos de colecta, equipamentos utilizados, acessibilidade e presença de infraestrutura;
- ✓ Registros fotográficos, utilizados para documentar visualmente o estado dos locais visitados e dos dispositivos de monitoramento existentes;
- ✓ Análise de documentos técnicos e dados secundários disponibilizados por instituições como a Administração Regional de Águas (ARA-Sul) e relatórios de projectos de gestão da bacia;
- ✓ Consulta a estudos de caso de outras bacias hidrográficas, para fins comparativos.

1.2.1 Tratamento e Análise de Dados

Os dados colctados foram organizados e sistematizados por categorias conforme os objectivos específicos do estudo. A análise seguiu uma abordagem qualitativa, complementada por descrição quantitativa simples dos custos, frequências de monitoramento e cobertura espacial.

A comparação entre o sistema actual da Bacia do Incomáti e outros sistemas adoptados em bacias semelhantes foi feita com base em critérios como frequência de colecta, tipos de parâmetros monitorados, cobertura geográfica, custos operacionais e uso de tecnologias automáticas.

Com base nessa análise, foram propostas alternativas viáveis para melhorar a eficiência do sistema de monitoramento de qualidade da água na bacia, com foco na redução de custos e na obtenção de dados em tempo real.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceitos

2.1.1 Caudal

O caudal de um rio refere-se à quantidade de água que passa por um determinado ponto num rio, num determinado período de tempo, geralmente expressa em metros cúbicos por segundo (m³/s). É uma medida fundamental em hidrologia e para a gestão dos recursos hídricos (Danelon & Rodrigues, 2013).

2.1.2 Níveis de água

Os níveis de água de um rio, ou seja, a altura do rio em relação a uma referência podem variar significativamente devido a diversos fatores, como a precipitação, a evaporação, o escoamento da água e as ações humanas. Esses factores influenciam a vazão e o nível da água, que podem ser medidos e monitorados para fins de gestão dos recursos hídricos e previsão de eventos como inundações (Omer, 2019).

2.1.3 Vegetação de um rio

A vegetação de um rio, conhecida como vegetação ripária ou mata ciliar, refere-se às plantas que crescem junto aos rios, córregos e outros corpos de água. Essa vegetação desempenha um papel crucial na proteção dos recursos hídricos, na manutenção da qualidade da água e na preservação da biodiversidade (Tiwari, 2015).

2.1.4 Qualidade da água

Qualidade da água refere-se às suas características físicas, químicas e biológicas, que determinam se ela é adequada para um determinado uso, como consumo humano ou irrigação. Para água potável, isso inclui a ausência de contaminantes como bactérias, vírus e substâncias tóxicas, bem como a presença de minerais em níveis seguros. Em termos mais específicos, a qualidade da água é avaliada através de diversos parâmetros (Tiwari, 2015).

2.1.5 Nascente de um rio

Nascente de um rio, também chamada de cabeceira ou fonte, é o ponto onde o rio nasce, ou seja, onde a água subterrânea (lençol freático) aflora e dá início ao curso d'água. É o início do rio, o local de onde as águas começam a fluir e se transformar em um rio (Bydekerke, 2007).

2.1.6 Divisores de um rio

Os divisores de um rio, também conhecidos como divisores de águas ou interflúvios, são as áreas mais elevadas do relevo que delimitam as bacias hidrográficas. Essas áreas topográficas, como morros, serras ou montanhas, marcam a mudança de direção do escoamento da água, separando as águas que fluem para diferentes rios ou bacias.

2.1.7 Afluentes

Afluentes são rios, córregos ou outros cursos de água menores que desaguam em um rio maior, contribuindo para o seu fluxo e volume. Em outras palavras, são os "rio afluentes" que se juntam ao rio principal dentro de uma bacia hidrográfica.

2.1.8 Efluentes

Efluentes de um rio referem-se aos resíduos líquidos (ou às vezes gases) que são despejados no rio a partir de atividades humanas, como industriais, domésticas ou agrícolas. Estes resíduos, se não tratados adequadamente, podem causar sérias consequências para a saúde humana e para o ecossistema aquático (Tiwari, 2015).

2.1.9 Ano hidrológico

Um ano hidrológico é um período de 12 meses, geralmente definido pelo início e fim do período chuvoso em uma determinada região, e não pelo calendário. Em Portugal, o ano hidrológico costuma começar no início do período de chuvas, normalmente no outono, e terminar no fim do período seco, no verão (Forslund, et al., 2009).

2.1.10 Precipitação

É o conjunto de partículas de água quer no estado líquido, no estado sólido ou nos dois estados que caem da atmosfera e que atingem a superfície do globo. Essas partículas podem ser neve ou granizo (Forslund, et al., 2009).

2.1.11 Estações hidrométricas

É um ponto de monitoramento de água de rio onde são instalados medidores de nível com objectivo de registar todos os eventos e estabelecer um banco de dados.

A Bacia do Incomáti possui 26 estações hidrométricas, das quais nessas estações 6 delas foram instalado o sistema de telemetria o qual funcionou um ano (2011) o restante do tempo encontra si inoperacional as mesmas estações da rede telemétrica são usadas como estações chaves e três (3) das estações chaves enquadram si na rede de medições de caudais.



Figure 1. Estação hidrométrica.

2.1.12 Bacia Hidrográfica

É uma região definida topograficamente, drenada por um curso de água ou um sistema interligado de cursos de água, tal que a única entrada de água na região seja a precipitação e todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída (secção de referência da bacia, (Vaz, 2000)).

Bacia hidrográfica é uma região sobre a terra, na qual o escoamento superficial em qualquer ponto converge para um único ponto fixo, o exutório.

A bacia hidrográfica pode ser então considerada um ente sistémico. É onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (Forsslund, et al., 2009).

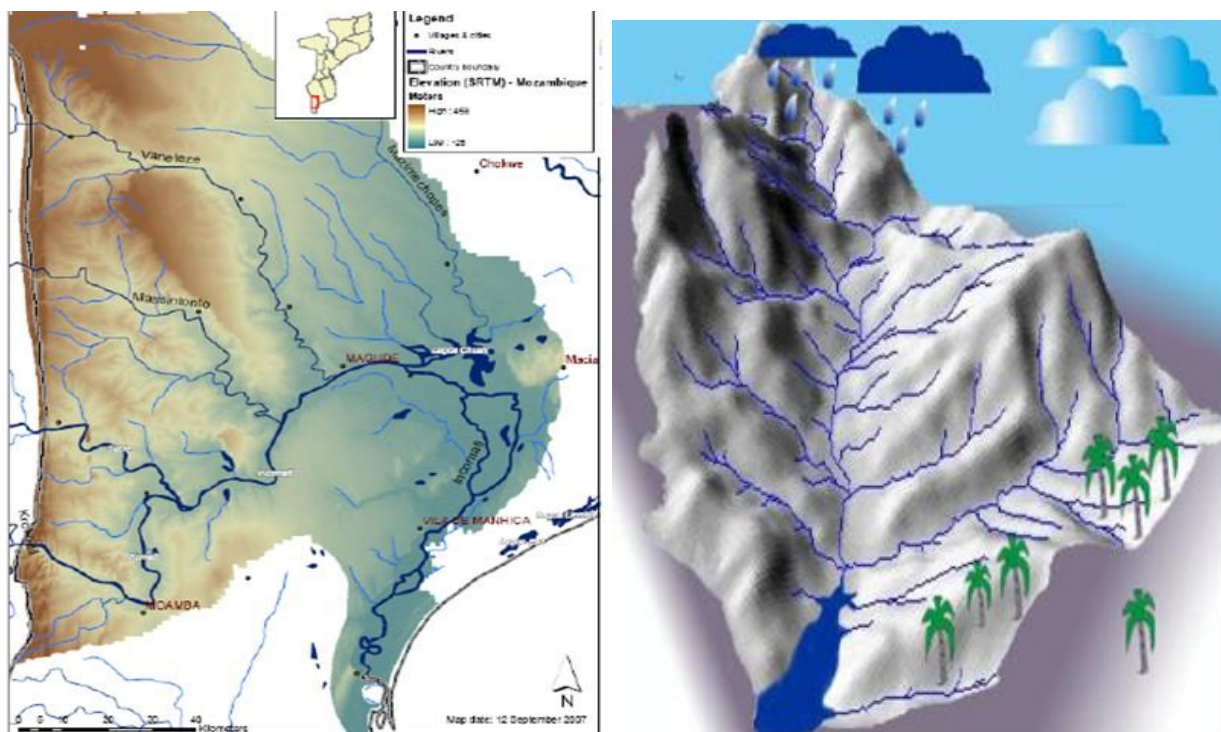


Figure 2 *Visão geral da Bacia do Rio Inkomati (parte de Moçambique). A elevação é baseada em dados SRTM, Bydekerke (2007).*

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é uma função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo de cobertura vegetal existente (Turton, et al., 2004). Assim, as

características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração e quantidades de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, os escoamentos superficiais e sub-superficiais.

Além disso, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afectado por acções antropogénicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico. (Tonello, K. C, 2005)

Por constituírem ecossistemas com o predomínio de uma única saída, as bacias hidrográficas possibilitam a realização de uma serie de experimentos. As bacias hidrográficas também constituem ecossistemas adequados para avaliação dos impactos causados pela actividades antropogénica que podem acarretar riscos ao equilíbrio e à manutenção da quantidade e a qualidade da água, uma vez que estas variáveis são relacionadas com o uso do solo. (Souza, E. R. d. & Fernandes, M. R., 2000).

Bacia hidrográfica é unidade mais conveniente para a gestão dos recursos hídricos, é onde se verificam as relações mais estreitas entre: recursos hídricos numa secção de um curso de água e recursos hídricos noutra secção a jusante da primeira; recursos de água superficiais e de águas subterrâneas; consumos de água e rejeição de efluentes a montante e disponibilidades de água a jusante, em termos de quantidade e qualidade, modificações na ocupação do solo ou obras hidráulicas no rio e nas margens e consequentes modificações morfológicas ou das características do escoamento a montante e a jusante (Machute, 2019).

Difícil de materializar se os limites da bacia hidrográfica não coincidem com os limites administrativos do país ou quando bacias são partilhadas por dois ou mais países. Institucionalização da gestão de recursos hídricos com base em regiões constituídas por uma bacia ou um conjunto de bacias hidrográficas contíguas; cinco ARAs em Moçambique (Lei de Águas, 1991).

2.1.13 Precipitação numa bacia hidrológica

O comportamento hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas, topográficas, e por seu clima. Os factores climáticos mais importantes são a precipitação, sua distribuição e modos de ocorrência, e a evaporação, responsável directa pela redução do escoamento superficial, por retirar das superfícies líquidas grandes quantidades de água, incorporando-a na atmosfera; esse fato é tão mais acentuado quanto mais próximo dos trópicos a região em estudo estiver (Mattos, Introduction to Hydrology, Second edition, Harper and Row, (Villela S. M. e Mattos A., 1977).

O fenômeno da precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e constitui, portanto, factor importante para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão básica dos rios e outros (Machute, 2019). Quando se faz um estudo de planeamento de longo prazo do uso de uma ou mais bacias hidrográficas, a precipitação é um dado básico, pois não sofre influências directas de alterações antrópicas provocadas no meio.

As alterações do uso do solo, por exemplo, sobre as vazões escoadas, poderão ser avaliadas por modelos matemáticos que transformam as chuvas em vazões, e que consideram as variações de infiltração em função da área impermeável da bacia. (COULIBALY; P., EVORA; N. D. , 2007) comentam que os totais diários de precipitação são provavelmente os dados mais importantes para se modelar uma previsão, determinar a qualidade da água, bem como a simulação do impacto das alterações climáticas sobre sistemas de recursos hídricos, meteorológica e agrícola.

A falta de informação quanto à distribuição espacial da precipitação é um sério obstáculo ao desenvolvimento de técnicas para estimá-la e/ou interpolá-la, (Harper & Row, 1977) Sendo um causador de grande incerteza quanto aos dados estimados.

2.1.14 Vegetação na bacia hidrológica

A preservação das florestas é fundamental para um adequado e equilibrado funcionamento dos ecossistemas e para a manutenção da diversidade biológica. As florestas também exercem funções significativas no controle da erosão, da

desertificação, da qualidade da água e do sequestro do carbono atmosférico, além de constituírem espaço para desenvolvimento de actividades sociais, ambientais e económicas (Djurabekova et al. , 2007).

Por outro lado, ainda pairam muitas dúvidas quanto ao papel das florestas na produção de água para os rios em quantidade e qualidade. Tradicionalmente, a floresta é vista como eficaz para estabilizar e manter as vazões nos rios, sendo este um dos motivos pelo quais a vegetação é prática repetidamente recomendada na recuperação de bacias hidrográficas (Djurabekova et al. , 2007).

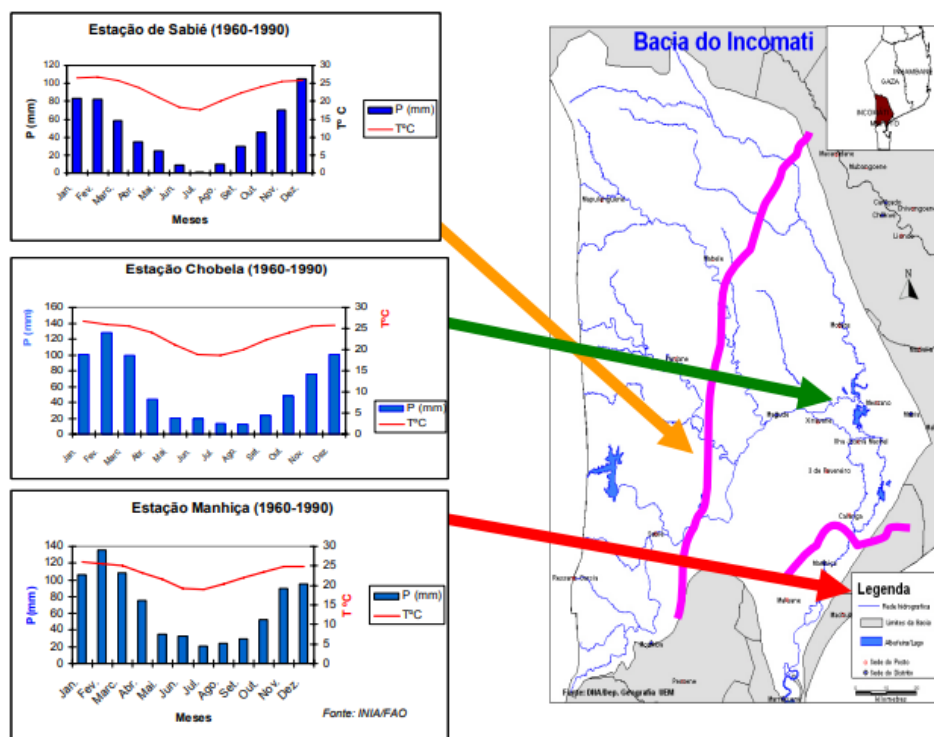


Figure 3 Regiões agroclimáticas na parte moçambicana da bacia do rio Inkomati, segundo Tauacale et al., (2007).

Contudo, algumas das funções hidrológicas normalmente atribuídas às florestas, como o de aumentar a disponibilidade de água nos rios, são questionáveis e desprovidas do devido embasamento técnico-científico. Nesta linha, há na literatura especializada um grande acervo de dados, resultantes de monitoramento sistemático de bacias hidrográficas por todo o mundo, utilizando-se três metodologias, com destaque para a

das “bacias pareadas”. Estes dados mostram que as vazões anuais e o fluxo de base decrescem com o reflorestamento e crescem com o desmatamento (Jambane, 2018).

Este comportamento advém do facto da vegetação de maior porte possuir maior capacidade de evapotranspiração que as de menor porte, como as gramíneas, arbustos e grande parte das culturas agrícolas.

Assim, apesar das florestas favorecerem a infiltração, parte considerável da água infiltrada retornará a atmosfera via transpiração, aproveitando-se de seu sistema radicular mais desenvolvido (Jambane, 2018). Os fluxos de chuva e os picos de cheia tendem a aumentar com o desmatamento, sobretudo quando este é feito sem critérios técnicos, resultando na compactação do solo. As enchentes maiores exibem boa correlação com os eventos chuvosos mais intensos, com longo intervalo de recorrência.

As florestas tendem a melhorar a qualidade da água, ao reduzir o volume de sedimentos disponíveis por erosão e movimentos de massa. Também atuam favoravelmente para controlar a disponibilidade de alguns elementos químicos, como o nitrato Tauacale et al., (2007). Os estudos com bacias pareadas constituem uma excelente ferramenta de análise dos impactos do uso e ocupação no regime hidrológico de bacias, apesar dos questionamentos quanto à validade da extrapolação dos dados para bacias maiores ou sob distintas condições ambientais, especialmente em áreas tropicais (Jambane, 2018).

Há grandes controvérsias quanto ao impacto exercido pelas florestas no regime hidrológico dos rios. Certos autores argumentam que as florestas seriam eficazes para controlar cheia, manter vazões nos períodos de estiagem, fornecer água de boa qualidade e, até mesmo, para aumentar a precipitação local, (Calder, 1998).

Contudo, nas últimas décadas, dados sistemáticos de monitoramento têm evidenciado que o desmatamento pode aumentar as vazões nos períodos de estiagem e até mesmo as vazões médias anuais (Bosch e Hewlett, McCulloch e Robinson , 1982, 1993). Tais controvérsias se devem à complexidade do tema, pois as variáveis que

controlam comportamento hidrológico numa bacia são muitas e frequentemente interdependentes.

Outro factor relevante é que os dados adquiridos em bacias com características contrastantes ou com metodologias distintas são muitas vezes indevidamente comparados, levando-se a conclusões errôneas (Vilaça, et al., 2009). Outras vezes, ignora-se que eventuais mudanças históricas no regime hidrológico dos rios não decorrem necessariamente de alterações da cobertura vegetal e sim de variações climáticas naturais ou até mesmo de mudanças morfológicas da bacia, de origem neotectônica (Vilaça, et al., 2009).

2.2 Sistema de monitoramento de qualidade de água em bacias hidrográficas

De acordo com o Guerra (2006) um sistema de monitoramento de qualidade de água, e um conjunto de práticas e ferramentas que permitem avaliar e acompanhar continuamente a qualidade da água seja em fontes naturais (rios, lagos) ou em sistemas de abastecimento. O objectivo principal é identificar possíveis problemas e garantir que a água atenda aos padrões de qualidade exigidos para diferentes usos, como consumo humano, atividades industriais e proteção ambiental (Vilaça, et al., 2009).

Uma bacia hidrográfica topograficamente desenhada compreende os rios drenantes águas subterrâneas e estabelece pontos de monitoramento de quantidade de precipitação. Sendo assim, um sistema de monitoramento de qualidade de água apresenta rede de monitoramento de níveis de água, rede de monitoramento de níveis de água subterrânea, rede de monitoramento de quantidade de chuva, rede de monitoramento de qualidade de água superficial e subterrânea (Vilaça, et al., 2009).

Nesta rede apresenta se um plano de leitura dos níveis, recolha de dados, manutenção de rede e estabelece a periodicidade de rotina para a busca de informações. Para que as atividades desenvolvidas numa bacia hidrográfica tenham qualidade e necessário que esteja equipada de técnicos especializada, munidos de equipamentos adequados, meios de comunicação e recursos humanos .

2.3 O monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas

Mahmuduzzaman, et al. (2014), argumenta que o monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas envolve a colecta sistemática e análise de dados sobre a qualidade e quantidade da água, tanto superficial quanto subterrânea, com o objectivo de entender seu comportamento, garantir o uso sustentável dos recursos hídricos e proteger a saúde humana e ambiental. requer atenção especial quando do seu planeamento.

Essa actividade envolve uma série de esforços no sentido de alocar recursos operacionais e financeiros, o que representa uma das dificuldades na implementação de um programa contínuo dessa natureza. Alguns estudos, portanto, são desenvolvidos com vistas ao estabelecimento de redes mínimas representativas de amostragem, com a finalidade de viabilizar sua implementação, inclusive em bacias de menor porte (Vilaça, et al., 2009).

Segundo (Hakamata, T. Hirata T. e Muraoka, K. 1992) o monitoramento da qualidade da água deve ser entendido como um instrumento de proteção do meio ambiente, cuja prática permite a adoção de princípios modernos de controle do uso do solo, assegurando seu desenvolvimento sustentável.

A colecta de dados de qualidade da água em pontos de monitoramento em uma bacia permite acompanhar a evolução da qualidade e quantificar as cargas dos poluentes transportados pelos rios. Entretanto, a seleção dos locais em que os pontos de monitoramento serão estabelecidos é uma tarefa bastante complexa em função dos objectivos da rede, do tipo de carga poluente e da forma com que os poluentes aportam nos cursos de água. Usualmente a locação dos pontos de monitoramento exige conhecimento prévio da bacia (Danelon & Rodrigues, 2013).

Em função do alto custo de operação da rede de monitoramento, é interessante que se estabeleça a menor rede que seja capaz de fornecer a informação desejada, sem perda significativa da qualidade dos dados (Tonello, 2005). Assim, o uso de imagens de satélites pode fornecer informações importantes na definição das redes mínimas,

pois permite a identificação da ocupação e uso do solo e, indirectamente, tendências quanto à presença de certos contaminantes nos cursos da água (Omer, 2019).

A identificação da correlação entre qualidade da água e uso do solo em uma bacia hidrográfica pode permitir o estabelecimento preliminar da locação de pontos de monitoramento em outras bacias na mesma região de forma que os objetivos da rede possam ser alcançados e também que se possa distribuir a rede de maneira homogênea quanto à evolução da qualidade da água ao longo dos rios. (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2019).

A definição dos locais a serem escolhidos para o monitoramento da qualidade da água pode ainda ser feito em função de características hidráulicas, como a vazão, ou de características topológicas da rede de drenagem. (Sharp, W. E., 1971).

2.3.1 Etapas de monitoramento de qualidade de água

O monitoramento de qualidade de água compreende três etapas principais: a seleção dos parâmetros indicadores de qualidade da água, a definição dos locais de amostragem e a determinação da frequência de coleta de amostras. A primeira etapa pode ser considerada como de conhecimento já consolidado (Tiwari, 2015).

Na prática, as duas últimas etapas ainda têm sido realizadas a partir do conhecimento da bacia (se existente) e por tentativas, carecendo de aprofundamento em sua sistematização. Destacando-se a etapa da localização dos pontos de amostragem como objeto de estudo, verifica-se a existência de algumas metodologias em busca da rede “ótima” de monitoramento. No sentido de verificar a aplicabilidade e consistência de metodologias sistemáticas para definição dos locais de amostragem, sem conhecimento prévio das características da bacia, Sharp (1971).

A rede de monitoramento é definida como um sistema planeado de colecta de dados que, depois de manipulados e interpretados, são capazes de fornecer informações relativas ao estado e comportamento de determinada bacia em certas situações (Tiwari, 2015). O projecto da rede de monitoramento depende fundamentalmente do objectivo proposto, a qualidade da água em uma bacia hidrográfica se relaciona

directamente às actividades agrícolas, pecuárias e urbano-industriais ali desenvolvidas (Felisa, et al., 2013).

Nesses casos, inclui-se o atendimento à legislação ambiental, como a manutenção das áreas de preservação permanente, das tecnologias de produção agrícolas e industriais adoptadas (conservação de solo e de pastagens na agricultura e pecuária; uso de insumos; descarte de resíduos e afluentes, entre outros), bem como das políticas públicas locais (educação, disposição de lixo e esgoto, entre outras) (Tiwari, 2015).

Esquema geral de uma bacia hidrográfica: curso principal e seus tributários. Práticas ambientais inadequadas realizadas em um determinado ponto de uma bacia hidrográfica podem resultar em impactos ambientais negativos de grande extensão, podendo afectar toda a bacia (Souza & Fernandes, 2000).

Por ocuparem as porções mais baixas dos terrenos, os cursos de água são muito vulneráveis a essas práticas, levando a processos de assoreamento de seus leitos e à contaminação de suas águas (fertilizantes, agro-tóxicos, efluentes e lixo), afectando a qualidade da água para o consumo e para a manutenção de organismos aquáticos (fauna e flora). Esses impactos podem ser agravados quando os ambientes aquáticos estão desprotegidos de vegetação ciliar, que funcionam como uma barreira natural ou filtro (CETESB, 2007).

O monitoramento da qualidade da água é feito utilizando-se diferentes técnicas e abordagens, incluindo o uso de sondas multi parâmetros no campo ou pela colecta de amostras de água para análises em laboratório para avaliação de parâmetros físico-químicos (Felisa, et al., 2013).

3.0 CASO DE ESTUDO

3.1 Descrição da área em estudo: BACIA DO RIO INCOMÁTI

A bacia hidrográfica do Incomáti é internacional, o seu rio principal é Incomáti, que dá o nome à bacia, nasce na República da África do Sul através da união de dois braços, um nascendo nas vizinhanças de Breyten a 1830 m de altitude e outro perto de Belfast, à 1800 m de altitude.

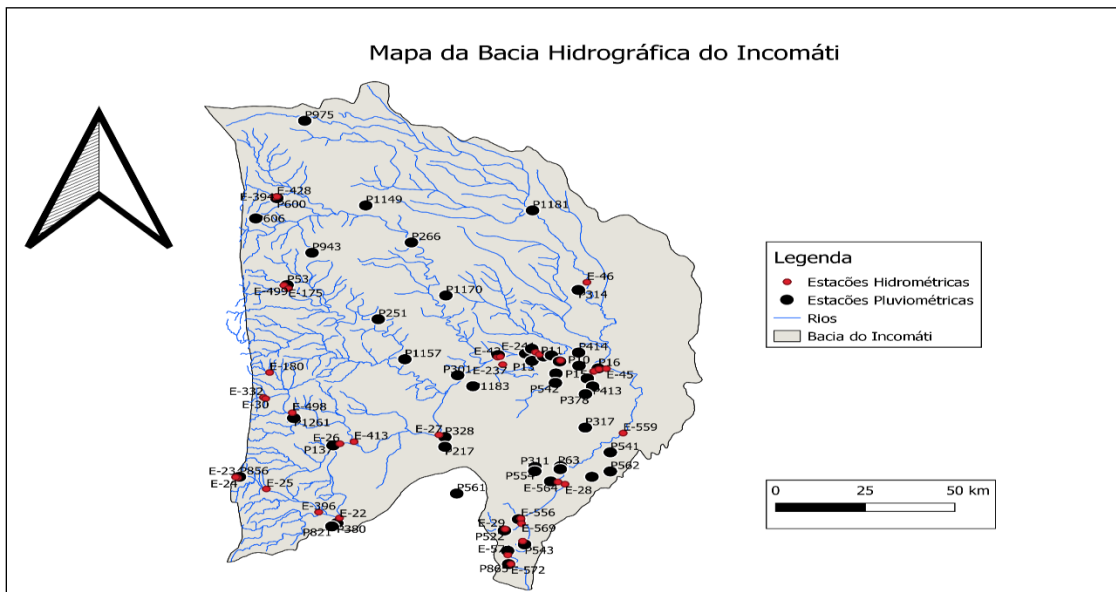


Figure 4. Bacia hidrográfica do Incomáti.

Os limites da bacia são a bacia de Limpopo à Norte e a do Rio Umbeluzi à Sul, à Este faz limite com o Oceano Índico. O limite à Oeste é a fronteira entre Moçambique, África do Sul e Swazilândia (Vilanculos et al, 2007). A área total da bacia é de 46200 Km², dos quais somente 32% situam-se em território moçambicano, 6% na Swazilândia e 62% na República da África do Sul, (Krandendonk, 1991). Para as características meteorológicas optou-se por três zonas e três cenários. As zonas selecionadas são o alto, o médio e baixo Incomáti, sendo (1) o alto Incomáti, a área entre a fronteira com a África do Sul até Magude; (2) o médio Incomáti, a área compreendida entre as secções de Magude e Palmeira; (3) o baixo Incomáti, a área a jusante de Palmeira. (DNA, 1991).

3.1.1 Caracterização geral da bacia

A bacia do rio Incomáti é uma bacia de rio internacional localizadas na região da África Austral no canto sudeste de África compartilhada por três estados (nações): República da África do Sul, Reino da Suazilândia (Essuatíni desde Abril de 2018) e a República de Moçambique como indicado no mapa da figura 4. Ela abrange uma área total da bacia de aproximadamente 50.000 km², dos quais somente 32% situa-se em território Moçambicano. Na Suazilândia a área é de 6% e na República da África do Sul é de 62%. Os principais afluentes são Komati, Crocodilo e Sábie (ARA-SUL, 2008).

O rio nasce na África do Sul no planalto do Transval, a cota de cerca de 1030m, em Breyten, entre Carolina e Ermalo, seguindo uma orientação leste, atravessa a Suazilândia encontrado pouco depois a cordilheira dos Libombos que obriga a orientar-se no sentido norte até encontrar finalmente a garganta (Koomartport) em África do Sul, na qual faz fronteira com Ressano Garcia em Moçambique, recebe o seu afluente Crocodilo, e penetra em Moçambique (Machute, 2019). Em Moçambique, o rio desagua por um estuário no Oceano Índico no distrito de Marracuene, depois de percorrer 280km no território Moçambicano. Portanto, o Komati entra em Moçambique, a jusante da afluência dos rios Komati e Crocodilo em Ressano Garcia, passando a chamar-se Incomáti. (ARA-SUL, 2008)

Segundo (Souza & Fernandes, 2000), a subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem como a bacia do rio Incomáti em seus componentes, sub-bacias, permite a pontuar os problemas difusos, tornando mais fácil a identificação de focos de degradação de recursos naturais, da natureza dos processos de degradação ambiental instalados e o grau de comprometimento da produção sustentada existente. Portanto, a figura 5 indica a bacia e sub-bacias do rio Incomáti.

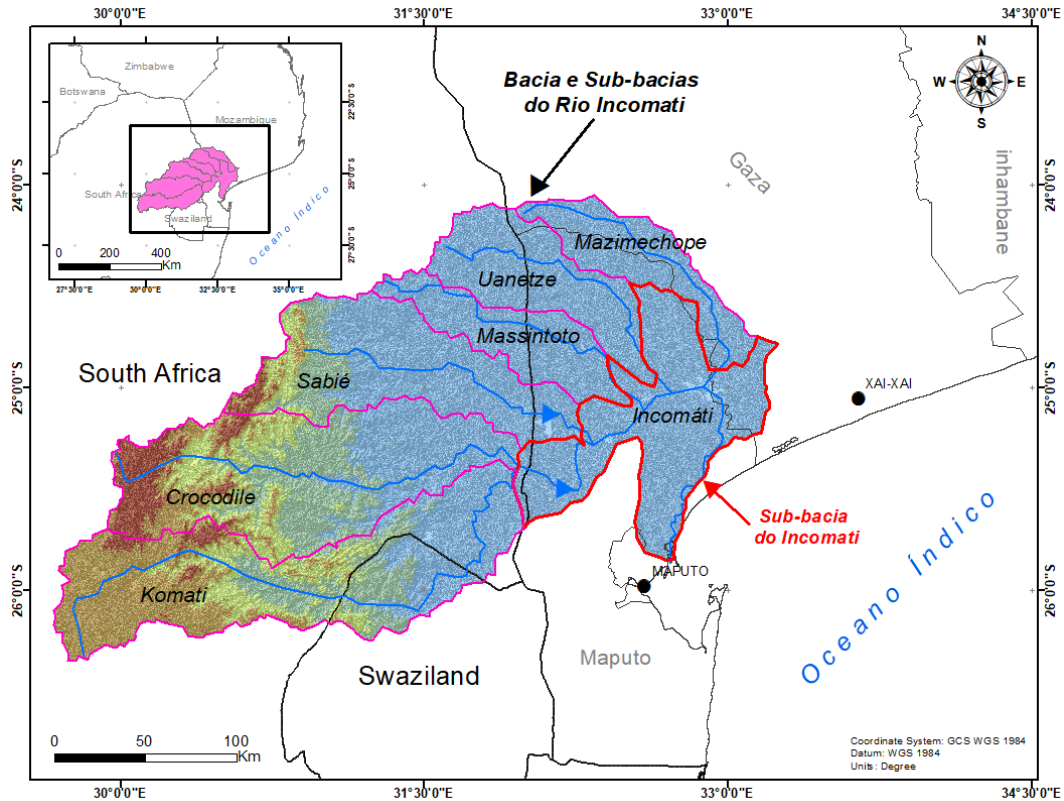


Figure 5 Mapa da localização geográfica da bacia hidrográfica de Incomati.

A bacia do rio Incomati é de grande importância estratégica para a África do Sul, pois suporta uma grande quantidade de actividades económicas do país. Na Suazilândia, a água é desviada para o rio Umbeluzi para irrigar machambas de cana de açúcar. Um aspecto incomum desta bacia é que a África do Sul é um ribeirão a montante e a jusante em relação à Suazilândia, então as barragens construídas no país aumentam a produção para subsequente lançamento a jusante e são, portanto, uma vantagem para a África do Sul (Turton, et al., 2004).

Portanto, a bacia hidrográfica do rio Incomati em Moçambique situa-se entre os paralelos 24°30' S e 26°30' S, bem como, os meridianos de 29°30' E e 33°30' E. Os limites dessa bacia são a bacia hidrográfica do rio Limpopo a Norte e a do rio Umbeluzi a Sul, a Este faz limite com o Oceano Índico e a Oeste é partilhada pela África do Sul e Suazilândia onde faz o seu limite. Ela situa-se numa área classificada como semiárida e a contribuição de Moçambique para o escoamento do rio é aproximadamente de 4%.

Isto significa que Moçambique é altamente dependente da água exógena que atravessa a fronteira com a África do Sul. O rio Incomáti também é de grande importância para a Suazilândia (Turton, et al., 2004) (ARA-SUL, 2008).

Para as características meteorológicas da bacia do rio Incomáti no território nacional de Moçambique optou-se por três zonas e três cenários. As zonas selecionadas são o alto, o médio e baixo Incomáti, sendo o alto Incomáti é a área entre a fronteira com a África do Sul até Magude; o médio Incomáti, a área compreendida entre as sessões de Magude e Palmeira; e o baixo Incomáti, a área a jusante de Palmeira até a foz do rio. (ARA-SUL, 2008).

Entretanto, o rio Incomáti é um recurso hídrico transfronteiriço que partilham em uma teia complexa alta e fortemente ligada de interdependências ambientais, económicas, política e segurança. Isto é por causa de qualquer manipulação do rio Incomáti e seus cursos de água por qualquer estado (país) ribeirinho inevitavelmente tem impactos económicos, ambientais e de segurança em outros países ribeirinhos. Tais interdependências induzidas hidrologicamente contam crescendo com o tempo assim que a procura e competição pelos rios partilhados também cresce, forçando os estados (nações) ribeirinhos a interagir um com outro indefinidamente. Isto torna os estados vulneráveis às inevitáveis recessões e progressos das relações internacionais e política doméstica num sistema internacional interdependente. (Machute, 2019).

3.1.2 Hidrografia da Bacia do Incomáti

Os principais afluentes são Komati, Crocodilo e Sábie (DNA, 1991). O Komati entra em Moçambique à jusante da confluência dos rios Komati e Crocodilo em Ressano Garcia, passando a chamar-se Incomáti. O comprimento do rio em Moçambique é de 280 km, sendo cerca de 40% do comprimento total (Kranendonk, 1991).

Outros afluentes menores são o massitonto, o Uanetze, o Mapochane e os rios Rinzini, Tesatsem, Mapapene, Mazimechopes, todos em território Moçambicano. Perto da foz, próximo de Marracuene, conflui pela margem direita o rio Bobole. O mais importante dos afluentes em território Moçambicano é o rio Sábie com uma bacia drenante de

cerca de 7000 Km², dos quais apenas cerca de 10% em território nacional (DNA, 1991).

Além destes afluentes, a bacia tem na sua parte Moçambicana muitas lagoas e pântanos, destacando-se a Lagoa Chuali, no vale do medio Incomáti, para onde vão as águas dos rios Mazimechopes, Mecarre, Tesatsem e Munhuana (DNA, 1991). A contribuição de Moçambique para o escoamento do rio Incomáti é aproximadamente de 4%. Assim, o país está fortemente dependente dos recursos hídricos dos países a montante.

O escoamento médio anual do rio Incomáti calculado para um período de 30 anos é igual a 2.015 Mm³, e o rio Sábiè é de 630 Mm³. O escoamento mínimo ocorre geralmente em Setembro/Outubro, mas também podem ocorrer escoamentos baixos entre Maio e Novembro (ARA-Sul, 2000).

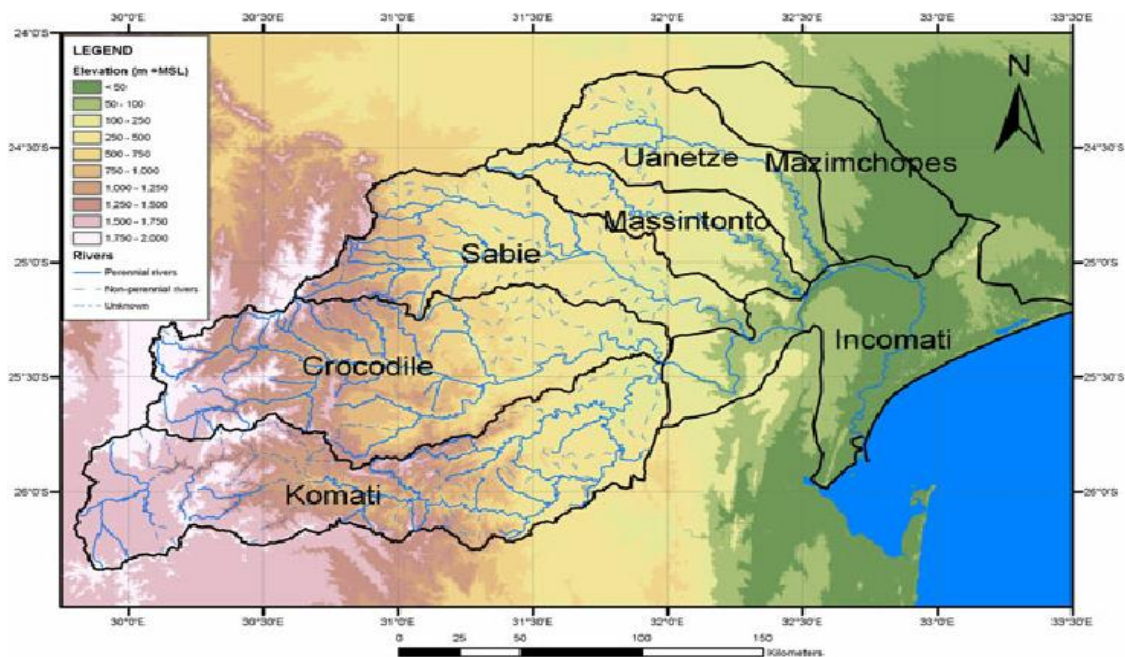


Figure 6 Hidrografia da Bacia do Incomáti.

3.1.3 Clima da Bacia do Rio Incomáti em Moçambique

O clima da região da bacia do rio Incomáti em Moçambique varia de tropical húmido de savana, na Costa, passando para seco de estepe, nas regiões mais a oeste e centrais. Portanto, a zona de Magude, e na área ocidental do país passa a ser do tipo seco de

estepe com estação seca no inverno. (ARA-SUL, 2008) A temperatura média anual varia entre 22,4° C a 23,9° C e a precipitação média anual varia entre 1073 mm em Calanga (P307), na Costa, a 509 mm em Mapulanguene (P 600), perto da fronteira com África do Sul. A precipitação média anual, na área moçambicana da bacia, é de cerca de 650 mm (ARA-SUL, 2008). As temperaturas máximas e mínimas das médias mensais registam-se nos meses mais quentes (Dezembro e Janeiro) e frios (Junho e Julho) do ano variando entre 18° C e 24° C (Jambane, 2018). As cheias na bacia do rio Incomáti, são originadas essencialmente pelo factor distribuição temporal e espacial da precipitação, concentrada num único período, e com maior intensidade. A bacia está situada entre as isoietas de 700 mm e 1800 mm. A distribuição anual da precipitação é caracterizada pelo facto de praticamente toda a chuva se concentrar durante os meses de verão, Outubro à Abril, culminado muitas vezes em cheias. Durante os meses de Junho à Agosto geralmente regista-se fraca precipitação. (Jambane, 2018) De um modo geral, a pluviosidade encontra-se repartida de forma irregular ao longo do ano, com 85% da precipitação a ocorrer em média entre os meses de Outubro e Março sendo fraca nos períodos restantes.

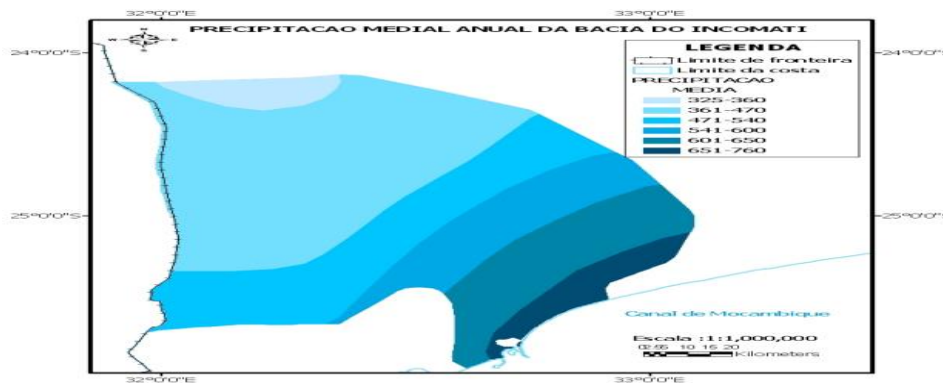


Figure 7. Distribuição da precipitação na parte moçambicana da Bacia do Rio Incomati, segundo Tauacale et al., (2007).

3.1.4 Geologia e geomorfologia

Segundo a ARA-SUL (2008), na bacia do rio Incomáti encontram-se formações pertencendo a vários sistemas, nomeadamente o Transvaal, complexo arcaico, Karroo, na Suazilândia, sendo a maior parte da bacia em território Sul-Africano constituída por granitos e gneiss. Em Moçambique encontram-se junto à fronteira e em todo o seu comprimento uma faixa de riólitos e basaltos. Entre o Sábie e o Uanetzi aparecem

formações de cretáceo. Entretanto, na bacia existem ocorrências de vários minerais, mas apenas o carvão, o amianto e o ouro são extraídos.

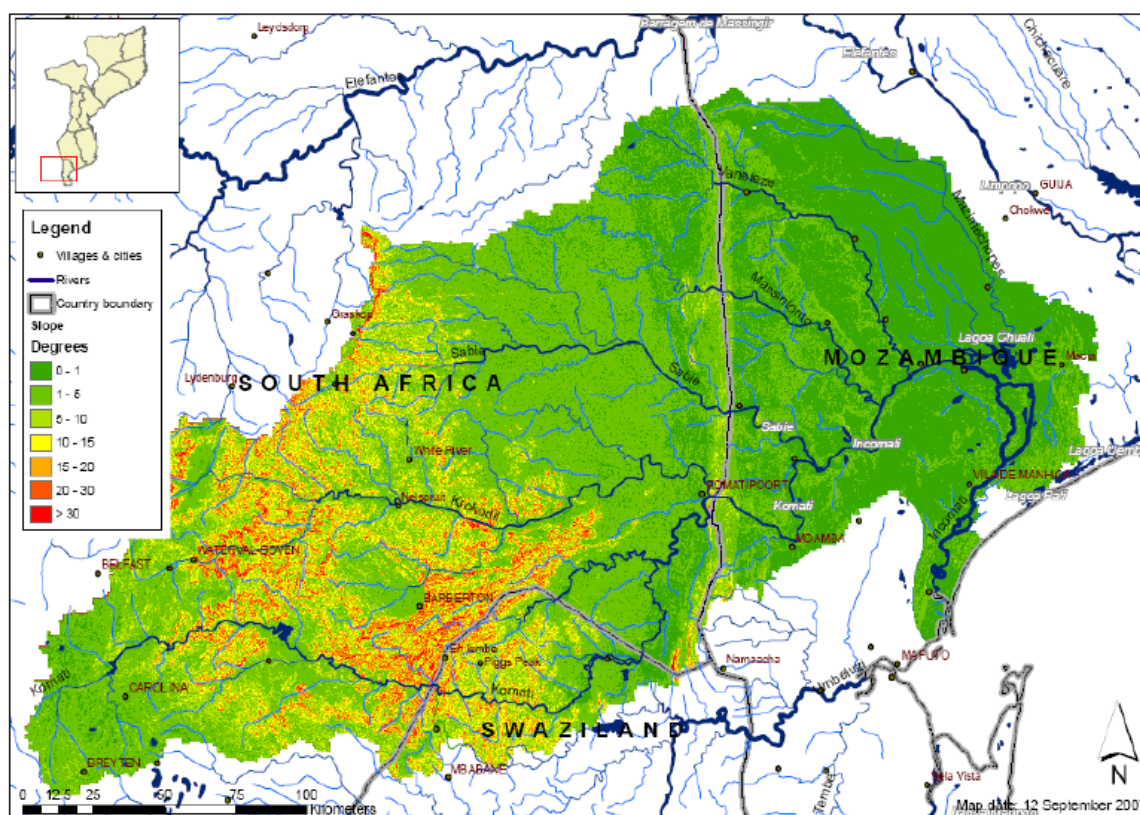


Figure 8 Visão geral da bacia do rio Inkomati; declive baseado em dados SRTM, Bydekerke (2007).

3.1.5 Topografia

A parte moçambicana do rio Incomati não possui um relevo assinalável, as altitudes maiores não ultrapassam os 2800m e localizam-se na zona fronteiriça com a África do Sul e as altitudes mínimas variam de 0 a 50m localizadas na região Sul (imediações de Magude) ao longo da faixa costeira quase a foz. Esta característica do relevo do baixo Incomati faz com que a região seja vulnerável à intrusão salina e cheias, uma vez que uma vasta área se encontra abaixo do nível médio do mar (Jambane, 2018).

3.1.6 Solos

A disponibilidade de informações sobre os solos de uma bacia hidrográfica é muito importante para o planeamento e identificação de sensibilidade à erosão, contaminação

das águas subterrâneas e avaliação do potencial de retenção de água e velocidade de escoamento desta. Porém, o nível de detalhamento dos estudos sobre a relação entre os diferentes tipos de solo e o comportamento hídrico, qualidade da água e áreas de risco depende da escala e do nível de detalhe do levantamento que se deseja realizar. Os solos predominantes na bacia do rio Incomáti em Moçambique derivam dos sedimentos do Karro, Terciário e Quaternário. Na região oriental de vale, próximo da foz do rio, os solos são arenosos e tem maior capacidade de retenção da água que varia da média a muito boa, atraindo mais as populações que praticam a agricultura e pastagem de gado. Contrariamente à nascente, os solos apresentam-se argilosos, alterando-se gradualmente para arenoargilosos na faixa central. Estes solos na sua maioria são pouco permeáveis dificultando a infiltração da água dando uma maior vulnerabilidade de ocorrência de cheias pela fraca retenção. Estas características acentuam a vulnerabilidade da região do vale de Incomáti, as cheias e a intrusão salina, associadas ao facto de que uma grande parte da planície se encontra abaixo do nível médio das águas do mar (Jambane, 2018).

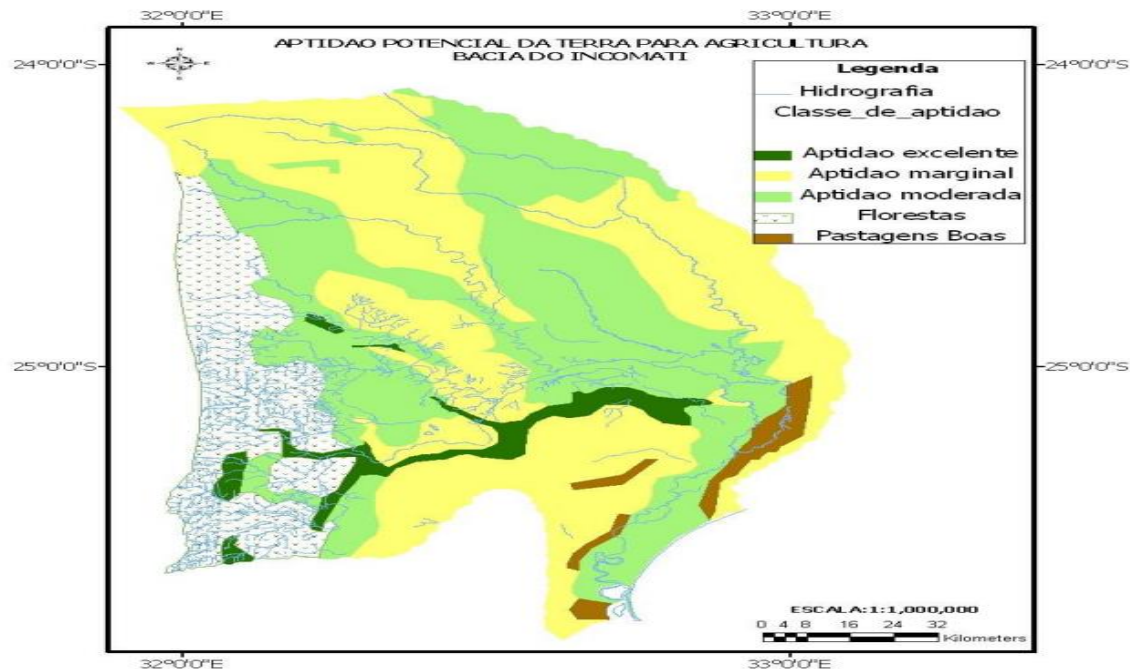


Figure 9 Potencial para agricultura na parte moçambicana da bacia do rio Inkomati, segundo Tauacale et al., (2007).

3.1.7 População na bacia hidrográfica do rio Incomáti em Moçambique

A área que utiliza recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Incomáti em Moçambique comporta uma população de aproximadamente 180.504 habitantes. A população encontra-se concentrada ao longo das margens do Rio Incomáti e uma parte significativa da população concentram-se ao redor da albufeira de Corumana. O maior aglomerado verifica-se na região Centro, Este e Sul do baixo Incomáti. Dentre vários factores, a aproximação aos recursos hídricos e as características do solo são os que melhor explicam a distribuição da população na bacia do Rio Incomáti (Jambane, 2018).

3.1.8 Uso e cobertura do solo na bacia no território nacional

As características de geração de escoamento em uma bacia hidrográfica são fortemente influenciadas pelo uso e ocupação do solo, uma vez que grande parte dos processos de transformação de escoamento depende do tipo de cobertura existente. As informações do uso e cobertura do solo são elementos básicos para o planeamento de uma bacia hidrográfica, pois retratam as actividades económicas desenvolvidas e que podem significar pressões e impactos sobre os elementos naturais.

Considerando que a bacia hidrográfica é a unidade de planeamento, é fundamental e essencial pensar sobre sua gestão a partir de suas características naturais. Portanto, deve-se considerar que o comportamento de uma bacia hidrográfica ao longo do tempo ocorre por dois factores, sendo eles, de ordem natural, responsáveis pela predisposição do meio à degradação ambiental, assim como, factores antropogénicos, onde as actividades humanas interferem de forma directa ou indirecta no funcionamento da bacia hidrográfica. (Vilaça, et al., 2009).

O local de estudo predomina a vegetação do tipo savana ocupando mais da metade da área em estudo, quando se aproxima ao litoral predomina a floresta sempre verde.

As condições climáticas disponíveis na região fazem com que o desenvolvimento de vegetação seja reduzido. Ao longo da bacia hidrográfica do rio Incomáti, em território nacional de Moçambique, é praticada a agricultura sequeiro e pastagem nas áreas de savana. (Jambane, 2018) Solos da parte a jusante da bacia são principalmente

aptos para arroz, particularmente perto da foz e noutras zonas como os terraços mais elevados de origem marinha.

Existem algumas colinas arenosas, boas para o cultivo de vegetais e bananas. Na parte central, as deposições fluviais são boas para trigo, milho, cana de açúcar e vegetais. Mais a montante, existem terraços elevados com solos argiloarenosos, que são indicados para citrinos e mandiocas entre outras culturas. (ARA-SUL, 2008).

3.1.9 Estruturas hidráulicas existentes na bacia do rio Incomáti

Na bacia hidrográfica do rio Incomáti existem quatro estruturas hidráulicas no território moçambicano, nomeadamente barragem de Corumana, açude de Chauali, represa de Macaene e represa de Mapulanguene. O açude de Chauali é uma barragem de terra cujo objectivo é aumentar a capacidade natural de armazenamento do lago Chuali até 200 Mm³; localiza-se no rio Massimachopes, no distrito de Manhiça. As represas de Macaene no rio Massitonto e de Mapulanguene no rio Uanetse, ambas estão localizados no distrito de Magude, cujo objectivo é armazenamento de água para fins agropecuários nas zonas da sua localização. (ARA-SUL, 2008).

Das quatro estruturas hidráulicas mencionadas, a barragem de Corumana construída sob o rio Sábie no distrito da Moamba, é de grande importância. Ela foi construída na década de oitenta com o objectivo essencial a regularização dos caudais do rio Sábie, a garantir água para as regiões médias e baixas Incomáti, quer para a utilização na rega dos terrenos a jusante da barragem, no vale do Sábie, quer para o reforço dos caudais de estiagem para rega dos terrenos a jusante e ainda para redução das pontas de cheia no Sábie (Jambane, 2018).

No entanto, a qualidade da água nessas estruturas hidráulicas requer melhor monitoramento, porquanto, há períodos que se apresentam alto teor de salinidade do que o normal. As represas encontram-se assoreadas devido à concepção de deficiência das recargas de fundo, recentemente não operacionais. (ARA-SUL, 2008).

3.2. Actividades desenvolvidas na bacia hidrográfica do Incomáti

3.2.1 Exploração de Inertes

Na Bacia do Rio Incomáti, particularmente na região do alto Incomáti (entre Ressano Garcia e Magude), verifica-se a exploração de inertes em grande escala diretamente no leito do rio. Essa actividade é realizada com o uso de eletroescavadoras e dragas. No entanto, observa-se que essa exploração ocorre de forma desregulada, sem formalidades estabelecidas ou acordos firmados com as entidades responsáveis pela gestão da bacia. Além disso, a actividade não apresenta requisitos específicos para ser monitorada o que dificulta a intervenção dos gestores da bacia sobre os seus impactos ambientais e os ecossistemas locais.



Figure 10 Exploração de inertes na Bacia do Rio Incomáti.

3.2.2 Criação de Gado

A criação de gado na Bacia do Rio Incomáti é uma actividade desenvolvida tanto de forma independente quanto por meio de associações. Esta prática ocorre em diferentes zonas da bacia, envolvendo criadores de gado caprino, suíno e bovino, com rebanhos que, em alguns casos, ultrapassam 250 cabeças.

Apesar da sua importância econômica e social para as comunidades locais, a criação de gado pode representar riscos à qualidade da água, sobretudo quando realizada sem práticas de manejo sustentável. O pisoteio nas margens dos cursos de água, o descarte inadequado de dejetos e a compactação do solo contribuem para a erosão, assoreamento e contaminação dos recursos hídricos. Por isso, torna-se fundamental a

implementação de medidas de gestão integrada, que envolvam os criadores e os órgãos responsáveis, de modo a mitigar os impactos negativos e garantir o uso sustentável da bacia. Esta atividade também não oferece dados reais de número de gado de cada espécie para poder prever o risco e adotar medidas adequadas.

3.2.3 Actividade Agrícola

A actividade agrícola na Bacia do Rio Incomáti é realizada de forma predominantemente independente, com alguns produtores operando em áreas superiores a 10 hectares. Além disso, existem associações de agricultores voltadas à produção de banana, com áreas cultivadas que ultrapassam os 100 hectares, especialmente em zonas com maior disponibilidade de água e acesso à infraestrutura de irrigação.

Embora a agricultura represente uma fonte relevante de sustento para as comunidades locais e contribua para o desenvolvimento econômico da região, sua prática intensiva pode gerar impactos significativos sobre os recursos hídricos. O uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, aliado à irrigação desordenada e à ocupação de áreas próximas aos corpos de água, pode levar à contaminação dos rios, à degradação do solo e à redução da biodiversidade aquática. Assim, torna-se essencial promover o uso de técnicas agrícolas sustentáveis e o fortalecimento da fiscalização e do monitoramento ambiental, visando proteger a qualidade da água e garantir a resiliência dos ecossistemas da bacia.

3.2.4 Produção de Energia Eléctrica

A produção de energia eléctrica na Bacia do Rio Incomáti ocorre principalmente no rio Sábie, por meio da Barragem de Corumana, localizada no distrito de Moamba, província de Maputo. Esta infraestrutura, construída entre 1983 e 1989, possui uma altura máxima de 45 metros e cerca de 3.050 quilómetros de comprimento na crista. Actualmente, a barragem apresenta uma capacidade efectiva de armazenamento de aproximadamente 880 milhões de metros cúbicos, com uma área inundada de cerca de 71 km². Com a elevação do nível da barragem para 117 metros, sua capacidade pode alcançar 1.375 milhões de metros cúbicos, abrangendo uma área de até 91 km². A central hidreléctrica instalada possui capacidade de geração de 16,6 megawatts (MW),

contribuindo significativamente para o fornecimento de energia elétrica na região sul do país. A produção média anual estimada é de 25 a 30 GWh, dependendo do regime de enchimento e operação da barragem.



1Figure 11 Barragem da Corumana.

3.2.5 Descarga de efluentes.

Ao rio Incomati na sua extensão passa pelas proximidades das vilas de Moamba, Magude, Manhiça e Marracuene e também pelos postos administrativos de Ressano Garcia e Sabie. Nessas regiões ocorre o descarte de água dos matadores e esgotos urbanos.

Na açucareira de Xinavane e Maragra ocorre a descarga de efluentes proveniente de da lavagem a quente de cana de açúcar para entrar no processamento do açúcar. No distrito de Marracuene apresenta dois efluentes industriais que operam na produção de bebidas alcólicas

3.2.6 Exploração de Água e Uso da Bacia do Incomáti

3.2.6.1 Abastecimento para consumo humano.

Na Barragem de Corumana ocorre o desvio de água destinado ao abastecimento da vila da Moamba e da cidade da Matola. Este projecto foi concretizado em 2017 pelo FIPAG, por meio da empresa Águas da Região Sul, com uma capacidade de fornecimento estimada em 60,000 m³ por dia. Essa infraestrutura representa uma solução importante para suprir a crescente demanda por água potável nas zonas urbanas da província de Maputo.

3.2.6.2 Agua para Irrigação.

A Bacia do Rio Incomáti. apresenta grandes áreas de exploração agraria este desenvolvimento esta associado aos solos predominantes e ao relevo da região. A atividade agrícola encontra se dividido em três escalas de pequenos agricultores, associações e grandes agricultores. Nos pequenos agricultores ocorre a produção de hortícolas cebola, batata, pimenta, e outros, nas associações ocorre a produção de cana sacarina e nos grandes produtores produzem a banana e cana de açúcar. Essas atividades cobrem uma área de 22.736 há com um consumo de 170Mm³/mês

3.3.0 Eventos ocorridos na bacia do Incomáti

3.3.1 Contaminação das águas na estação de monitoramento E 23

No mês de Maio do ano 2023 a bacia do Incomáti registou uma contaminação das águas do rio no alto Incomáti (Ressano Garcia) manifestado por ocorrência de cólera em pessoas consumidores daquele precioso líquido naquela região, factor que despertou atenção aos gestores da bacia do Incomáti, e de imediato recorreu a colheita de amostras ao laboratório de alimentos e higiene.

3.3.2 Contaminações das águas na estação de monitoramento de qualidade de água E 28

No mês de Abril do ano de 2012 verificou-se a morte de gado bovino na localidade de palmeira acto que se notava logo que o gado consumia a água do rio naquela região de imediato as autoridades da saúde levaram água para análises laboratoriais assim como os gestores da bacia do Incomáti.

Os resultados das amostras foram estabelecidos sete dias depois sem precisar de detalhe porque o cenário havia sido ultrapassado.

3.3.3 Desenvolvimentos de plantas aquáticas no rio

A bacia do Incomáti nos arredores entre Incoluane até Marracuene, ocorre um desenvolvimento de diversos tipos de plantas aquáticas com uma evolução rápida e um domínio de área superficial de águas completamente preenchida e semi preenchida, sendo áreas preferencialmente agrícolas cria grande distúrbios para a população dependente daquele precioso, preocupações persiste na busca de soluções para manter o leito saudável e garantir a transitabilidade e consumo satisfatórios da água.



Figure 12 Plantas aquáticas no rio Incomáti.

3.3.4 Cheias na bacia do Incomáti

A Bacia do Rio Incomáti recebe águas dos países a montante e de rios secundários que contribui para a manutenção do sistema ecológico, em tempo de seca, tem si verificado a redução das actividades desenvolvidas na bacia como a pesca, a produção agrícola e lazeres, esta situação contribui também para a redução sistema de equilíbrio do ambiente. Em tempo de cheias a água atingem níveis altos, resultado das contribuições das descargas a montante e da chuva ao nível local, causando danos nas áreas circunvizinhas da bacia. A frequência das cheias nesta bacia estimas se em um intervalo de 10 anos, havendo ao longo deste período a ocorrência de enchentes as vezes com tendência a níveis alarmante.



Figure 13 Cheias na Bacia do Rio Incomáti.

3.3.4 Tempo de propagação de ondas na bacia hidrográfica do Incomáti

O tempo de propagação de ondas na Bacia do Rio Incomáti está directamente relacionado aos níveis iniciais de água a montante. De forma geral, quanto maior for o nível de água, menor será o tempo necessário para que a onda atinja o ponto de observação a jusante. No trecho entre o alto Incomáti (Ressano Garcia) e o médio Incomáti (Magude), o tempo estimado de chegada da onda varia entre **2h30 e 6h00**. Já do médio Incomáti até o baixo Incomáti, o tempo de propagação estimado situa-se entre **2 e 4 dias**, enquanto do baixo Incomáti até a foz do rio, esse tempo pode variar entre **6 e 10 dias**, considerando cenários de níveis mínimos a médios. Esses dados são fundamentais para o planeamento de ações de prevenção de cheias e para a gestão integrada dos recursos hídricos na bacia.

A bacia do Incomáti apresenta uma área topograficamente definida para a sua gestão, desde a fronteira com a África do sul no Oeste limitando pelo oceano Indico a Este e a norte faz fronteira com a Bacia do rio Limpopo e a sul Com a bacia do rio Umbeluzi, esta área apresenta rosque drenam as suas aguas no rio Incomáti e responsável pela gestão das aguas subterrâneas, para responder as necessidades ambientais e necessário um monitoramento detalhado da bacia.

3.4 Sistema de monitoramento de água na bacia do Incomáti

A Bacia Hidrográfica do Rio Incomáti conta com três redes principais de monitoramento de recursos hídricos, fundamentais para a gestão integrada e sustentável da água. Essas redes são compostas por estações hidrométricas, responsáveis pela medição dos níveis e vazões dos rios; estações pluviométricas, que registram os índices de precipitação; e pontos de monitoramento de águas subterrâneas, voltados à avaliação da disponibilidade e qualidade dos aquíferos. Essas infraestruturas fornecem dados essenciais para a tomada de decisões em relação ao controle de cheias, alocação de água, planejamento agrícola e prevenção de eventos extremos.

3.4.1 Rede de estações de monitoramento de recursos hídricos

O monitoramento de estações hidrométrica é composta por duas redes a rede escalas medidores de nível hidrométrica e estações telemétricas. Estas redes tem a mesma função diferindo se pelo método sendo que as escalas verticais é um método tradicional manual, sendo que para o seu funcionamento necessita de acompanhamento presente do homem para registrar cada evento. Enquanto que a rede telemétrica é programado e recolhe informação automaticamente e os gestores nos descarregam periodicamente nos bancos de dados.



Figure 14 Rede de estações de monitoramento de recursos hídricos.

3.4.2 Rede de estações hidrométricas de escalas verticais

Para o monitoramento dos recursos hídricos, a Bacia do Incomati instalou medidores de níveis ao longo de seu curso, com o objectivo de controlar as variações dos níveis. As escalas utilizadas são do tipo escalas verticais, que realizam leituras continuamente e o leitor faz leituras as 7h30, 12H00 e as 17horas de cada dia registrando manualmente em uma caderneta. Essas informações são posteriormente recolhidas e arquivadas tanto em arquivos manuais quanto eletrônicos. Os dados coletados são essenciais para relacionar eventos hidrológicos a determinados níveis de água, servindo de base para a tomada de decisões em situações de alerta, especialmente quando os níveis tendem a atingir patamares críticos. Para garantir uma atividade continuo, os gestores da bacia trabalham com pessoas residentes próximos a estação, oferecendo equipamentos e valores remuneráveis não muito significativos. Devido ao atraso nos pagamentos e falta de investivos e treinamento os dados não apresentam boa confiança (exemplo o leitor preenche a caderneta sem precisar ir a estação ou mesmo com escala inclinada ele continua a ler sem comunicar os gestores)

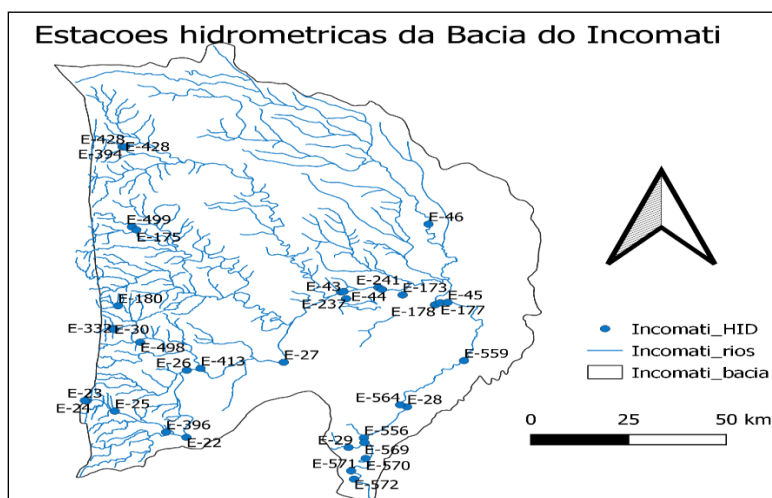


Figure 15 Estação hidrométrica. Banco de dados da UGBI.

3.4.3 Rede de Estações Telemétricas

A rede de estações telemétricas na Bacia do Incomati é composta por cinco estações: a primeira está localizada na E-24, em Ressano Garcia; a segunda na E-413, a jusante da barragem da Corumana; a terceira na E-43, após a confluência dos rios Sabie,

Massitonto e Uanetsi; a quarta na E-46, no médio Incomáti; e a quinta na E-28, no baixo Incomáti. Essas estações colectam informações sobre a variação dos níveis de água e registram os dados eletronicamente, armazenando-os por períodos prolongados, conforme a capacidade dos discos rígidos. Além disso, elas podem enviar os dados automaticamente em tempo real para um computador central. Entretanto, o desenvolvimento e a utilização plena desse sistema foram prejudicados pela limitada capacidade da rede de internet para transmissão dos dados, o que dificultava o monitoramento centralizado. Outro factor que comprometeu o funcionamento foi a qualidade dos equipamentos, especialmente das pilhas, que em determinados momentos falhavam, exigindo substituições frequentes e gerando custos adicionais. Destaca se que nesta bacia tem duas estacoes telemétricas funcionais com problema de nivelamento tipográfica, isto é o nível lido pelo liminigrafo difere se por um (1) metro do nível real da escala.



Figure 16 Estação telemétrica de Magude E43, (a) Banco de dados da ARA-Sul. Estação telemétrica de Sabie E 413 (b) Banco de dados da ARA-Sul.

Tabela 1 Rede de estações telemétricas.

ID	Nº Estação	Nome do rio	Localizacao da estacao	
1	E-23	Incomati	R. Garcia	Map/Moamba
2	E-28	Incomati	Manhiça	Map/Manhiça
3	E-43	Incomati	Magude	Map/Magude
4	E- 46	Incomati	Magude	Map/Magude
5	E-413	Sabie	Confluencia Sabie	Map/Moamba

Fonte: Banco de dados DGBI.

3.4.4 Rede de Estações de Medição de Caudal

Os pontos de medição de caudal na Bacia do Incomáti foram definidos com base nas características da bacia, permitindo estabelecer o comportamento das ondas de água em determinados locais. Isso possibilita prever os efeitos a jusante desses pontos. Por exemplo, quando o nível em Ressano Garcia atingir 3,5 metros, espera-se que em Magude o nível alcance cerca de 5 metros. Actualmente, a bacia conta com sete (7) estações de medição de caudal. O maior volume registrado foi de 600 m³/s durante a cheia de 2000 na estação E-23, enquanto o menor caudal medido foi de 0,17 m³/s nos anos de 1983, 1991 e 2003, na mesma estação (dados do arquivo ARA-Sul). As medições de caudal são realizadas em locais considerados seguros, garantindo a confiabilidade dos dados e permitindo uma melhor interpretação das variações do sistema hídrico na bacia.

Com a evolução de extração de inertes no rio Incomati os dados usados em cada ano não permitem criar uma curva de vazão devido a bacias criadas, assim como o tempo de chegada de ondas vem demorando devido a preenchimento de bacias.

Tabela 2 Estações de medição de caudal.

Estações de medição de caudal						
ID	Numero da estação	Nome do rio	Local da estação	Distrito	Cordenadas	
1	E- 22	Incomati	Moamba	Map/Moamba	25° 34' 22"	32° 15' 21"
3	E- 24	Incomati	R. Garcia	Map/Moamba	25° 26' 25"	32° 00' 10"
5	E- 26	Incomati	Sabie	Map/Moamba	25° 19' 26"	32° 15' 16"
6	E- 27	Incomati	Chinhanganine	Map/Moamba	25° 17' 01"	32° 30' 23"
8	E- 29	Bobole	Bobole	Map/Marracuene	25° 36' 46"	32° 40' 20"
9	E- 43	Incomati	Magude	Map/ Magude	25° 01' 50"	32° 39' 17"
21	E- 396	Incomati	Moamba Major	Map/Moamba	25o 33' 16"	32o 11' 55"
22	E- 413	Sabie	Confluencia (Sabie)	Map/Moamba	25° 19' 00"	32° 17' 29"

Fonte: Banco de dados DGBI.

3.4.6 Rede de estações subterraneas

Para o monitoramento da água subterrânea a bacia do Incomáti construiu 17 furos distribuídos em toda área da bacia, para a construção destes pontos a bacia do Incomáti observou as linhas de água, os seus percursos e as bacias de retenção, foi

através destas informações que desenvolveu um sistema de monitoramento de qualidade de água, as leituras destas estações são feitas através de sonda elétrica graduada que é mergulhada dentro do tubo piezométrico e quando atinge a água emite um som, assim o técnico lê na fita o valor do nível. Essas leituras são lidas uma vez por semestre, o objetivo principal destes furos é controlar o nível de água subterrânea e a qualidade de água.

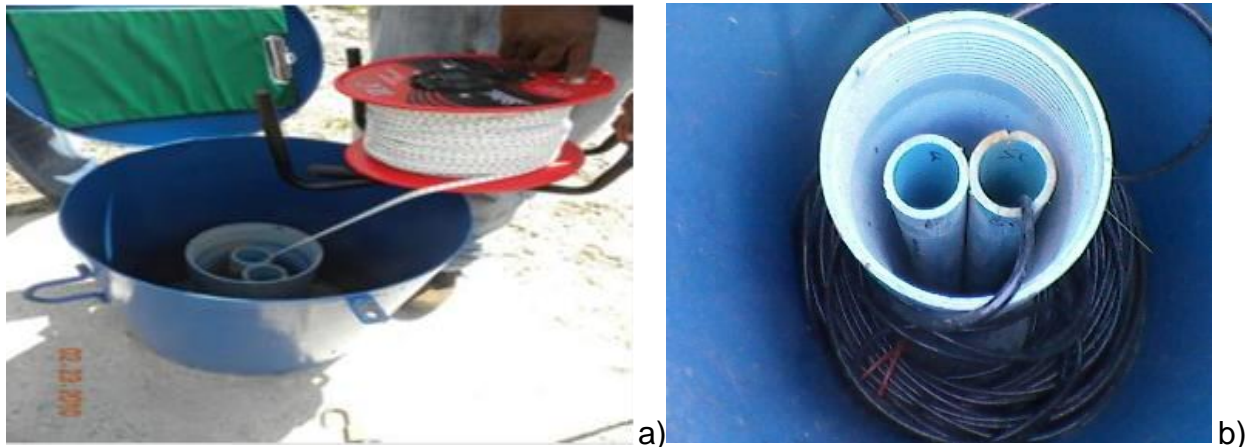


Figure 17 a) Furo piezométrico Banco de dados DGBI, b) furo piezométrico com telemetria, Banco de dados DGBI.

3.4.7 Rede de Estações Pluviométricas

A Bacia do Incomati possui 35 estações pluviométricas, das quais duas (2) estão inoperacionais e 6 estão localizadas em zonas consideradas estações-chave. O grande contributo dessas estações é avaliado pela quantidade de precipitação que cai em cada área, permitindo analisar as variações do sistema hídrico da bacia. Essas informações são fundamentais para a definição de políticas de gestão da bacia hidrográfica, que consideram a precipitação como a principal entrada de água no sistema. Durante períodos úmidos, as estações pluviométricas da bacia apresentam uma estimativa confiável da quantidade de chuva. Já nos períodos de seca, a bacia praticamente não registra precipitação, exceto na zona costeira, onde são observadas chuvas inferiores a 20 mm. As leituras destas estações são feitas uma vez por dia às 9 horas, para o controlo dessa informação os gestores trabalham com pessoas residentes perto das estações. Devido ao baixo valor remunerável e falta de incentivos os leitores não obedecem as normas de leituras, ocorrendo situações em que a água

de chuva acaba evaporando ou esquecendo o dia em que choveu e as vezes acumulando chuva de deferentes de dias ou semanas.

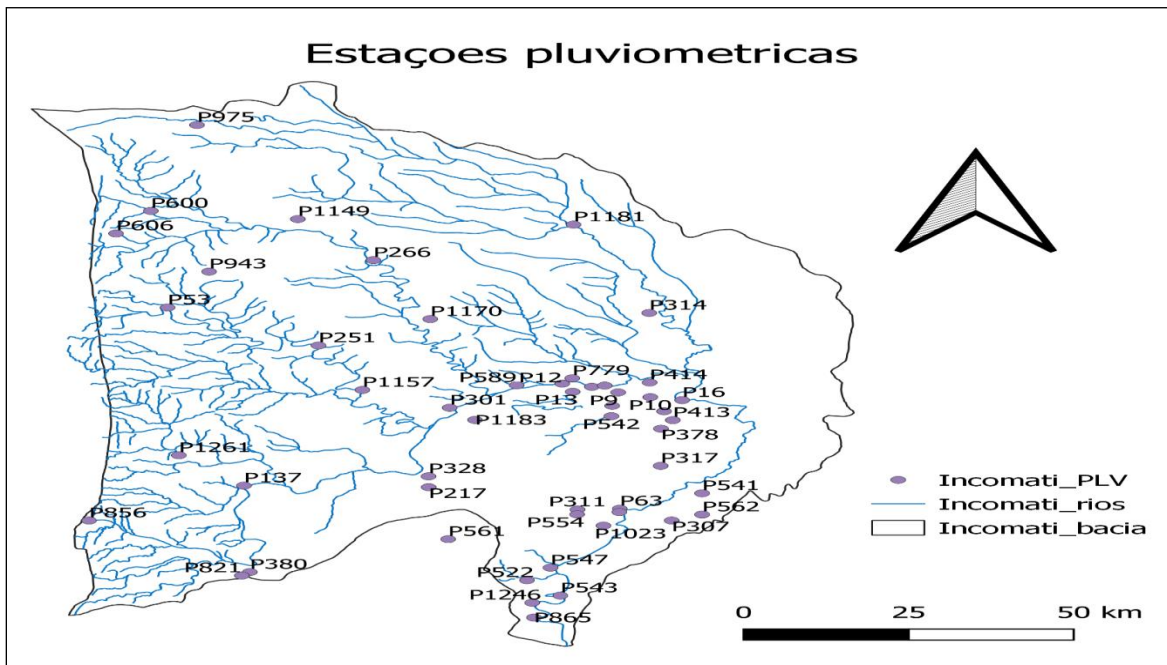


Figure 18 Estação pluviométrica de Mahel (Magude).

3.4.8 Monitoramento de qualidade de água na Bacia do Incomati.

A água na natureza é raramente pura, por ser uma substância quimicamente muito ativa. Apresenta grande facilidade de dissolver e reagir com outras substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no ambiente, alterando sua composição físico-química e biológica e, conseqüentemente, a sua qualidade (Brito et al,2007).

A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que seus constituintes podem causar ao ambiente, em especial à saúde do homem.

Padrões de qualidade de água variam em função do seu uso. Para consumo humano, a legislação moçambicana dispõe que toda água deve obedecer ao padrão de potabilidade e define como água potável.

Segundo Araújo e Santaella (2001), qualidade da água pode ser entendida como o conjunto das características físicas, químicas e biológicas que esse recurso natural deve possuir para atender aos diferentes usos a que se destina. Araújo e Santaella

(2001) completam afirmando que o conceito de qualidade da água depende do seu uso ou fim, possuindo valor relativo.

O controle de qualidade da água deve ser primordial para assegurar a saúde da população, já que ela é, também, um veículo de transmissão de muitas doenças.

Para caracterizar uma água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (Mataruco e Valério, 2013).

3.4.9 Monitoramento de qualidade de água superficial

A bacia do Incomáti obedece a uma rede de monitoramento de qualidade de água ao longo da sua área de jurisdição. Esta rede foi desenvolvida de acordo com as exigências que a sustentabilidade do ambiente e a saúde necessitam para o desenvolvimento de uma sociedade. O sistema de monitoramento de qualidade de água na bacia do Incomáti está dividido em dois grupos, dos quais está a monitoramento de água superficial e águas subterrâneas,

Para o monitoramento de águas superficiais, a bacia hidrográfica do Incomáti selecionou pontos com probabilidade de ocorrência de danos em toda a sua área de jurisdição elaborou uma política que permite o monitoramento de qualidade de água e responder as necessidades dos utentes

Os pontos considerados nesta bacia são no total 10 que obedecem a seguinte designação, Ressano Garcia este ponto de monitoramento de qualidade de água encontra se na estação do controlo do nível de água a uma distancia de 50 metros da fronteira com África do sul, esta estação e usada para determinar a qualidade e quantidade de água proveniente da África, a escolha deste ponto esta relacionado com a necessidade de certificar a qualidade de água vinda da África do Sul, pelo que este rio percorre longas distancias na República da África do Sul e ao longo do seu percurso decore varias actividades, com a pratica de agricultura, a urbanização pequenas industrias e reservas de animais.

Ainda no alto Incomáti, encontramos dois pontos de monitoramento de qualidade de água um nas mediações do distrito da Moamba e o outro na barragem da Corumana. A indicação destes pontos está relacionado com a localização e distancia que o rio percorreu onde distam 49 km de Ressano Garcia e passa a menos de 1 km da vila da Moamba, e no segundo ponto para além de ser uma reserva maior de recursos hídricos, ocorre a pratica de pesca, turismo, a produção de energia hidrelétrica e desvio de uma conduta de água para abastecer a vila da Moamba e a cidade de Matola.

No médio Incomáti o monitoramento é feito nas represas de Massitonto, Uanetzi na E 43 Magude e nos efluentes da açucareira de xinavane, as represas são pequenas barragens que podem manter água por um período longo sem a sua movimentação servindo para pequenas regas e abeberamento do gado. E em tempo de pico o nível eleva se escoando para a bacia principal, o monitoramento dessas represas é incencial para garantir o bem-estar saudável do ambiente e animal. Os efluentes da açucareira de descartam águas da lavagem da cana no rio a altas temperaturas alterando as propriedades pré-existentes

No baixo Incomáti, encontramos o efluente de Mazimuchope e os efluentes da açucareira da Maragra e um aglomerado maior ao longo do seu percurso. Esta área as águas tem menor velocidade e acumulam se por muito tempo

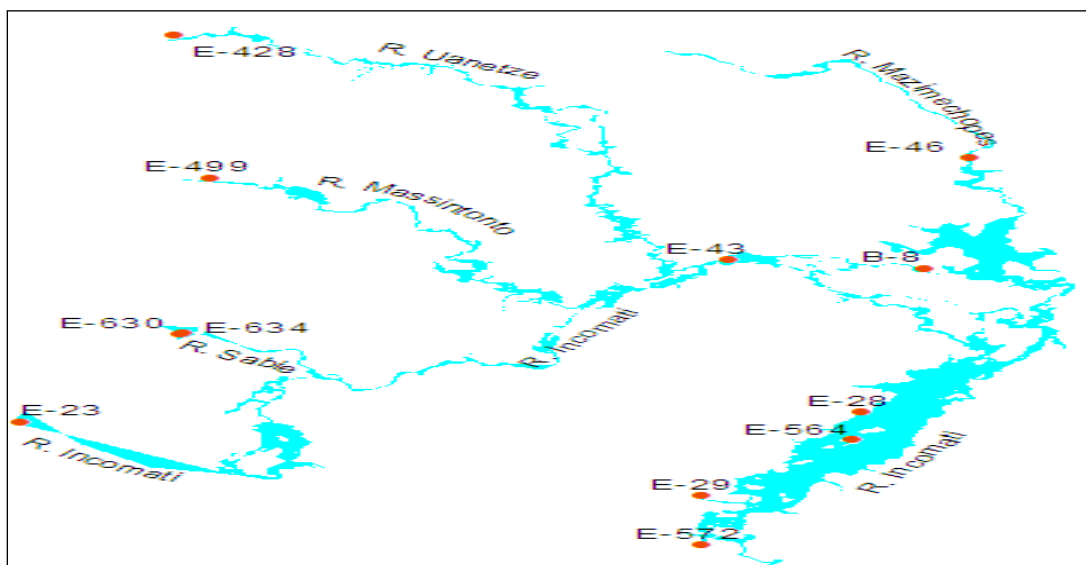


Figure 19 Mapa de estações de monitoramento de qualidade de água superficial.

3.4.10 Banco de dados DGBI.

3.5.1.6 Monitoramento de qualidade de água subterrânea

O monitoramento de qualidade de água subterrânea na Bacia do Incomati observou vários estágios para garantir uma sustentabilidade econômica, uma das formas encontradas para minimizar custos foi de uma leitura em três meses. Mesmo assim devido a equipamentos e custo, esta actividade ficou paralisada desde ultimo semestre do ano 2024

Estações de águas subterrâneas



Figure 20 Mapa de estações de águas subterrâneas. Banco de dados DGBI.

3.5 Plano de Monitoramento de qualidade de água na bacia do Incomati

A bacia do Incomati estabeleceu um plano de monitoramento de qualidade de água de acordo com as exigências do artigo 56 da lei número 16/91 de 3 de Agosto (lei de água, publicado pelo boletim da república pela primeira série numero 31.

O monitoramento de qualidade de água em bacias hidrográficas não apresenta um plano obrigatório de colheita de amostragem de água tanto nacional assim como internacional, sendo assim a bacia do Incomati determinou um plano que preferiu de acordo com as condições administrativas da bacia, que refere os custos de pagamento de amostras laboratoriais, combustível e recursos humano.

No seu funcionamento a bacia do Incomáti apresentava duas modalidades de monitoramento de qualidade de água, a primeira foi exibida nos anos 2009 a 2015 que fazia uma recolha de dados em 15 dias para análises físicas e num período de 30 dias análises física, químicas e microbiológicas. A partir de 2015 passou a suspender as análises físicas, químicas quinzenais devido a custos de transporte e recursos humanos para um período de 3 meses. A partir de 2020 passou a suspender também a colheita de amostras de água por um período de um mês para um período de 3 meses processo que ocorreu ate finais de 2024. Neste segundo semestre do ano 2025 veio a suspender todas as actividades de monitoramento de qualidade de água.

A Bacia do Incomáti assume uma grande responsabilidade compartilhada ao nível nacional para o desenvolvimento de ecossistemas, actividades agrícolas, criação de gado, actividades industriais, recriação e pesca e 650m³/h são disponibilizados a cidade da Matola para o consumo humano através da empresa FIPAG. Para garantir a continuidade de vida dos ecossistemas há uma necessidade de desenvolver técnicas que visam minimizar os custos no acompanhamento de qualidade de água e reduzir o tempo de rotina de colheita de amostras.

4.0 Trabalhos realizados durante o estagio

4.1 Visita a bacia do incomati

Esta actividade foi realizada com objectivo de buscar informacoes decorrente na bacia, atraves de leitores que de escalas hidrometricas e estacoes de leituras de pluviometrica. Os dados obtidos referem a variacao dos niveis no rio e a quantidade de precipitacao numa determinada area, os dados registados numa estacao num rio com uma configuracao fixa permite prever a ocorrencia dos enventos passados a mesmos niveis em anos subsequentes. Sendo assim recomenda se a escolha de pontos de montagem de estacoes em zonas onde nao se preve a ocorrencia de erosao, sedimentacao ou desenvolvimeto de actividades que podem afectar negativamente as estacoes, o treinamento de leitores e reabilitacao de estacoes permite obter uma qualidade de dados desejados.

4.1.1 Visita a estacoes pluviométricas.

Nesta atividade fez se a recolha de dados referente ao mês anterior foi foi feito uma analise de dados registado na caderneta em relação ao tempo passado sobre tudo para garantir que não tenha chovido e o leitor não registrar nada na caderneta, também foi feito uma simulação de leituras na proveta para assegurar que as leituras registadas na caderneta foram feitas com eficiência.

Os dados apresentados nestas estacoes mostram que quando chove tende a abranger toda a bacia, sendo facilita o entendimento de algumas leituras que não são registados no mesmo dia e ou o leitor não vai tirar leituras.

Esta experiência e notório em alguns caso em que os gestores durante a visita a estacoes encontram agua dentro do pluviômetro e o leitor não apresentar a noção de quando terá chovido. Isso faz com que o leitor aparece com leituras de precipitação muito elevada resultado de acumulo de repetições de chuva.

Tabela 3 Estações de monitoramento de pluviosidade

Dia	Marco	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1	0,0	17,3	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	12,8	17,9	0,0	0,0	0,0	0,0
3	3,7	0,0	28,3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	3,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
5	5,2	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0
6	0,0	0,3	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	30,2	0,2	0,0	0,0	56,3	5,7	18,3
10	3,1	1,7	0,0	0,0	1,2	0,3	0,0
11	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	18,8	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
13	3,3	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	1,8	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
18	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0
19	0,0	0,0	13,9	0,0	7,9	8,1	0,0
20	0,0	3,2	15,3	0,0	0,3	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	0,0	0,0
22	17,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	68,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0		0,0		0,0	0,0	
Total	161,6	63,6	88,8	0,4	81,3	20,8	18,3
Media	5,2	2,1	2,9	0,0	2,6	0,7	0,6
Maxima	68,3	18,8	28,3	0,4	56,3	8,1	18,3
Minima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

4.1.2 Recolha de dados de estacoes hidrométricas

As estacoes hidrométricas encontram si distante uma da outra não permitindo o acompanhamento directo dos dados através dos gestores da bacia, esta situação compromete a confiabilidade dos dados visto que em alguns casos encontram se caderneta não preenchida ou com dados que não respondem as alterações que o rio se comportou durante um determinado período de tempo. As tabelas abaixo mostram resultados de dados recolhidos num período de um mês onde a tendência dos rios era de baixar o nível.

Na estação hidrométrica E43 verifica si que o nível esta descendo de uma forma gradual e em alguns pontos tende a subir e volta a descer. Já na estação hidrométrica

E564 Maragra as leituras não são satisfatórias visto que a descida assim como a subida do nível não tem um procedimento logico que pode ajudar na interpretação do curso do rio.

Esta situação ocorre as vezes devido a deficiência da escala ou do leitor que recolhe os dados diariamente, devido a falta de treinamento, e assistência periódica do leitor e motivação,

Tabela 4 Estações de monitoramento de níveis hidrometrica



out-25			
Estacao hidrometrica de Magude E- 43			
Data	Hora	Hora	Hora
	7h30	12h00	17h00
1	1,85	1,84	1,87
2	1,84	1,85	1,84
3	1,86	1,84	1,84
4	1,82	1,87	1,84
5	1,85	1,85	1,85
6	1,85	1,85	1,85
7	1,85	1,84	1,84
8	1,83	1,85	1,84
9	1,85	1,83	1,84
10	1,82	1,84	1,83
11	1,78	1,82	1,80
12	1,74	1,77	1,76
13	1,76	1,74	1,73
14	1,77	1,77	1,77
15	1,79	1,16	1,16
16	1,79	1,79	1,79
17	1,81	1,78	1,78
18	1,76	1,81	1,80
19	1,77	1,76	1,76
20	1,79	1,77	1,77
21	1,79	1,78	1,78
22	1,79	1,79	1,78
23	1,78	1,78	1,78
24	1,77	1,77	1,77
25	1,75	1,77	1,76
26	1,74	1,74	1,74
27	1,76	1,74	1,74
28	1,76	1,76	1,76
29	1,77	1,77	1,76
30	1,78	1,77	1,17

out-25			
Estacao hidrometrica de Maragra E 564			
Data	Hora	Hora	Hora
	7h30	12h00	17h00
1	2,00	2,00	2,30
2	2,00	2,00	2,40
3	2,00	2,00	2,30
4	2,00	2,00	2,40
5	2,00	2,00	2,40
6	2,05	2,00	2,40
7	2,05	2,00	2,40
8	2,05	2,00	2,40
9	2,05	2,00	2,40
10	2,00	2,00	2,40
11	2,00	2,00	2,40
12	2,00	2,00	2,40
13	2,00	2,00	2,40
14	2,00	2,00	2,40
15	2,00	2,00	2,30
16	2,00	2,00	2,40
17	2,00	2,00	2,40
18	2,00	2,00	2,30
19	2,00	2,00	2,40
20	2,00	2,00	2,30
21	2,00	2,00	2,40
22	2,00	2,00	2,40
23	2,00	2,00	2,30
24	2,00	2,00	2,30
25	2,00	2,00	2,40
26	2,00	2,00	2,40
27	2,00	2,00	2,20
28	2,00	2,00	2,40
29	2,00	2,00	2,30
30	2,00	2,00	2,30
31	2,00	2,00	2,40

4.1.3 Medições de caudal

Caudal de um rio e uma força que as aguas possuem no seu movimento associado a velocidade e uma certa área em fracao de tempo, a base de dados bem organizado

desses dados permite definir a magnitude de força de água que um determinado nível de água possui prevendo assim os danos. As tabelas a baixo mostram uma série de dados de medições de caudal com objetivo de se avaliar o caudal em relação ao nível da água, os dados mostram distribuição de caudais em relação aos níveis não muito aceitável para este objetivo.

Tabela 5 Lista de caudais medidos

Data da medição	Nível (m)= (1x10)	Caudal (m ³ /s)
03/01/2025	20,22	20,4213
14/01/2025	20,37	109,305
05/02/2025	30,43	85,5654525
29/04/2025	30,78	19,95443
27/08/2025	30,41	124,4155525
18/10/2025	52,14	541,3964875

Tabela 6 Orientação para validação de um caudal

Rio Incomati	Altura na escala	
Estação Moamba E- 22	Início: 0,50 m	Fim:0,50 m
Secção medição: AVau		
Bacia Hidrog.Incomati..	caudal m ³ /s	1,343
Dia 17 de Junho 2020	veloc.média m/s	0,422
Tempo Inicio 16:55 as 17:25horas	Área m ²	3,180

Tabela 7 Orientação para validação de um caudal

Rio Incomati	Altura na escala	
Estação Moamba E- 22	Início: 0,19 m	Fim:0,19 m
Secção medição: AVau		
Bacia Hidrog. Incomati	caudal m ³ /s	2,926
Dia 18 de Setembro de 2019	veloc.média m/s	0,424
Tempo Inicio 15:35 as 16:25horas	Área m ²	6,905

4.2 Analisa do sistema de monitoramento de água na Bacia do Rio Incomáti.

4.2.1 Analise do sistema da precipitação

Os dados da precipitação são recolhidos conforme a percepção do leitor quando chove, sendo que em algumas estações nota-se mais de um mês sem chover, fator que permite o leitor viajar sem dar conta do que pode vir acontecer na estação, esta situação é notória a medida em que os gestores fazem visita deparam-se com quantidade de água nos pluviômetros, onde por vezes nem o leitor se recorda a data em quem precipitou, sendo que as vezes ocorre a repetição da chuva sem poder medir. E no dia que mede verifica-se uma quantidade maior que em condições normais poderia ter causado enchente ou danos se tivesse ocorrido no mesmo dia.

A figura abaixo mostra o comportamento de precipitação ao longo do mês de Abril ao nível da bacia, os dados em análise mostram que a precipitação foi abrangente ao longo da bacia nos primeiros 13 dias do mês, sendo que veio a continuar no resto dos dias em algumas estações com intensidade baixa. Neste estudo pretende avaliar a precisão dos dados recolhidos manualmente. Os dados apresentados não apresentam uma correlação fiável visto que os registos mostram uma diferença de dias de chuva, situação um pouco rara.

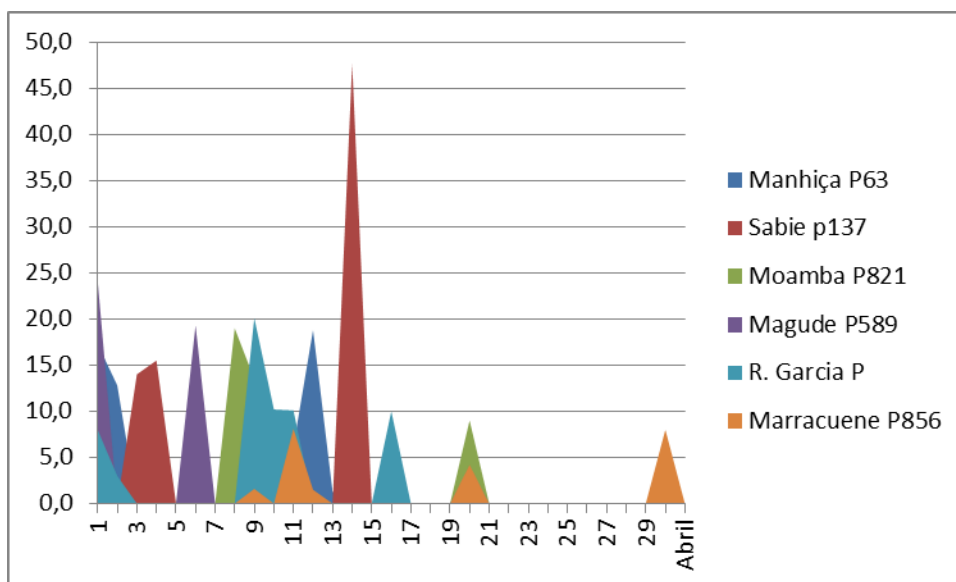


Figure 21 Analise da precipitação na Bacia do Rio Incomati

4.2.2 Analise do sistema de medições de caudal

Esta atividade e feita com objetivo de desenvolver informação suficiente para atender os desafios que o clima oferece. Sabe se que a medida que chove os níveis de agua aumentam nos arrastando vários materiais e provocando distruiçoes. Sendo necessário desenvolver curvas de correlação de nível de agua e caudal, a figuraabaixo apresenta uma serie de medições, entretanto os níveis de agau não estão bem associados sequencialmente com os caudais.

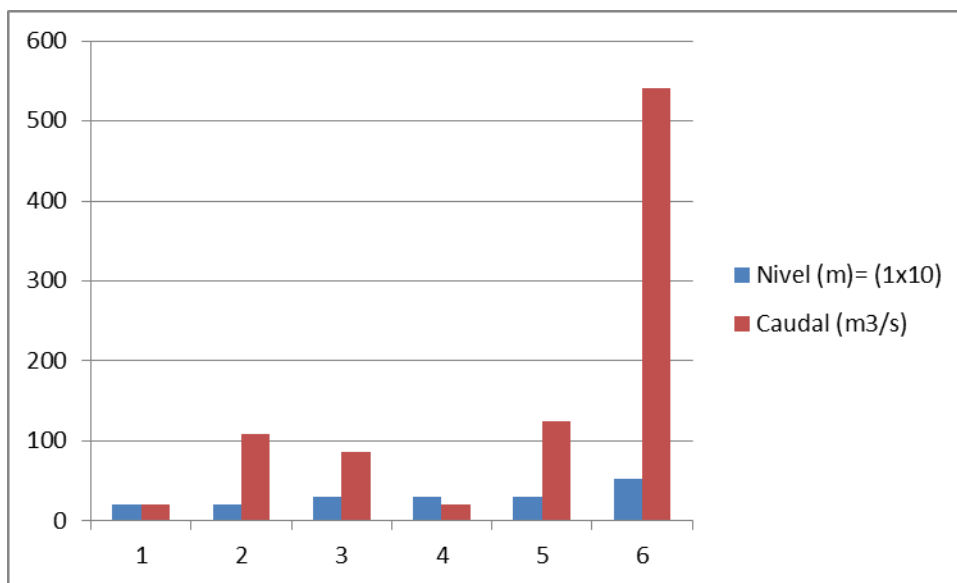


Figure 22 Analise de medições de caudal na Bacia do Rio Incomati

4.2.3 Analise da rede hidrométrica estacao hidrométrica E564

A figura mostra um comportamento de uma estacao hidrométrica onde a variação do nível varia de 2,00 a 0,30 e 0,40 cm esta situação não e normal para um nível de um rio, pressupõe que estes dados precisam de uma analise especial para a sua validação visto que tanto a montante assim como a jusante não ocorre o mesmo. Para a sua atecao nota que a estacao varia de 1,50 a 3,00m a variação devia ser de 2,05, 2,06 ate 2,14 2,22 2.23 assim em diante.

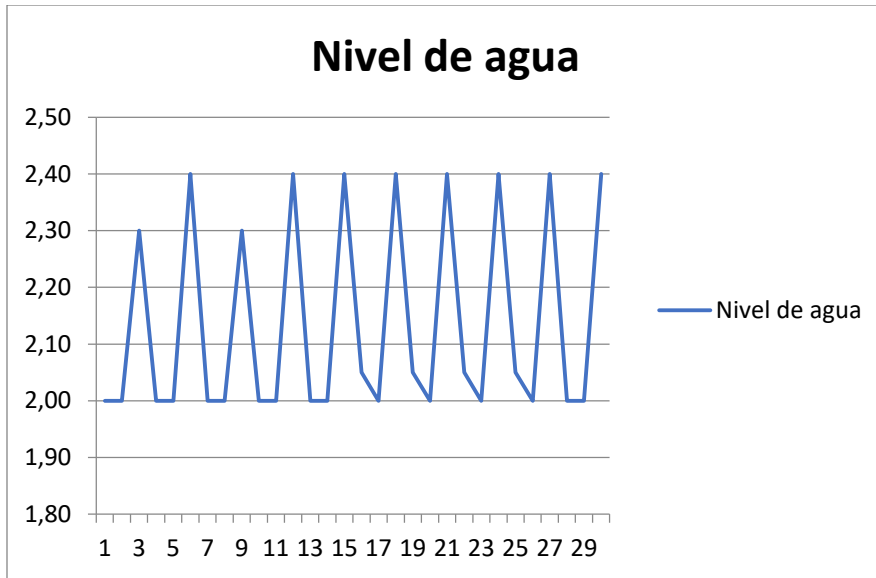


Figure 23 Analise leituras de níveis hidrométricos na Bacia do Rio Incomati

4.2.4 Analise da rede hidrométrica estação hidrométrica E 43

Esta estação mostra dados das leituras que são acompanhados rigorosamente pelo leitor obedecendo o tempo das leituras. A informação obtida representa a um cenário digno das mudanças do nível do rio sendo que estes dados apresentam uma situação em que o nível do rio esteja a baixar ocorrendo ao longo do mês situações de uma pequena subida do nível.

Estes dados podem não ter grande diferença com os dados recolhidos através dos sistemas automáticos. A diferença consistira na rigorosidade do tempo e concentração da informação

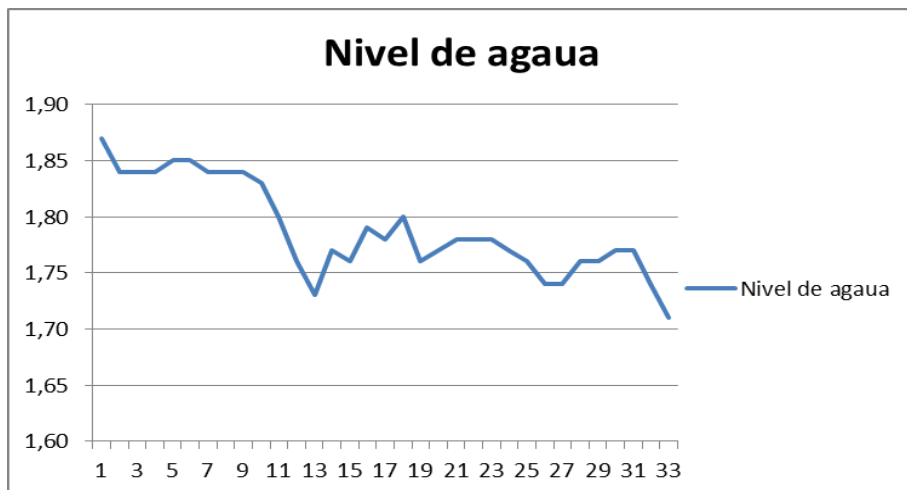


Figure 24 Analise níveis hidrométrico na Bacia do Rio Incomati

4.2.5 Analise de Parâmetros

Os parâmetros analisados são PH, condutividade eléctrica, turvação, depósito, cor, nitratos nitritos, cloretos, amoníaco, dureza total, potássio, cálcio, magnésio, sulfatos, sódio e carbonatos.

4.2.5.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico é formado pela presença de sólidos e gases dissolvidos no meio hídrico que, por sua vez, são oriundos da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese e, em especial, dos efluentes de origem antrópica (SPERLING, 1996). Segundo Lima (2001), o potencial hidrogeniônico (pH), pode variar seu valor na faixa de zero a quatorze e representa o equilíbrio entre os íons H^+ e OH^- .

Se abaixo de sete, a água é tida como ácida; se acima, alcalina; e, caso seu valor se mantenha na faixa de sete, é tida como neutra (CETESB, 2009).

Desta forma, existem restrições fixas de pH que são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, de modo a garantir o fornecimento de água com segurança as populações, tanto que de acordo com o diploma ministerial nº 180/2004 fixou os parâmetros da qualidade da água em 6.5 a 8.5.

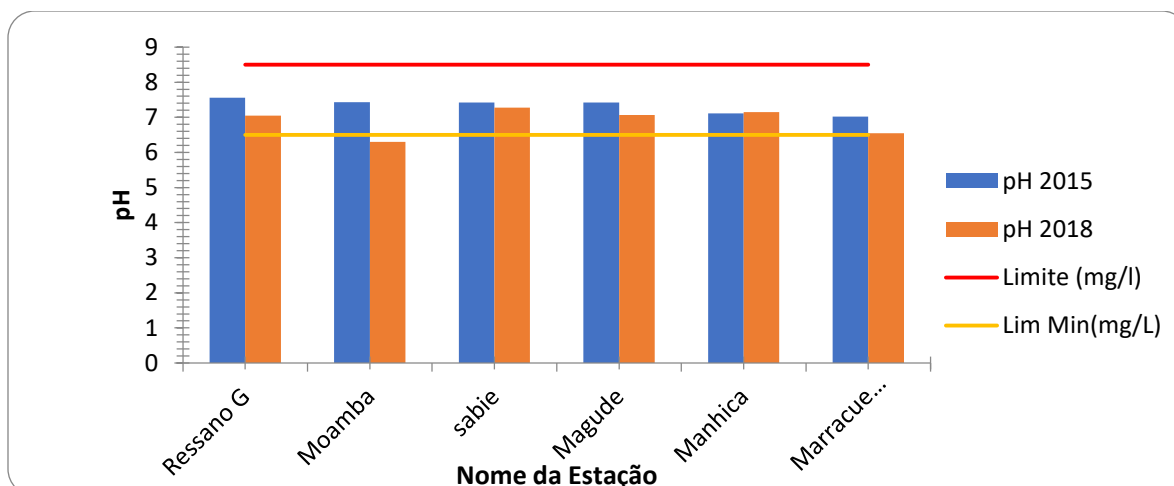


Figure 25 Análise de pH na Bacia do Incomáti.

Das análises feitas no laboratório as amostras da água tirada ao longo da bacia constatou-se que o pH varia sem obedecer uma proporção e encontra se dentro do limite máximo admissível nos dois anos separados em Três anos.

O baixo ou alto nível de pH tem impactos negativos a saúde das populações pois pode causar a irritação da pele, deste modo torna-se importante o seu controlo e correção de modo a evitar os males que pode trazer a saúde das pessoas

4.2.5.2 Condutividade eléctrica

A condutividade é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente eléctrica. Depende das concentrações iónicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna da água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados.

A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (Brito *et al*,2007).

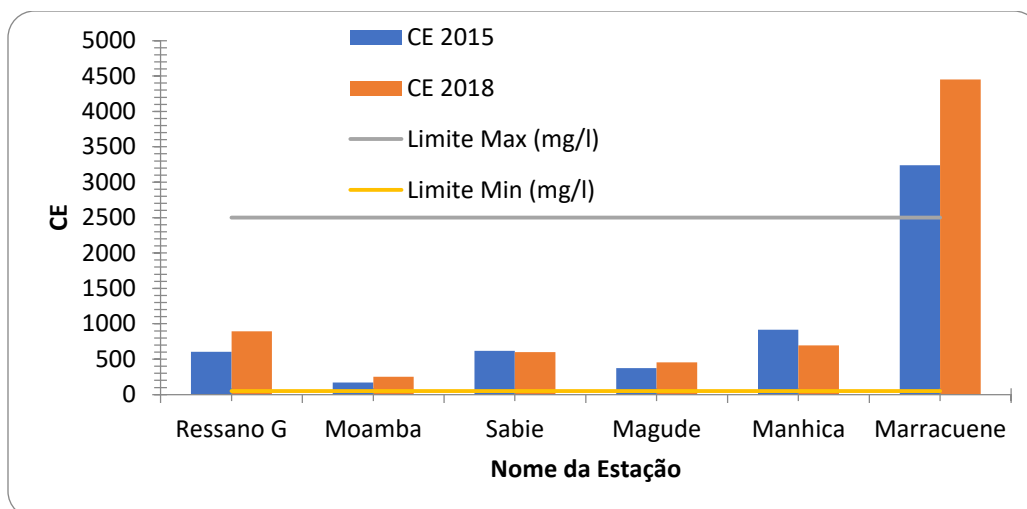


Figure 26 Análise de CE na Bacia do Incomáti.

A condutividade eléctrica variou ao longo do período em análise nas estações ao longo da bacia, onde das amostras água tiradas nestas estações e analisadas no laboratório constatou-se que a condutividade eléctrica está dentro dos limites admissíveis. O que mostra não haver necessidade de alarme por parte das populações que consome água desta estação. Saliendo o alto nível de condutividade eléctrica no ponto de monitoramento de Marracuene.

4.2.5.3 Nitratos

Os nitratos são tóxico, causando uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato se reduz a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul). Por isso, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 50 mg/L o valor máximo permitido pelo DM n^o 180/2004.

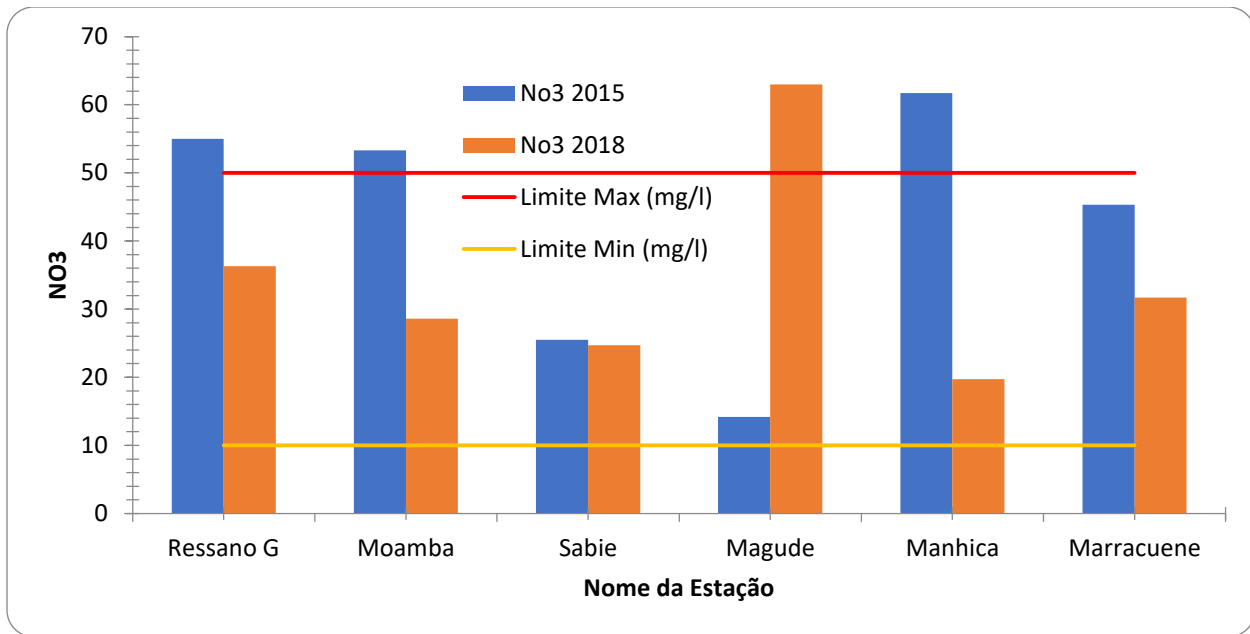


Figure 27 Análise de NO3 na Bacia do Incomáti.

O gráfico acima mostra a variação de concentração de nitratos na água das estações ao longo da bacia. Onde das amostras tiradas e analisadas no laboratório constatou-se que estes estão dentro dos limites admissíveis. Salientando o alto nível nos distritos de Magude e Manhica em períodos de tempo muito diferente. Assim como Ressano Garcia e Moamba no mesmo período.

4.2.5.4 Dureza total

A dureza total de água é proporcional à concentração de sais de cálcio e magnésio. A dureza total dum água deve-se a bicarbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos. O cálcio e o magnésio são vitais para o organismo humano, na sua estrutura óssea e circulação coronária. Por esta razão, águas com baixas quantidades destes elementos quando consumidas permanentemente, colocam problemas para a saúde pública (Rocha e Leite, 2008).

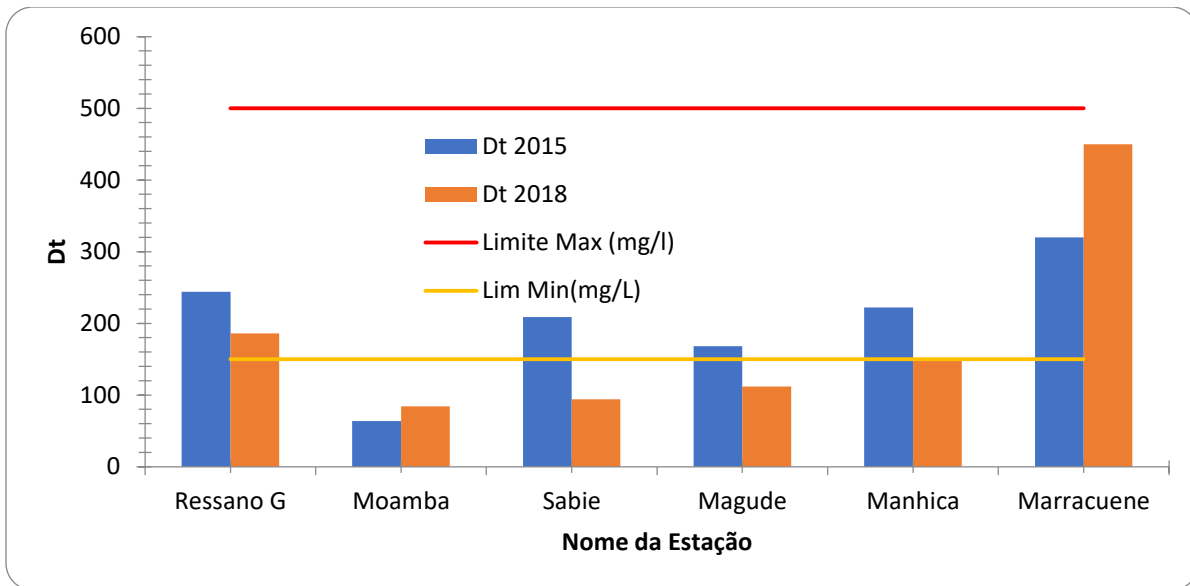


Figure 28 Análise de Dt na Bacia do Incomati.

O gráfico acima mostra a variação de dureza total ao longo da bacia em duas análises de anos diferentes sendo que os distritos de Moamba Magude e Manhica apresentou se a baixo do limite mínimo admissível para o ano de 2018 e para o distrito de Moamba verifica se uma repetição no ano 2015.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise do sistema de monitoramento da qualidade de água na Bacia do Rio Incomáti

A Bacia do Incomáti é internacional e percorre longas distâncias no território nacional com desenvolvimento de varias actividades como exploração de inertes actividades agrícolas, descarga de efluentes industriais, efluentes de diversas industrias, lixo resultantes da urbanização.

1. O monitoramento dos níveis de agua e precipitação baseado em métodos tradicionais esta no sistema internacional usualmente aceitável para os países baixos, no entanto carece de boa fiabilidade no acompanhamento do tempo estabelecido de leituras, devido a condições impostas aos leitores (distancia a estação, equipamentos e valores remuneráveis). Os resultados destas actividades não são satisfatórios.
2. Rede telemetria, nesta bacia foi instalada cinco pontos de telemetria para o acompanhamento de níveis, destes somente dois estão em funcionamento, e apresentam uma falha no nivelamento topográfico da escala e a leitura que o aparelho admite. Sendo assim pouco são considerados as leituras liminigrafos. Medições de caudais, as medições de caudais não apresentam uma frequência de acompanhamento dos níveis nesta bacia, associado ao desenvolvimento de frequência de ocorrência de cheias e actividades de extração de inertes, factor que não permite o desenvolvimento de uma curva de vazão confiável.
3. Monitoramento de qualidade de agua superficial e subterrânea, essa actividade esta temporariamente suspensa devido a técnicas e econômicas sendo consideráveis ate o presente momento o segundo semestre fora desta actividade nesta bacia. O monitoramento de qualidade de agua superficial assim como subterrânea apresentava resultados não aceitáveis devido a qualidade de equipamentos ou manutenção dos mesmos o que permitiu a suspensão dessa actividade desde Marco do presente ano.

Com tudo a bacia apresenta uma rede muito ampla e bem equipado de sistemas suficientes para o acompanhamento de todos eventos nesta bacia.

5.2 Soluções para melhorar o sistema de monitoramento de qualidade de água

O mecanismo da aquisição de dados relacionados à qualidade da água em bacias hidrográficas tem se mostrado digno de estudo mais aprofundado. A busca de um maior conhecimento sobre os fenómenos envolvidos depende de um processo de amostragem capaz de registrar episódios de curta duração. De uma maneira mais específica, entende-se em estabelecer melhores informações para calibração de modelos hidrológicos e de transporte de sedimentos em bacias hidrográficas e modelos de qualidade da água em rios, reservatórios e lagos. O desenvolvimento de novas tecnologias na área da informática e o seu consequente barateamento tornou possível o registo automático de diversos parâmetros. O nível da coluna de água, o oxigénio dissolvido, a condutividade, a turbidez, o pH e a temperatura são exemplos de parâmetros que podem ser monitorados continuamente ou em intervalos regulares de alguns minutos, o que poderia, presumidamente, fornecer um retrato da qualidade da água no ponto a ser estudado. Entretanto, a operação dos equipamentos necessários ao monitoramento automático tem apresentado dificuldades que tornam difícil a utilização dos dados produzidos. É dentro deste contexto que se insere esta pesquisa: a de permitir uma visão crítica a partir da experiência com o uso de estações automáticas de monitoramento da qualidade da água e as inerentes dificuldades associadas à obtenção de dados confiáveis. Fica evidente, após a análise dos dados colectados, a necessidade de se entender os processos electrónicos de configuração da arquitetura dos sensores que possibilitem uma eficaz reprodução da realidade física e química de um corpo de água.

5.3 Monitoramento automático

O processo de aquisição de informações hidro ambientais baseia-se em equipamentos capazes de monitorar diversos parâmetros e armazenar os resultados das medidas em memória electrónica. Tais equipamentos são conhecidos como "data-loggers". Peças

fundamentais das estações automáticas de monitoramento, os “data-loggers” são capazes de armazenar dados coletados durante algumas semanas ou alguns poucos meses, dependendo do intervalo de tempo entre medições subsequentes. Sensores específicos para cada parâmetro a ser monitorado são conectados aos diversos canais de registo dos "data-loggers". Cada um dos sensores fornece uma determinada resposta electrónica ao estímulo recebido quando do contacto com a água.

As respostas são registadas periodicamente para, posteriormente, serem traduzidas em valores numéricos quando se faz a colecta dos dados armazenados, com auxílio de um computador portátil. Uma questão relevante no contexto da aquisição automática de informações hidro ambientais está justamente nos procedimentos de calibração e manutenção dos sensores electrónicos.

A modernização tecnológica do sistema de monitoramento da qualidade da água visa incorporar inovações que tornem o processo mais eficiente, contínuo e preciso. Um dos principais avanços propostos é a instalação de sensores automáticos multiparamétricos, que permitem a medição simultânea e em tempo real de diversos parâmetros essenciais da qualidade da água, como pH, turbidez, condutividade eléctrica, oxigênio dissolvido, temperatura e nutrientes. Esses equipamentos reduzem a dependência de amostragens manuais, minimizam erros humanos e fornecem dados com maior frequência e resolução temporal.

Além disso, a implementação de estações telemétricas com capacidade de transmissão de dados em tempo real por satélite, GSM ou redes baseadas em Internet das Coisas (IoT) possibilita o acesso remoto e imediato às informações coletadas, otimizando o processo de tomada de decisão e resposta a eventos críticos, como descargas acidentais de poluentes ou alterações bruscas na qualidade da água.

Complementando essa abordagem, o uso de drones e imagens de satélite surge como uma ferramenta inovadora para o monitoramento remoto de corpos d'água, permitindo identificar alterações no uso do solo, degradação de áreas ripárias, processos erosivos e fontes de poluição difusa. Essas tecnologias oferecem uma visão integrada e em

larga escala da bacia hidrográfica, contribuindo para o planeamento ambiental, fiscalização e gestão integrada dos recursos hídricos.

No entanto, critérios e exemplos específicos para a natural extensão à realidade dos rios não é evidente, ficando um hiato na literatura que consolida a principal argumentação para a motivação deste artigo. Numa outra aplicação, Pendlebury (2000) destaca a importância da calibração de sensores de pressão para redes de distribuição de água, sem, no entanto, explorar as reais condições para a calibração dos sensores, a luz da topologia da rede e suas condições hidráulicas. Mais recentemente, Hargesheimer (2002) produz uma interessante revisão sobre aspectos de monitoramento em tempo real para empresas de água, explorando aspectos conceituais de monitoramento electrónico.

No entanto, os aspectos inerentes de calibração e manutenção, também não foram expostos de forma clara. Entende-se, portanto, que uma visão crítica mais detalhada destes aspectos, a luz da experiência sendo adquirida com as estações automáticas do rio, deve propiciar elementos para um melhor entendimento da realidade física, química e biológica de um corpo de água.

5.4 Experiência de uso de sensores para monitoramento de qualidade de água

Bacia do rio Barigui

A bacia do rio Barigui localiza-se na Região Metropolitana de Curitiba e drena até a sua foz 260 km² em uma extensão de 66 km. As suas nascentes situam-se no município de Almirante Tamandaré e sua foz no rio Iguaçu na divisa entre os municípios de Araucária e Curitiba, como ilustram a figura 1 e a seguir. Um aspecto interessante a ser ressaltado está na relevância ambiental que se configura a partir dos mecanismos de degradação em função dos processos de uso e ocupação do solo os quais impõem alterações de quantidade e qualidade da água que requerem um monitoramento mais detalhado, só possível através de sensores automáticos.

do o mapa representado pela figura 8.

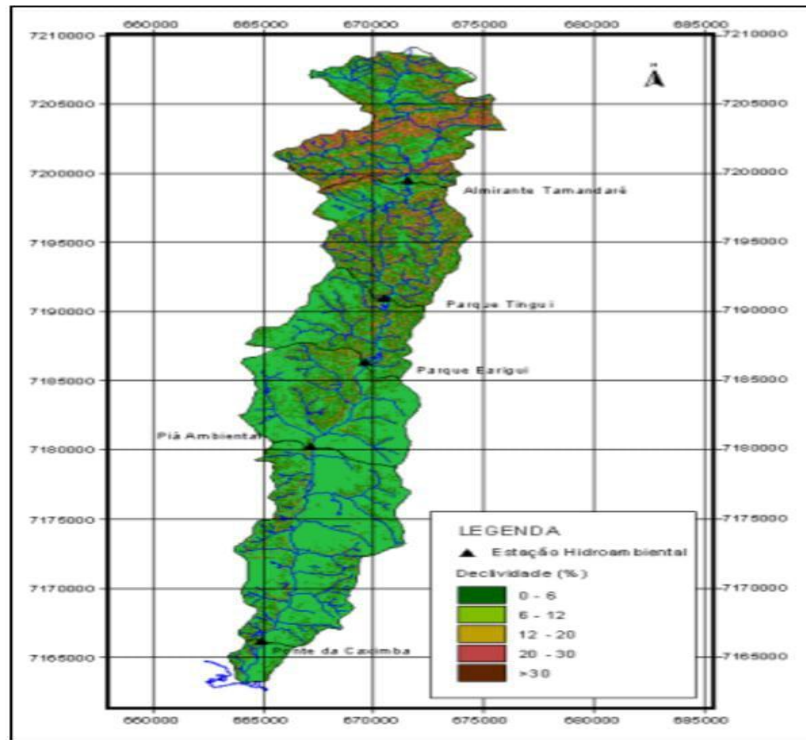


Figura 8 – Declividade (fonte: CEHPAR,2002)

brasileiro de Recursos Hídricos



Figure 29 Mapas da bacia do Rio Barigui.

A primeira estação a entrar em operação foi a que está localizada em Almirante Tamandaré a qual começou a registrar dados em 24/12/2001. As outras foram sendo montadas progressivamente até que em meados de 2002 todas as estações estavam operando normalmente.

Tabela 8 Rede de estações de monitoramento de qualidade de água automática.

Estação	Estação Sensor de nível modelo WL300 (canal 1)	Sensor de Temperatura modelo. WQ101 (canal 2)	Sensor de pH modelo WQ201 (canal 3)	Sensor de Condutividade modelo WQ301 (canal 4)	Sensor de Oxigênio Dissolvido Modelo WQ401 (canal 5)	Pluviômetro electrónico modelo (canal contador 9)
Tamandaré	•	• (*)	•	•	•	•
Barigui Piá	•	•	•	•	•	•
Ambiental	•	•	•	•	•	•
Fazendinha	•	•	•	•	•	•

Os resultados de monitoramento automático nesta bacia mostram uma boa adaptação das exigências esperadas quanto aos objectivos da monitorização, as bacias hidrográficas ganhariam muito quando implantar este sistema de monitorização.

5.5 Funcionamento

5.5.1 Central de comando

Como definido no sistema genérico, será necessária a implementação de uma central de comando responsável por obter e converter os dados dos sensores em valores reais correspondentes às métricas monitoradas. Essa central terá também a função de armazenar as métricas em uma base de dados e atuar como interface com o utilizador, permitindo acesso às informações em tempo real.

A central será desenvolvida na linguagem C#, escolhida por sua versatilidade e ampla biblioteca de pacotes, que facilita a implementação de múltiplas funcionalidades. Entre estas, destaca-se a capacidade de envio automático de e-mails de alarme sempre que os valores máximos de determinados parâmetros forem ultrapassados. A interface do sistema deverá apresentar de forma clara a evolução temporal das variáveis monitoradas, utilizando gráficos dinâmicos que possibilitem uma visualização intuitiva e eficaz, conforme ilustrado na figura abaixo.

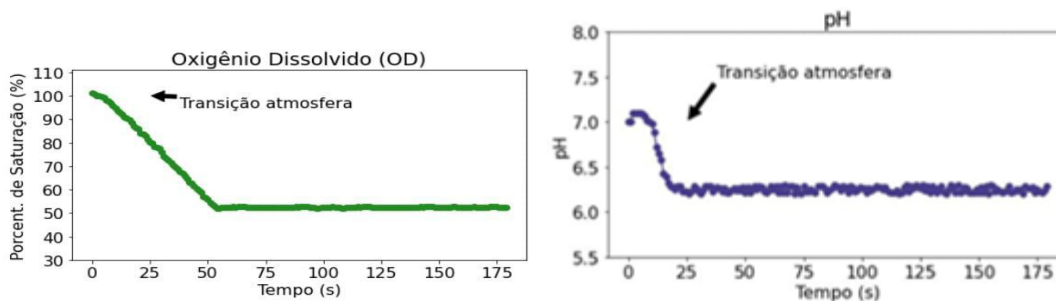


Figure 30 Monitoramento automático de (OD) e pH.

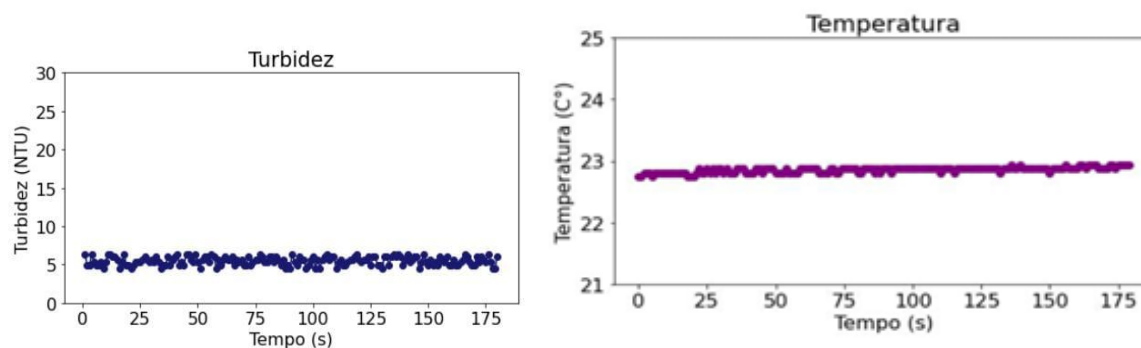


Figure 31 Monitoramento automático de Turbidez e Temperatura.

5.5.1.1 Análise do sistema de monitoramento de qualidade de água através de sistemas automáticos

O sistema de monitoramento de qualidade de água automático faz a recolha de dados em tempo real e armazena por um tempo longo dependendo da capacidade de disco os parâmetros são colhidos separadamente e armazenados.

Ao longo do tempo os gestores vão descarregar os dados nos discos externos criando banco de dados e como o monitoramento de qualidade de água esta associado com os níveis de água, os dados vão permitir analisar de acordo com a variação do nível.

O sistema de monitoramento de qualidade de água automático através de sensores que coletam e armazenam dados em tempo real oferecem diversas vantagens em comparação com o sistema de monitoramento manual, tem sido da recomendação viável para casos onde o acesso a estas estações não é acessível, e estas incluem maior precisão e frequência de coleta de dados e caracteriza-se por menor número de mão-de-obra e custos operacionais reduzidos.

6.0 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusão

A Bacia do Rio Incomáti apresenta uma grande variedade de actividades desenvolvidas ao longo do seu percurso, propensa a poluição das águas, exigindo uma boa dinâmica no acompanhamento nas variabilidade hidrológicas.

O sistema de monitoramento da qualidade da água atualmente em uso na bacia do Incomáti, apesar de ser um método tradicional quando ser bem acompanhada apresenta resultados aceitáveis apesar de limitações significativas. Por depender fortemente de procedimentos manuais, exige maior tempo e esforço, além de estar sujeito à variabilidade humana nas análises, o que pode comprometer a precisão dos resultados e retardar a identificação de problemas críticos. Ainda assim, esse método continua sendo uma ferramenta importante, sobretudo em áreas onde os recursos financeiros, tecnológicos e humanos são escassos.

Na realidade observada na bacia, constata-se que as longas distâncias entre os pontos de monitoramento acarretam custos elevados com combustível, logística e mão de obra. Soma-se a isso o fato de a gestão da bacia não dispor de recursos adequados para acompanhar com eficiência a dinâmica da qualidade da água.

Como evidência, destaca-se que o monitoramento é realizado apenas uma vez por trimestre, e que, no segundo trimestre, as actividades de coleta e análise foram completamente suspensas. Diante desse cenário, torna-se urgente a adoção de soluções mais modernas e sustentáveis, como a automatização de medições e o uso de tecnologias em tempo real, para garantir uma gestão hídrica eficaz, contínua e baseada em dados confiáveis.

6.2 Recomendações

A bacia hidrográfica do Incomáti abrange uma extensa área para o monitoramento da qualidade e quantidade da água, exigindo deslocamentos longos estimados em aproximadamente 1.000 km, para garantir a coleta de dados e sua inspeção e manter um banco de dados actualizado. Para lidar com esse desafio, foi estabelecido um plano rotineiro de busca de informações, porém, os custos associados a essas actividades são elevados. Como resposta, diversas estratégias foram adotadas, incluindo a redução da frequência das coletas, encurtamento de itinerários e até mesmo a suspensão de alguns pontos de monitoramento.

Para minimizar os custos operacionais e tornar o sistema mais eficiente, recomenda-se a adopção de tecnologias de monitoramento automático da qualidade da água. O uso de sensores multiparamétricos, capazes de coletar e armazenar dados em tempo real, apresenta diversas vantagens em relação ao sistema manual tradicional. Esses dispositivos não apenas aumentam a precisão e a frequência das coletas, como também reduzem significativamente a necessidade de mão de obra e os custos logísticos. Além disso, sua aplicação é especialmente indicada em locais de difícil acesso ou que demandam monitoramento contínuo, fortalecendo a capacidade de resposta frente a variações na qualidade da água.

A implementação desses sistemas deve ser acompanhada por investimentos em infraestrutura de comunicação, capacitação técnica e integração com plataformas digitais para análise e visualização de dados. Com isso, a bacia do Incomáti poderá dispor de uma gestão hídrica mais proativa, sustentável e alinhada às boas práticas internacionais de conservação e uso racional dos recursos hídricos.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional das Águas. (2019). *Visão da ANA sobre os indicadores da qualidade da água*.

Bacci, D. (2008). Educação para a água. In E. Pataca (Ed.), *Estudos Avançados*, 22(64), 211–226.

Bosch, J. M., Hewlett, J. D., McCulloch, J. S. G., & Robinson, M. (1982, 1993). Estudos sobre o impacto da vegetação na água. *Forest Hydrology*, 10, 56.

Bydekerke, L. (2007). *Inkomati case study: Changes in the Inkomati River Basin Mozambique – Observations from GIS and remote sensing analysis*.

Calder, I. R. (1998). *Water resource and land use issues*.

CETESB. (2007). *Índice de qualidade da água*.
http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp

Chandramoul, T. (2007). *Estudos hidrológicos de modelagem*.

Coulibaly, P., & Evora, N. D. (2007). Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records. *Journal of Hydrology*, 341(1–2), 27–41.

Danelon, J. R. B., & Rodrigues, S. C. (2013). Estudo sobre a qualidade hídrica da bacia hidrográfica do córrego Terra Branca, Uberlândia (MG). *Revista Engenharia Ambiental*, 10(1). ISSN 0103-8427.

Djurabekova, F., et al. (2007). *Métodos de registro de precipitação*.

Felisa, G., Ciriello, V., & Federico, V. D. (2013). Saltwater intrusion in coastal aquifers: A primary case study along the Adriatic Coast investigated within a probabilistic framework. *Water*, 5(4), 1830–1847.

Forslund, A., Renöfält, B. M., Barchiesi, S., & Cross, K. (2009). *Securing water for ecosystems and human well-being: The importance of environmental flows*. Stockholm: SIWI.

Guerra, A. J. T. (2006). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

Hakamata, T., Hirata, T., & Muraoka, K. (1992). Avaliação do uso do solo e da qualidade da água dos rios do ecossistema das montanhas.

Harper, W., & Row, W. (1977). *Introduction to hydrology* (2nd ed.). New York: Harper & Row.

Hoguane, A., Gustafsson, J. E., & Johansson, S. (2002). *Mozambique National Report – Phase 1: Integrated problem*.

Jambane, E. V. (2018). *Metodologia de determinação das demandas hídricas na bacia do rio Incomáti nos anos actuais e projeções futuras*. Maputo: s.n.

Machute, H. N. G. (2019). *A cooperação internacional diante dos recursos hídricos transfronteiriços: O rio Incomáti como espaço de observação*. Maputo: s.n.

Mahmuduzzaman, M., Ahmed, Z. U., Nuruzzaman, A. K. M., & Ahmed, F. R. S. (2014). Causes of salinity intrusion in coastal belt of Bangladesh. *American Journal of Climate Change*, 3(2), 145–157. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.32013>

Mattos, V. S., & Villela, S. M. (1977). *Introduction to hydrology* (2nd ed.). New York: Harper & Row.

Omer, N. H. (2019). *Water quality parameters*. Khartoum, Sudan: IntechOpen.

Sharp, W. E. (1971). A topologically optimum water sampling plan for rivers and streams. *Water Resources Research*, 7(6), 1641–1646.

Souza, E. R. de, & Fernandes, M. R. (2000). Sub-bacias hidrográficas: Unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. *Informe Agropecuário*, 21(204), 23–29.

Tauacale, F. P. I., Mussa, A., Sithole, T., & Mathe, M. (2007). *Perfil ambiental da bacia do Inkomati em Moçambique*. Maputo: Departamento de Geografia, Universidade Eduardo Mondlane.

Tiwari, D. S. (2015). Water quality parameters: A review. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 5(5), 1–6. e-ISSN: 2349-6185.

Tonello, K. C. (2005). *Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira da Pombas, Guanhões, MG* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa.

Turton, A. R., Meissner, R., Mampane, P. M., & Seremo, O. (2004). *A hydropolitical history of South Africa's international river basins*. Pretoria: African Water Issues Research Unit.

Vaz, C. (2000). *Manual de hidrologia*. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane.

Vilaça, M. F., Nunes, T. P., & Silva, R. C. (2009). Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: O estudo de caso do Ribeirão Conquista no município de Itaguara - MG. *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, Viçosa.

WWF. (2021). *Relatório sobre gestão integrada da bacia do Incomati*. Maputo: Fundo Mundial para a Natureza.

ANEXOS

Tabela 9 Anexo 1. Tabela de estações de monitoramento de níveis de água.

Ordem	Nº da Est	Rio	Localização	Prov/Distrito	Coordenadas	
					Lat	Long
1	E- 22	Incomáti	Moamba	Map/Moamba	25° 34' 22"	32° 15' 21"
2	E- 23	Incomáti	R. Garcia	Map/Moamba	25° 26' 15"	31° 59' 26"
3	E- 24	Incomáti	R. Garcia	Map/Moamba	25° 26' 25"	32° 00' 10"
4	E- 25	Incomáti	Chanculo	Map/Moamba		
5	E- 26	Inco Incon	Sabie	Map/Moamba	25° 19' 26"	32° 15' 16"
6	E- 27	Incomáti	Chinhanguane	Map/Moamba	25° 17' 01"	32° 30' 23"
7	E- 28	Incomáti	Manhiça	Map/Manhiça	25° 24' 14"	32° 48' 46"
8	E- 29	Bobole	Bobole	Map/Marracuene	25° 36' 46"	32° 40' 20"
9	E- 43	Incomati	Magude	Map/Magude	25° 01' 50"	32° 39' 17"
10	E- 44	Incomati	Chobela	Map/Manhiça	25° 01' 16"	32° 45' 03"
11	E- 45	Incomati	Incoluane	Map/Manhiça	25° 04' 00"	32° 55' 18"
12	E- 46	Mozimuchope	Motaze	Map/Magude	24°46'70.1"	32° 52' 36."
13	E-173	Incomati	Xinavane Bomba 1	Map/Magude		
14	E- 175	Massintonto	Macaene (Montante)	Map/Moamba	24° 50' 06"	32° 08' 13"
15	E-176	Incomati	Incoluane			
16	E-177	Incomati	Incoluane			
17	E- 178	Incomati	Incoluane	Map/Manhiça	25° 04' 42"	32° 53' 27"
18	E- 237	Chassimbe	Chassimbe	Map/Magude	25° 03' 17"	32° 39' 43"
19	E- 241	Incomati	Chobela (M.D)	Map/Manhiça	25° 00' 41"	32° 44' 37"
20	E- 394	Uanetze	Mapulanguen e (Jusa)	Map/Magude	24° 29' 20"	32° 05' 29"
21	E- 396	Incomati	Moamba Major	Map/Moamba	25° 33' 16"	32° 11' 55"
22	E- 413	Sabie	Confluencia (Sabie)	Map/Moamba	25° 19' 00"	32° 17' 29"
23	E- 428	Uanetze	Mapulanguen e (Jusa)	Map/Magude	25° 26' 15"	31° 59' 26"
24	E- 499	Massintonto	Macaene (Jusante)	Map/Magude	24° 49' 59"	32° 08' 02"
25	E- 556	Incomati	Pateque	Map/Marracuene	25°34' 82"	32°42' 07"
26	E- 559	Incomati	Chihau	Map/Manhiça		
27	E- 564	Incomati	Maragra	Map/Manhiça	25° 28' 21"	32° 48' 36"
28	E- 572	Incomati	Marracuene	Map/Marracuene	25°44' 005"	32° 40' 884"
29	E- 630	Sabie	B.Corumana (Monta)	Map/Moamba	25° 13' 12"	32° 07' 57"
30	E- 634	Sabie	B.Corumana (Jusant)	Map/Moamba	25° 12' 57"	32° 08' 10"
31	E- 635	Sabie	Ligongolo	Map/Moamba	25° 12' 18"	32° 08' 45"
32	E- 636	Sabie	Daimane	Map/Moamba	25° 20' 00"	32° 05' 00"
33	E- S/Nº	Major	EN4	Map/Moamba	25°35' 2.1"	32°05' 52"
34	E- S/Nº	Incomati	Maragra	Map/Manhiça		
35	E- S/Nº	Cuenga	3 de Fevereiro	Map/Manhiça		

Tabela 10 Anexo 2: Tabela de pontos de monitoramento de pluviosidade

Orden	N. da Es.	Localização	Prov/Distrito	Altitude (m)	Coordenadas	
					Lat	Long
1	P- 9	Xinavane	Map/Manhica	18	25° 02' 29"	32° 48' 17"
2	P- 10	Madala	Map/Manhica	17	25° 03' 27"	32° 51' 06"
3	P- 11	Chibanza-1	Map/Manhica	21	25° 01' 30"	32° 45' 54"
4	P- 12	Aguiar-2	Map/Manhica	24	25° 01' 01"	32° 42' 56"
5	P- 13	Aguiar-1	Map/Manhica	21	25° 02' 43"	32° 43' 54"
6	P- 14	Mepambe	Map/Manhica	19	25° 01' 19"	32° 47' 03"
7	P-15	Wamagogo	Map/Manhica	16	25° 06' 00"	32° 52' 28"
8	P- 16	Chianissane-2	Map/Manhica	17	25° 01' 00"	32° 51' 00"
9	P- 53	Macaene	Map/Moamba	122	24° 47' 82"	32° 06' 72"
10	P- 63	Manhiça	Map/Manhica	41	25° 24' 20"	32° 48' 33"
11	P- 137	Sabie	Map/Moamba	80	25° 19' 22"	32° 15' 17"
12	P- 217	Bondoa	Map/Moamba	80	25° 20' 00"	32° 31' 0.0"
13	P- 251	Panjana	Map/Magude	124	25° 54' 07"	32° 20' 98"
14	P- 266	Mahel	Map/Magude	120	24° 38' 00"	32° 40' 0.0"
15	P- 307	Calanga	Map/Manhica		25° 26' 10"	32° 53' 11"
16	P- 311	Alvor	Map/Manhica	32	25° 24' 00"	32° 45' 00"
17	P- 314	Motaze	Map/Magude	28	24° 48' 07."	32° 53' 31."
18	P- 317	palmeira	Map/Manhica	38	25° 15' 36."	32° 52' 18."
19	P- 328	Chinhanguanine	Map/Moamba	56	25° 54' 39"	32° 29' 19"
20	P- 378	Taninga	Map/Manhica			
21	P-383	Manhiça	Map/Manhica		25° 28' 20"	32° 48' 35"
22	P- 522	Bobole	Map/Marracuene	22	25° 37' 00"	32° 40' 0.0"
23	P- 541	Checua	Map/Manhica			
24	P- 542	Chulamati	Map/Manhica			
25	P- 547	Pateque	Map/Marracuene	15	25° 34' 40"	32° 42' 0.0"
26	P- 589	Magude	Map/Magude	25	25° 01' 49."	32° 39' 16.9'
27	P- 600	Mapulangueue	Map/Magude	138	25° 28' 21"	32° 48' 36"
28	P- 606	Cumane-Mapul.	Map/Magude	220	25° 44' 00"	32° 40' 884"
29	P- 779	Chobela	Map/Magude	40	25° 13' 12"	32° 07' 57"
30	P-797	Macia	Map/Gaza		25° 12' 57"	32° 08' 10"
31	P- 821	Moamba	Map/Moamba	110	25° 12' 18"	32° 08' 45"
32	P- 856	R.Garcia	Map/Moamba	130	25° 20' 00"	32° 05' 00"
33	P- 865	Marracuene	Map/Marracuene	26	25° 35' 2"	32° 05' 52."
34	P- 975	Mangonzo	Map/Magude	230		
35	P- 1023	Maragra	Map/Manhica	2		

Tabela 11 Anexo 3: Tabela de pontos de monitoramento de qualidade de água subterrânea.

ID	Piezometro			Janeiro	Fevereiro	3 a 5	Abril	16 a 19	Junho	9 a 12	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	4 a 5	Dezembro
	Numero	Localizacao	Aquiferos														
1	25PZ/ARA-Sul	Chinhanganine	Semi-Conf	seco				seco		seco		seco					Seco
			Freático	seco				seco		seco		seco					
2	10PZ/ARA-Sul	Gulana (Matilde)	Semi-Conf			8.6				8.44		8.64					8.67
			Freático			8.54				8.45		8.46					
3	8PZ/ARA-Sul	Macandzene	Semi-Conf			16.85				16.7		16.72					16.76
			Freático			12.5				11.96		12.3					
4	6PZ/ARA-Sul	Messine	Semi-Conf			19.43				19.5		19.63					19.57
			Freático			18.98				18.98		19.08					
5	5PZ/ARA-Sul	Maluana	Semi-Conf			15.64				15.59		15.96					15.94
			Freático			12.53				12.54		13.29					
6	7PZ/ARA-Sul	Munguine	Semi-Conf			26.56				26.55		26.62					26.72
			Freático														
7	12PZ/ARA-Sul	Banhel	Semi-Conf			22.51				22.47		22.48					22.54
			Freático														
8	17PZ/ARA-Sul	Nhavambe	Semi-Conf			6.25				6.43		6.22					6.91
			Freático			6				6.4		6.64					
9	9PZ/ARA-Sul	Checheche	Semi-Conf									12					12.1
			Freático										5.99				
10	21PZ/ARA-Sul	Macandza	Semi-Conf			19.92				16.63		14.89					14.96
			Freático			14.8				14.75		14.82					
11	22PZ/ARA-Sul	Camunguine	Semi-Conf			8.5				8.6		8.12					8.2
			Freático			3.49				3.57		3.84					
12	19PZ/ARA-Sul	Lagoa Pathi	Semi-Conf			5.26						5.6					5.61
			Freático			5.3						5.62					
13	20PZ/ARA-Sul	Chiau	Semi-Conf			12.2				12.5		12.38					12.43
			Freático			7.16				7.14		7.35					
14	23PZ/ARA-Sul	Manhiça	Semi-Conf			28.3				28.12		28.1					28.14
			Freático														
15	24PZ/ARA-Sul	Bobole	Semi-Conf			18.31				18.24		18.4					18.48
			Freático														
16	3PZ/ARA-Sul	Pazimane	Semi-Conf			14.85				14.84		15					15
			Freático			12.72				12.66		12.86					
17	4PZ/ARA-Sul	Faftine	Semi-Conf			1.95				2.09		2					2.12
			Freático			2.12				2.28		2.3					

Tabela 12 Anexo 4. Tabela de controle de variação de parâmetros (pH) ao longa da Bacia do Incomáti

Nome da estação	26-06-15	02-10-18	Limite (mg/l)	Lim Min(mg/L)
	pH 2015	pH 2018		
Ressano Garcia	7.56	7.05	8.5	6.5
Moamba	7.43	6.3	8.5	6.5
sabie	7.42	7.28	8.5	6.5
Magude	7.42	7.07	8.5	6.5
Manhica	7.11	7.15	8.5	6.5
Marracuene	7.02	6.55	8.5	6.5

Tabela 13 Anexo 5. Tabela de controle de variação de parâmetros (CE) ao longa da Bacia do Incomáti

Nome da estação	26-06-15	02-10-18	Limite Max (mg/l)	Limite Min (mg/l)
	CE 2015	CE 2018		
Ressano Garcia	604	895	2500	50
Moamba	170	250	2500	50
sabie	618	600	2500	50
Magude	376	454	2500	50
Manhica	916	693	2500	50
Marracuene	3240	4450	2500	50

Tabela 14 Anexo 6.Tabela de controle de variação de parâmetros (N03) ao longa da Bacia do Incomáti

Nome da estação	26-06-15	02-10-18	Limite Max (mg/l)	Limite Min (mg/l)
	No3 2015	No3 2018		
Ressano Garcia	55	36.3	50	10
Moamba	53.3	28.6	50	10
sabie	25.5	24.7	50	10
Magude	14.2	63	50	10
Manhica	61.7	19.7	50	10
Marracuene	45.3	31.7	50	10

Tabela 15 Anexo 7.Tabela de controle de variação de parâmetros (Dt) ao longa da Bacia do Incomáti

Nome da estação	26-06-15	02-10-18	Limite Max (mg/l)	Limite Min (mg/l)
	Dt 2015	Dt 2018		
Ressano Garcia	244	186	500	150
Moamba	63.68	84	500	150
sabie	208.95	94	500	150
Magude	168	112	500	150
Manhica	222	150	500	150
Marracuene	320	450	500	150

Tabela 16 Anexo 8.Tabela de pontos de monitoramento de qualidade água superficial

Estação	Localização	Hora	Data	Temperatura	Nitrato	Fosfato	Ferro	Cloro	Amónio	Turvação	pH	C. Eléctrica	O. Dissolvido	O. Dissolvido(%)	TDS	Amoniaco	Cód
E-22	Moamba	10:25	08/08/2018	19,5	0	0,43	0,05	88,25		0	8,12	583	11,4	101,8	378	0	92
E-23	R. Garcia	09:20	08/08/2018	19,4	0	0,1	0,78	152,5		0	7,2	587	6	125,8	382	0	91
E-28	Manhica	11:20	09/08/2018	18,4	0	0,16	0,15	170,9		0	7,5	565	9,12	135,4	367	0	101
E-29	Bobole	14:42	09/08/2018	18,3	0	0,04	0,6	49,51		0	7,05	306	6,9	072,1	198	0	104
E-43	Magude	17:18	08/08/2018	18,8	0	0,27	0	137,4		0	7,18	517	11,96	132,6	337	0	97
E-46	Molaze	16:26	08/08/2018	19,8	0	0,19	0,2	10,02		0	7,01	213	5,22	052,4	139	0	96
E-428	Mapulangene	14:15	08/08/2018	19,5	0	0,06	0,07	91,82		0	7,72	797	12,03	129,4	516	0	95
E-499	Macaene	13:13	08-08/2018	18,3	0	0,12	0,2	20,3		0	7,6	272	7,41	098,7	176	0	94
E-564	Maragra	12:10	09/08/2018	18,7	0	0,11	0,3	196,5		0	7,37	591	10,11	067,3	384	0	102
E-572	Marracuene	15:06	09/08/2018	18,8	0	0,37	0	684		0	7,43	1302	10,4	052,7	845	0	105
E-630	Alb. Montante	11:50	08/08/2018	19,3	0	0,12	0	21,33		0	8,15	264	11,19	096,1	170	0	93
E-634	Alb. Jusante	12:01	08/08/2018	19	0	0	0	20,87		0	8,1	334	12,28	107,3	154	0	93
Bomba 8	Wamagogo																
Bomba 9	Taninga	10:12	08/08/2018	18,4	0	0,14	0,18	224,9		0	7,23	744	5,04	013,6	484	0	100
Bomba 9A	Taninga	09:50	09/08/2018	18,7	0	0,4	0,06	267,5		0	7,1	988	6,46	073,1	644	0	99
Bomba 10	Taninga	09:32	09/08/2018	18,8	0	0,12	0	914,1		0	7,02	1958	9,28	111,3	1274	0	98
AD 3	Maragra	12:19	09/08/2018	27,9	0	0,1	0,26	281,6		0	6,65	654	1,24	125,8	424	0	103

Tabela 17 Anexo 9: Tabela Áreas e consumo de água por agricultores

ID	Nome do Utente	Área Irrigada (ha)	Consumo (m3/ano)
1	Açucareira de Xinavane	17,959.30	14,966,023.47
2	Açucareira de Maragra	6,440.00	4,051,854.80
4	Inácio de Sousa	181.56	114,232.11
5	Agrisul Ida	105.00	74,625.00
6	Aluzana Enterprise LDA	60.00	50,000.00
	Pure Diets	147.50	122,917.00
7	FIPAG		5,694,000
	Total	24.409,86	25,073,652,37

Figure 32 Anexo 10: Representação geral da Bacia do Incomati





Figure 33 Anexo 11: Açude de Incoluane

A outra infra-estrutura hidráulica com um papel importante a desempenhar é o açude de Chuali localizado no distrito de Manhiça no rio Mazimuchope (carecendo de reabilitação), cujo objectivo é aumentar a capacidade de armazenamento da lagoa Chuali até 200 Mm³. Este empreendimento vai garantir a pesca, a rega o abeberamento de gado e recreações



Figure 34 Anexo 12: Represa de Macaene

Represa de Macaene localizado no rio Massitnto no distrito de Magude é o segundo afluente da bacia do Incomati a norte do rio Incomati com a capacidade 7.00Mm³, tem como actividade principal o armazenamento da água para o consumo e agricultura.



Figure 35 Anexo 13: Represa de Mapulanguene

Represa de Mapulanguene localizado no rio Wanetse no distrito de Magude e o terceiro afluente da bacia com uma capacidade de encache de 4.00Mm³, tem como actividade principal o armazenamento da água para o consumo e agricultura.



Figure 36 Anexo 14: Estação pluviometrica