



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

**RESISTÊNCIA A ANTIBIÓTICOS EM ÁGUA DE CONSUMO NA BACIA DO RIO
INFULENE**

Estudante:

Rosângela Zeca Jerónimo Mataruca

Supervisor:

Prof. Doutor Clemêncio Nhantumbo, Eng^o

Co-supervisores:

Lic. Michael Lourenço Dosse, Eng^o

Lic. Dominic Joaquim, Eng^o

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE
TRABALHO DE LICENCIATURA

**RESISTÊNCIA A ANTIBIÓTICOS EM ÁGUA DE CONSUMO NA BACIA DO RIO
INFULENE**

Relatório submetido ao Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane, como requisito parcial para a obtenção do grau de licenciado em Engenharia do Ambiente.

Estudante:

Rosângela Zeca Jerónimo Mataruca

Supervisor:

Prof. Doutor Clemêncio Nhantumbo, Eng^o

Co-supervisores:

Lic. Michael Lourenço Dosse, Eng^o

Lic. Dominic Joaquim, Eng^o

Maputo, Outubro de 2025

Declaração de honra

Declaro por minha honra que o trabalho apresentado em seguida foi realizado com base nos conhecimentos adquiridos ao longo do curso e nos documentos e referências citadas no mesmo.

Maputo, Outubro de 2025

A Autora

Rosângela Zeca Jerónimo Mataruca

Dedicatória

Quero dedicar este trabalho aos meus pais, Zeca Mataruca (em memória) e Rosa Tomé, por tudo que fizeram por mim desde a minha chegada a este mundo.

Agradecimentos

A realização deste trabalho foi possível graças ao apoio e colaboração de indivíduos a quem eu expresso o meu muito obrigado:

Agradeço à Deus por espalhar a sua bênção em mim, para que eu tivesse força e vontade de enfrentar todas as dificuldades com que me deparei durante toda a minha caminhada, até à culminação do presente trabalho de licenciatura.

Agradeço também a minha mãe e irmãos que durante a minha formação sempre estiveram abertos a apoiar-me, incentivando e encorajando-me que eu continuasse com os estudos.

Agradeço aos supervisores, Prof. Doutor Eng. Clemêncio Nhantumbo, Eng. Dominic Joaquim, e o Eng. Michael Dosse pela paciência que demonstraram durante as discussões construtivas e pelo incentivo na realização deste trabalho.

Agradeço a todos meus colegas, em especial aos da Team work, nomeadamente: Rosa Uete e Isabel Guiamba que comigo percorreram toda esta caminhada.

E por fim, agradeço ao meu esposo, Fernando David Cossa, por apoiar-me, incentivado durante a minha formação e que acima de tudo ter sido sempre um exemplo no qual eu poderia seguir.

Resumo

A resistência a antibióticos é um problema de saúde pública que ocorre naturalmente, mas a utilização indevida de antibióticos está a acelerar o processo, conduzindo a internamentos hospitalares mais longos, a custos médicos mais elevados e ao aumento da mortalidade. Embora a resistência aos antibióticos seja uma preocupação global, existe pouca informação sobre a ocorrência de bactérias resistentes aos antibióticos na água para o consumo humano nos países em vias de desenvolvimento. Este trabalho tem como objectivo avaliar a ocorrência da *E. Coli* resistente a antibióticos na água para o consumo humano na região da bacia do Rio Infulene. Amostras foram colhidas em vinte e nove (29) pontos seleccionados para o estudo, nomeadamente, três (3) de água de poços, oito (8) de água da rede pública e dezoito (18) de água de fornecedores privados ou furos. As análises foram feitas em amostras colhidas na época seca, Agosto de 2024, e os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros estabelecidos no Diploma Ministerial nº 180/2004, que prevê os valores limites para parâmetros de qualidade de água de consumo, e com os resultados obtidos no estudo similar realizado em 2022. A condutividade eléctrica, a temperatura e o oxigénio dissolvido se encontram dentro dos padrões estabelecidos pela legislação. Contudo, a turbidez, pH e sólidos totais dissolvidos (TDS) apresentam valores fora dos padrões em alguns pontos. Das amostras analisadas, colhidas em 29 pontos, cerca de 10.45% para pH (6.37 – 8.94), 3.45% para TDS (246.67 – 1160) e 3.45% para turbidez (0.36 – 45.63) encontram-se fora dos padrões. As análises microbiológicas indicaram resultado positivo para coliformes totais em 25 pontos (86,2%), dos quais 8 (32%) testaram positivo para coliformes fecais e *E. Coli*. Não se detetou *E.coli* resistente nas amostras de água para o consumo humano colhidas na época seca e analisadas usando o método ESBL. Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que não há ocorrência de *E. Coli* resistente aos antibióticos na água de consumo humano na região da Bacia do Rio Infulene.

Palavras chaves: Qualidade da água, Antibióticos, *E.coli*, Resistência, Infulene

Abstract

Antibiotic resistance is a public health issue that occurs naturally, but the misuse of antibiotics is accelerating the process, leading to longer hospital stays, higher medical costs, and increased mortality. Although antibiotic resistance is a global concern, there is limited information on the occurrence of antibiotic-resistant bacteria in drinking water in developing countries. This study aims to assess the occurrence of antibiotic-resistant *E. coli* in drinking water in the Infulene River Basin region. Samples were collected from twenty-nine (29) selected points for the study, namely three (3) from well water, eight (8) from public network water, and eighteen (18) from private suppliers or boreholes. Analyses were conducted on samples collected during the dry season, August 2024, and the results were compared with the parameters established in Ministerial Diploma No. 180/2004, which sets the limit values for drinking water quality parameters, and with results obtained from a similar study conducted in 2022. Electrical conductivity, temperature, and dissolved oxygen were within the standards established by legislation. However, turbidity, pH, and total dissolved solids (TDS) showed values outside the standards at some points. Of the samples analyzed from 29 points, approximately 10.45% for pH (6.37 – 8.94), 3.45% for TDS (246.67 – 1160), and 3.45% for turbidity (0.36 – 45.63) were outside the acceptable limits. Microbiological analyses indicated positive results for total coliforms in 25 points (86.2%), of which 8 (32%) tested positive for fecal coliforms and **E. coli**. No resistant *E. coli* was detected in the drinking water samples collected during the dry season and analyzed using the ESBL method. Based on the results obtained, it can be concluded that there is no occurrence of antibiotic-resistant *E. coli* in drinking water in the Infulene River Basin region.

Keywords: Water quality, Antibiotics, *E. coli*, Resistance, Infulene

Abreviaturas

°C – Grau Celsius

CE – Condutividade Eléctrica

CT – Coliformes Totais

E. coli – *Escherichia Coli*

ESBL – *Extended Spectrum β – Lactamases* (Beta-Lactamase de Espectro Extendido)

mg/l – Miligrama por litro

MPN – *Most Probably Number* (Número Mais Provável)

NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez

OD – Oxigénio Dissolvido

PCR – *Polymerase Chain Reaction* (Reacção em Cadeia da Polimerase)

pH – Potencial Hidrogeniónico

RT-PCR – *Real Time PCR* (Reacção em Cadeia da Polimerase em Tempo Real)

TDS – *Total Dissolved Solids* (Sólidos Totais Dissolvidos)

N/A – Não aplicável

Índice de tabelas

Tabela 1. Limites admissíveis para água de consumo humano	7
Tabela 2. Mecanismo de acção dos antibióticos	12
Tabela 3. Classificação dos antibióticos β – lactâmicos	13
Tabela 4. Divisão Administrativa da Bacia do Rio Infulene	19
Tabela 5. Pontos de Amostragem	20
Tabela 6. Resumo das análises microbiológicas	29
Tabela 7. Resultados para água do poço	K
Tabela 8. Resultados para a água do furo	K
Tabela 9. Resultados para água da rede pública	L

Índice de figuras

Figura 1. Inibidores das β -lactamases com os respectivos antibióticos à qual são associados e a sua estrutura química	15
Figura 2. Mapa de Localização da Bacia do Rio Infulene.....	18
Figura 3. Mapa dos Pontos de Amostragem	20
Figura 4. Reagente Colilert -18.....	22
Figura 5. Quanti-Tray	23
Figura 6. Amostras positivas para E. coli	24
Figura 7. Meios de Cultura com amostras	27
Figura 8. Distribuição Espacial da Poluição a) CT e b) E.Coli	36
Figura 9. Sistema de drenagem de água residual na Bacia do Rio Infulene	37
Figura 10. Rua existente na Bacia do Rio Infulene.....	37

Índice de gráficos

Gráfico 1. Valores de CT para água da rede pública em escala logarítmica	30
Gráfico 2. Valores de E.Coli para água da rede pública em escala logarítmica	31
Gráfico 3. Valores de CT para água do furo em escala logarítmica	32
Gráfico 4. Valores de E.Coli para água do furo em escala logarítmica	32
Gráfico 5. Valores de CT para água do poço em escala logarítmica.....	33
Gráfico 6. Valores de E.Coli para água do poço em escala logarítmica	34
Gráfico 7. Valores de resistência a antibióticos pelo método ESBL	35
Gráfico 8. Valores de temperatura para água da rede pública	A
Gráfico 9. Valores de temperatura para água do furo	B
Gráfico 10. Valores de temperatura para água do poço	B
Gráfico 11. Valores de pH para água da rede pública	C
Gráfico 12. Valores de pH para água do furo	D
Gráfico 13. Valores de pH para água do poço.....	D
Gráfico 14. Valores de CE para água da rede pública	E
Gráfico 15. Valores de CE para água do furo.....	E
Gráfico 16. Valores de CE para água do poço	F
Gráfico 17. Valores de TDS para água da rede pública	F
Gráfico 18. Valores de TDS para água do furo.....	G
Gráfico 19. Valores de TDS para água do poço	G
Gráfico 20. Valores de OD para água da rede pública	H
Gráfico 21. Valores de OD para água do furo	H
Gráfico 22. Valores de OD para água do poço.....	I
Gráfico 23. Valores de Turbidez para água da rede pública	I
Gráfico 24. Valores de Turbidez para água do furo.....	J
Gráfico 25. Valores de Turbidez para água do poço	J

Índice

Dedicatória	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo	iv
Abreviaturas	vi
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objectivos	2
1.2.1 Objectivo geral	2
1.2.2 Objectivos específicos	2
1.3 Metodologia	2
1.3.1 Revisão bibliográfica	2
1.3.2 Visita de campo.....	3
1.3.3 Análises laboratoriais	3
1.3.4 Análises estatísticas.....	3
1.3.5 Limitações	3
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Qualidade da água.....	4
2.2 Antibióticos e Resistência Antibiótica.....	8
2.3 Contaminação da Água por Antibióticos	16
2.4 Estudos e Pesquisas Relacionadas	17
CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDO	18
3.1 Descrição da Área de Estudo	18
3.2. Pontos de colecta de amostras	19
CAPÍTULO 4: PARTE EXPERIMENTAL	22
4.1 Análises In – Situ	22
4.2 Análise Laboratoriais.....	22
4.2.1 Detecção e quantificação de <i>E. coli</i> (Colilert, IDEXX)	22
4.2.2 Detecção e quantificação de <i>E. coli</i> produtora de ESBL	24
CAPÍTULO 5: ANÁLISE E DISCUSSÃO RESULTADOS	28
5.1 Água da Rede Pública	29
5.2 Água dos Furos.....	31
5.3 Água dos Poços.....	33

5.4 Resistência Bacteriana aos Antibióticos	34
5.5 Distribuição Espacial da Contaminação.....	36
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	38
6.1. Conclusões	38
6.2. Recomendações	39
CAPÍTULO 7: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O rápido crescimento populacional nas últimas décadas tem sido responsável pelo aumento da pressão das atividades antrópicas sobre os recursos naturais. Em todo o planeta, praticamente não existe um ecossistema que não tenha sofrido influência direta e/ou indireta do homem (Goulart & Callisto, 2003).

A água é uma substância muito importante para a sobrevivência de todo o ser vivo. Este bem vem sofrendo desgaste devido à má utilização e constante despejo de agentes contaminantes que por sua vez, inutilizam a sua função. Por isso, é extremamente importante a gestão deste recurso de forma racional e sustentável, pois, quando contaminada, a água constitui uma das principais vias de exposição a várias doenças no homem (Marquezi, Gallo, & Dias, 2010).

O acesso a água potável e ao saneamento seguro continua a ser um dos maiores desafios em África e em Moçambique em particular. Estima-se que Moçambique tenha uma taxa cobertura total de abastecimento de água de cerca de 80.4% nas zonas urbanas e 54.6% nas zonas rurais (DNAAS, 2023). Embora haja progresso no acesso à água potável em Moçambique, ainda há desafios a ser superados para garantir que todos tenham acesso a fontes seguras de água e saneamento adequado, por isso, a colaboração contínua entre organizações, governos e comunidades é essencial para melhorar ainda mais esses números e garantir que as necessidades básicas sejam atendidas para todos e reduzir a incidência de doenças de origem hídrica (UNICEF Mozambique, 2022; World Economic Forum, 2021) . Apesar do esforço do Governo para reduzir as doenças de veiculação hídrica, anualmente registam-se casos deste tipo de doenças principalmente em época húmida (Casadei, 2016).

O abastecimento de água na bacia do Infulene ocorre por diferentes vias: rede pública, furos e poços escavados individualmente. A rede pública, embora trate a água, sofre interrupções frequentes, fugas e baixa pressão, que favorecem a contaminação ao longo da distribuição (Taviani, et al., 2022). Já os furos e poços, muitas vezes construídos sem normas técnicas, estão vulneráveis a infiltração de águas residuais,

principalmente em áreas com latrinas próximas, solos saturados ou sem vedação adequada (Nhantumbo, et al., 2023).

Em contextos urbanos e suburbanos como a bacia do rio Infulene, onde coabitam zonas formais e informais, os riscos de contaminação da água são acentuados pela degradação ambiental, esgotos a céu aberto e uso descontrolado do solo (Nhantumbo, et al., 2023). Embora o risco de contaminação microbiológica de água seja muito alto, actualmente os estudos e dados sobre o nível de contaminação microbiológica da água para o consumo humano na bacia do rio Infulene são limitados (Langa, 2022).

É neste contexto que no trabalho objectiva-se a investigação da existência de bactérias com característica de resistência a antibióticos em água de consumo nos bairros que fazem parte da Bacia Hidrográfica de Infulene.

1.2 Objectivos

1.2.1 Objectivo geral

Avaliar a ocorrência de *E. Coli* resistente a antibióticos em água de consumo ao longo da Bacia do Rio Infulene.

1.2.2 Objectivos específicos

- Determinar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade de água;
- Determinar a ocorrência da *E. Coli* com resistência à antibióticos em amostras de água de consumo por método clássico;
- Comparar os resultados obtidos com os estabelecidos pela legislação vigente em Moçambique e estudo anteriormente realizado.

1.3 Metodologia

Para a realização do trabalho seguiu-se a seguinte metodologia:

1.3.1 Revisão bibliográfica

A pesquisa bibliográfica consiste na recolha de informações em artigos de revistas científicas, publicações da internet, trabalhos de licenciatura anteriores e livros de microbiologia, sobre os aspectos que caracterizam a resistência antimicrobianos em

água de consumo e os métodos de análise para os parâmetros a ser estudados e as técnicas de determinação da resistência antimicrobiana.

1.3.2 Visita de campo

Foi possível a realização de uma visita de campo, no mês de Agosto, onde foi feita a recolha de amostras de água no local de estudo e a determinação de parâmetros em campo. Aliado a colecta das amostras, foi conduzido um inquérito, informal, a população residente na área de estudo.

1.3.3 Análises laboratoriais

No laboratório foram realizadas as seguintes análises: Coliformes Totais e *E. Coli*, usando método do MPN/100mL e *E. Coli* produtora de ESBL. Adicionalmente foi analisada em laboratório a turbidez.

1.3.4 Análises estatísticas

A fase consiste na organização, análise e descrição dos dados, com recurso a técnicas de estatística descritiva para o cálculo dos valores médios dos parâmetros. Associado a isso, foram elaborados gráficos para análise dos parâmetros e comparação com o estabelecido na legislação.

1.3.5 Limitações

A onda de manifestações vividas em Moçambique, de modo mais expressivo na cidade de Maputo, impossibilitou a realização da segunda campanha, prevista para o mês de Novembro, e a posterior esta foi impossibilitada pela caducação dos reagentes para as análises.

Pela falta de experiência não foi possível a determinação da resistência bacteriana pelo método do RT- PCR.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade da água

Água

A **água** é um recurso natural abundante no planeta, essencial para a existência e sobrevivência das diferentes formas de vida. Pode existir na natureza nos três estados físicos (sólido, líquido e gasoso). A mudança de estado depende do seu aquecimento ou resfriamento (Batista, s.d.).

Essa substância é tida como um solvente universal, capaz de dissolver diferentes materiais, que vão desde os sais no mar até às moléculas indispensáveis para as atividades no corpo humano. Esse recurso natural é capaz de manter a temperatura estável, pois tem a capacidade de armazenar calor quando ocorrem mudanças de temperatura (Batista, s.d.).

A qualidade da água pode definir-se como o conjunto das suas características físicas, químicas e biológicas e a sua adequação para determinados usos directos ou potenciais. A poluição da água é definida como a inadequação da sua aplicabilidade para algum objecto considerado (Mendes & Oliveira, 2004). A forma mais perigosa de poluição da água ocorre quando fezes entram no abastecimento de água. Muitas doenças são transmissíveis pela via oral-fecal, em que um patógeno é disseminado por fezes humanas ou animais, contamina a água e é ingerido (Tortora, Case, & Funke, 2016). A presença de microorganismos patogénicos na água destinada ao consumo humano está associada a surtos de doenças gastrointestinais, cólera, hepatite A e outras infecções bacterianas e virais (WHO, 2020).

Parâmetros em análise

Os parâmetros analisados, em água de consumo humano, mais comuns e que são alvos de estudo neste relatório são:

- Temperatura;
- pH;
- Sólidos totais dissolvidos;
- Condutividade eléctrica;
- Turbidez;
- Oxigénio dissolvido;

- Coliformes totais;
- Coliformes fecais (*E. coli*).

a) Temperatura

A temperatura da água superficial é influenciada por factores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A temperatura desempenha um papel principal de controlo no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta de 0 a 30 °C, a viscosidade, a tensão superficial, a compressibilidade, o calor específico e a constante de ionização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam (Lima, 2005) citado por (Chibantão, 2012).

b) pH

O pH é um parâmetro físico-químico que indica a concentração de iões H^+ em uma amostra, ou seja, é indicador da acidez ou basicidade de uma solução. Não apresenta efeitos tóxicos, mas é um indicador de uma água anormal (Chibantão, 2012).

c) Sólidos totais dissolvidos

Os STD são a quantidade de iões dissolvidos na água, incluindo sais inorgânicos e pequenas quantidades de matéria orgânica (Hach, s.d.; Rodrigo, s.d.). É a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água. Mede a concentração de substâncias iônicas e é expressa em mg/L (Parron, Muniz, & Perreira, 2011)

A principal aplicação da determinação dos TDS é de qualidade estética da água potável e como um indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes. As fontes de TDS na água podem ser naturais ou resultantes de actividades humanas. As fontes naturais incluem depósitos de sal, nascentes minerais, intrusão de água do mar e depósitos de carbonato (Safe Water, 2017). As fontes humanas são tidas como fontes primárias de TDS em águas receptoras e incluem escoamentos agrícolas e residenciais, de lixiviados de contaminação do solo e de fontes pontuais de descarga de poluição das águas industriais ou estações de tratamento de água residual. As substâncias dissolvidas podem conter íons orgânicos e íons inorgânicos (como o carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio e sódio) que em concentrações elevadas podem ser prejudiciais à

vida aquática. (Safe Water, 2017; Best RO Water Purifier, 2023; Parron, Muniz, & Perreira, 2011)

Os TDS em níveis elevados podem afectar a turvação, aumentar a temperatura da água e diminuir os níveis de Oxigénio Dissolvido, como também, retardam a fotossíntese de plantas aquáticas ao reduzir a transferência de luz. Os TDS em concentrações demasiado elevadas ou demasiado baixas podem limitar o crescimento das plantas aquáticas e resultar na morte de muitos organismos marinhos (Hach, s.d.).

d) Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica (CE) é a medida da capacidade de uma solução aquosa em transmitir corrente eléctrica. Ela é proporcional à concentração das substâncias iónicas dissolvidas na água e é importante estudá-la, pois fornece indicação da presença de poluentes na água sem os quantificar (Chibantão, 2012).

e) Turbidez

Turbidez é a presença de matéria em suspensão na água, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e outras partículas (Portal de Tratamento de Água, 2015).

f) Coliformes

Os coliformes são um grupo de bactérias gram-negativas que podem ser encontradas em diversos ambientes, incluindo água e alimentos. Eles são utilizados como indicadores de contaminação fecal, pois estão presentes no trato intestinal de animais de sangue quente, incluindo humanos (Araujo, s.d.; Portal São Francisco, 2015).

Os coliformes podem ser classificados em:

- Coliformes totais
- Coliformes fecais

Coliformes totais são um grupo de bactérias gram-negativas que podem ser aeróbicas ou anaeróbicas, não originam esporos e fermentam lactose, produzindo ácidos e gás à 35/37°C (Araujo, s.d.).

Coliformes fecais são também conhecidos como coliformes Termo tolerantes por suportarem uma temperatura superior à 40°C, convivem em simbiose com humanos,

bois, gatos, porcos e outros animais de sangue quente. São excretados em grande quantidade nas fezes e normalmente não causam doenças (quando estão no trato digestivo).

Neste grupo está presente a bactéria gram-negativa *Escherichia coli* e ao se ingerir alimentos por ela contaminados, os resultados desagradáveis (como uma gastroenterite, por exemplo) podem ser brandos ou desastrosos, dependendo do grau de contaminação (Araujo, s.d.).

Padrões de potabilidade da água em Moçambique

Em Moçambique, a qualidade da água para o consumo humano é regulamentada pelo Diploma Ministerial 180/2004, de 15 de Setembro, do Ministério da Saúde. Este instrumento propõe que, toda água destinada ao consumo humano, distribuída colectivamente por meio de sistema de abastecimentos de água, deve ser objecto de controle da qualidade da água.

Dessa forma, toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimentos de água, independente da forma de distribuição, está sujeita à controle sanitário. Assim a água potável deve estar em conformidade com o padrão organoléptico de potabilidade estabelecido na Norma moçambicana padrões de qualidade da água.

A tabela 1 mostra o limite admissível para alguns parâmetros físicos-químicos e microbiológicos de para água de o consumo humano, tanto para os sistemas cuja a água passa por um tratamento quanto para os sistemas sem tratamento de água.

Tabela 1. Limites admissíveis para água de consumo humano

Limites admissíveis			
Parâmetro	Água para consumo humano com tratamento	Água para consumo humano sem tratamento	Unidades
pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	um.pH
Temperatura	N/A	N/A	°C
OD	N/A	N/A	Mg/l
CE	50 – 2000	50 – 2000	µS/cm
TDS	1000	1000	Mg/l
Turbidez	5	5	NTU
CT	Ausente	N/A	MPN/100ml
EC	Ausente	0 – 10	MPN/100ml

Fonte: Diploma Ministerial nº 180/2004, de 15 de Setembro

2.2 Antibióticos e Resistência Antibiótica

Superbactérias

O termo “superbactérias” aplica-se a bactérias que são resistentes a vários antibióticos, sendo que podem ser classificadas como multirresistentes, extensamente resistentes ou pan-resistentes. As bactérias multirresistentes são resistentes a pelo menos um antibiótico de três ou mais classes diferentes. As extensamente resistentes são suscetíveis apenas a uma ou duas classes de antibiótico, enquanto que as bactérias pan-resistentes apresentam resistência a todos os antibióticos de todas as classes (Silva, 2017). As superbactérias mais frequentes são as Gram-negativas, consideradas como a causa mais frequente de infecções graves relacionadas com a prestação de cuidados de saúde. Também, as bactérias Gram-positivas como *Acinetobacter spp.*, as da família *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Neisseria gonorrhoeae* e *Staphylococcus aureus* apresentam resistências aos Antibióticos β -Lactâmicos que são consideradas preocupantes.

Enterobacteriaceae

As bactérias da família *Enterobacteriaceae*, que incluem *Enterobacter spp*, *Klebsiella spp*, *Escherichia coli*, *Proteus spp*, *Serratia marcescens*, *Salmonella spp*, *Citrobacter spp*, entre outras, são bacilos Gram-negativo anaeróbios facultativos, catálase positiva e oxidase negativa, não produzem esporos e são fermentadores de glicose. São habitantes da flora intestinal e patogênicos oportunistas importantes, capazes de causar numerosas infecções, tais como cistite e pielonefrite, septicemia, pneumonia, peritonite, colangite, meningite e várias infecções intra-abdominais, quer no Homem, quer noutros animais.

Escherichia coli é a causa frequente de infecções do trato urinário. É uma espécie com enorme plasticidade genética, capaz de adquirir plasmídeos conjugativos, e transferi-los para outras espécies bacterianas. *Klebsiella spp* e *Enterobacter spp* são causas importantes de pneumonia, enquanto *Salmonella* entérica provoca gastroenterite e, em alguns pacientes, certos serotipos podem mesmo originar uma infecção invasiva (Gastalho, J., & Ramos, 2014)

Antibióticos

Os antimicrobianos são substâncias que têm a capacidade de inibir o crescimento e/ou destruir microrganismos. Podem ser produzidos por bactérias ou por fungos ou podem ser total ou parcialmente sintéticos (de Melo, Duarte, & Queiroz, 2012).

O principal objectivo do uso de um antimicrobiano é o de prevenir ou tratar uma infecção, diminuindo ou eliminando os organismos patogênicos e, se possível, preservando os germes da microbiota normal. Para isso é necessário conhecer os germes responsáveis pelo tipo de infecção a ser tratada (de Melo, Duarte, & Queiroz, 2012).

Os antimicrobianos são classificados em antibióticos, antifúngicos, antiparasitários e antivirais, sendo cada um específico para um determinado grupo de microorganismos, funcionando de formas diferentes no combate da infecção (Sabadini, 2023).

Os antibióticos são substâncias pouco biodegradáveis e muito persistentes. Após o seu uso, parte significativa do fármaco original e seus metabólitos são eliminados pelo organismo através da urina e das fezes humanas e de animais, chegando às estações de tratamento de águas residuais (ETARs) e seus efluentes, por meio do esgoto doméstico, mas principalmente de hospitais (de Oliveira V. B., et al., 2023).

Essa classe de antimicrobianos tem seu uso na promoção de crescimento na produção de gado, na produção avícola e são bastante usados como aditivos de alimento de peixe na aquicultura e criação de porcos. Por isso, podem contaminar o solo, águas de subsolo e superficiais. Por causa do uso na cultura de peixes, alguns antibióticos como a cloranfenicol e o oxitetraciclina são encontrados em sedimentos de origem marinha (de Oliveira V. B., et al., 2023).

Classe dos Antibióticos

β- lactâmicos

Os β-lactâmicos são uma classe ampla de antibióticos que inclui penicilinas, cefalosporinas, carbapenemas e monobactames. Eles funcionam interferindo na capacidade das bactérias de formar uma parede celular adequada (Redação Sara, 2025).

Macrolídeos

Os macrolídeos naturais caracterizam-se pela presença de lactonas macrocíclicas de origem poliketídica de 14 ou 16 membros, ligadas a um açúcar e um amino-açúcar (Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010). Os macrolídeos são uma classe de antibióticos que inclui medicamentos como a eritromicina e a azitromicina (Redação Sara, 2025).

São usados em infecções respiratórias como pneumonia, exacerbação bacteriana aguda de bronquite crônica, sinusite aguda, otites médias, tonsilites e faringites. *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus pyogenes*, *Haemophilus influenzae* e *Moraxella catarrhalis* são os patógenos predominantes envolvidos nestas doenças (Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010). Eles atuam inibindo a síntese de proteínas pelas bactérias, o que impede seu crescimento e reprodução (Redação Sara, 2025).

Aminoglicosídeos

Os aminoglicosídeos são agentes que possuem um grupo amino básico e uma unidade de açúcar. Os aminoglicosídeos apresentam atividade melhorada em pH levemente alcalino, em torno de 7,4, onde estão positivamente carregados, facilitando a penetração em bactérias Gram negativo. A estreptomicina é a principal representante da classe (Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010).

Os antibióticos aminoglicosídicos actuam inibindo a síntese de proteínas. O uso contínuo de antibióticos aminoglicosídeos deve ser cuidadosamente controlado, devido aos efeitos ototóxicos e nefrotóxicos. Esses agentes são efetivos contra bactérias Gram negativo aeróbicas, como *P. aeruginosa*, e apresentam efeito sinérgico com b-lactâmicos (Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010).

Tetraciclinas

As tetraciclinas são antibióticos poliketídicos bacteriostáticos de amplo espectro e bastante eficazes frente a diversas bactérias aeróbicas e anaeróbicas Gram positivo e Gram negativo. Elas actuam inibindo a síntese de proteínas (Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010).

Glicopeptídeos

Os antibióticos glicopeptídicos, vancomicina e teicoplanina têm se tornado os fármacos de primeira linha no tratamento de infecções por bactérias Gram positivo

com resistência a diversos antibióticos. Os glicopeptídeos inibem a biossíntese da parede celular bacteriana pela complexação com o resíduo dipeptídico terminal D-Ala-D-Ala das cadeias peptídicas que constituem a parede celular. Esta complexação impede que o substrato esteja disponível para a ação da transpeptidase inibindo, portanto, a reação de transpeptidação. O desenvolvimento de resistência bacteriana a estes antibióticos é mais lento, apesar de algumas linhagens de *Staphylococcus aureus* (Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010).

Rifampicina

A rifampicina é um fármaco semi-sintético derivado da rifamicina B, produto natural híbrido de policetídeos e peptídeos não ribossomais. A rifampicina é um inibidor da RNA polimerase, utilizada clinicamente como parte da combinação de fármacos para o tratamento da tuberculose. É o único fármaco em uso clínico que bloqueia a transcrição bacteriana (Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010).

Antibióticos sintéticos

Sulfonamidas e trimetoprim

As sulfonamidas são agentes bacteriostáticos que atuam como antimetabólitos do ácido p-aminobenzoico, substrato para a di-hidropteroato sintetase bacteriana, impedindo a formação do di-hidropteroato, um exemplo de sulfonamidas é a sulfametoxazol, que em associação com o trimetoprim, são usadas para o tratamento de pacientes com infecções no trato urinário e também para pacientes portadores do vírus HIV que apresentam infecções por *Pneumocystis carinii*. Cada um desses fármacos bloqueia uma etapa no metabolismo do ácido fólico. O sulfametoxazol bloqueia a enzima di-hidropteroato sintetase, presente apenas nas bactérias, enquanto o trimetoprim inibe a di-hidrofolato redutase (Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010).

Quinolonas e fluoroquinolonas

As quinolonas e fluoroquinolonas são fármacos bactericidas muito utilizados no tratamento de infecções do trato urinário e também no tratamento de infecções causadas por micro-organismos resistentes aos agentes antibacterianos mais usuais (Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010).

Tabela 2. Mecanismo de acção dos antibióticos

Antibióticos	Alvo	Mecanismo de ação
β -lactâmicos (penicilinas, cefalosporinas, carbapeninas, monobactamas)	Enzima transpeptidase	Inibição da formação de ligação cruzada entre cadeias de peptidoglicano, impedindo a formação correcta da parede celular bacteriana.
β -lactâmicos (oxapeninas, sulfoxapeninas)	Enzima β -lactamase	Inibição da enzima de resistência bacteriana, que degrada antibióticos β -lactâmicos.
Macrolídeos, lincosamidas, estreptograminas (dalfopristina e quinupristina), cloranfenicol, oxazolidinonas (linezolida)	Subunidade ribossômica 50S	Inibição da síntese proteica bacteriana.
Aminoglicosídeos, tetraciclinas	Subunidade ribossômica 30S	Inibição da síntese proteica bacteriana
Glicopeptídeos (vancomicina, teicoplanina)	Dipeptídeo terminal D-Ala-D-Ala do peptidoglicano	Complexação com as cadeias peptídicas não liadas e bloqueio da transpeptidação, impedindo a formação correcta da parede celular bacteriana.
Peptídeos não ribossomais (bacitracina, gramicidina C, polimixina B)	Membrana plasmática	Afectam permeabilidade da membrana bacteriana por facilitarem o movimento descontrolado de íons através da membrana.
Lipodepsipeptídeos (daptomicina)	Membrana plasmática	Afecta permeabilidade da membrana bacteriana e bloqueia síntese de ácido lipoteicoico, componente da membrana externa de bactérias Gram-positivo.
Rifampicina	RNA polimerase dependente de DNA	Inibição da síntese de RNA.
Fluoroquinolonas	Enzima DNA girase	Bloqueio da replicação e reparo do DNA.
Sulfonamidas	Enzima di-hidropteroato sintetase	Bloqueio da formação de cofactores do ácido fólico, importantes para síntese de ácidos nucleicos.

Fonte: Guimarães, Momesso, & Pupo, 2010

Antibióticos β -lactâmicos

Os β -lactâmicos são um grupo de antibióticos que se define pela presença do anel β -lactâmico, sendo uma classe de elevada importância devido à sua excelente eficácia terapêutica e baixa toxicidade (Azevedo, 2014).

O anel β -lactâmico determina não só o mecanismo de ação, sendo esse a inibição da síntese do peptidoglicano; como também a baixa toxicidade direta, visto que actuam na parede celular e esta não está presente nas células eucariotas do Homem. É também determinante no principal mecanismo de resistência por parte das bactérias, as β -lactamases. O anel β -lactâmico é constituído por 3 átomos de carbono e um de nitrogénio podendo conter diversos radicais substituintes que o tornam ativo (Azevedo, 2014).

A classe dos antibióticos β -Lactâmicos divide-se nas seguintes subclasses: Penicilinas e derivados, Cefalosporinas, Carbapenemos e Monobactamos. Estes apresentam em comum um anel β -lactâmico, composto por um átomo de Azoto e três átomos de Carbono.

O anel β -lactâmico pode estar fundido com diversos anéis, criando cada grupo desta família. Pode ser um anel tiazolidina, no caso das penicilinas, anel dihidrotiazina, no caso das cefalosporinas, ou anel pirrólico nos carbapenemos. Os monobactâmicos não possuem nenhum anel fundido ao anel principal (Azevedo, 2014).

Tabela 3. Classificação dos antibióticos β – lactâmicos

Classe	Via de administração	
	Parenteral	Oral
Penicilinas		
Sensíveis à β -lactamase		
Espectro estreito	Penicilinas G	Penicilina V
Activas no intestino	Ampicilina	Amoxicilina, ampicilina
Activas no intestino e contra pseudomonas	Carbenicilina, ticarcilina, mezlocilina, azlocilina, piperacilina	Indanil carbenicilina
Resistentes à β -lactamase		
Antiestafilocócicas	Meticilina, nafcilina	oxacilina, Cloxacilina, dicloxacilina
Combinadas com inibidores da β -lactamase	Tiracilina mais ácido clavulânico, mais piperacilina tazobactam	Amoxicilina mais ácido clavulânico

Cefalosporinas				
Primeira geração	Cefazolina, cefapirina	cefalotina,	Cefalexina, cefadroxil	cefradina,
Segunda geração				
Activas contra <i>Haemphilus</i>	Cefamandol, cefonicida, ceforanida	cefuroxima,	Cefalcor, axetil, cefixima, cefprozil, cefpodoxima, loracarbef	cefuroxima
Activas contra <i>Bacteroides</i>	Cefoxitina, cefmetazol	cefotetano,	Nenhum	
Terceira geração				
Espectro ampliado	Ceftriaxona, ceftizoxima	cefotaxima,	Nenhum	
Espectro ampliado e contra pseudomonas	Ceftazidima cefoperazona	e	Nenhum	
Carbapenems	Imipenem-cilastatina		Nenhum	
Monobactâmicos	Aztreonam		Nenhum	

Fonte: Azevedo, 2014

Os inibidores das β -lactamases, como o ácido clavulânico, são também considerados β -lactâmicos, visto possuírem igualmente a estrutura base (Azevedo, 2014).

Os inibidores de β -lactamases são estruturalmente semelhantes às penicilinas, contendo a ligação amida do grupo β -lactâmico, mas possuem uma cadeia lateral modificada, apresentando assim uma estrutura bicíclica. Tais aspetos estruturais permitem aos inibidores ligar-se de forma irreversível às β -lactamases como substratos suicidas, mantendo-as inativas. Permitem assim que a atividade do antibiótico principal seja restaurada.

Existem 3 inibidores que são os mais utilizados na prática clínica, sendo eles o ácido clavulânico, o sulbactam e o tazobactam.

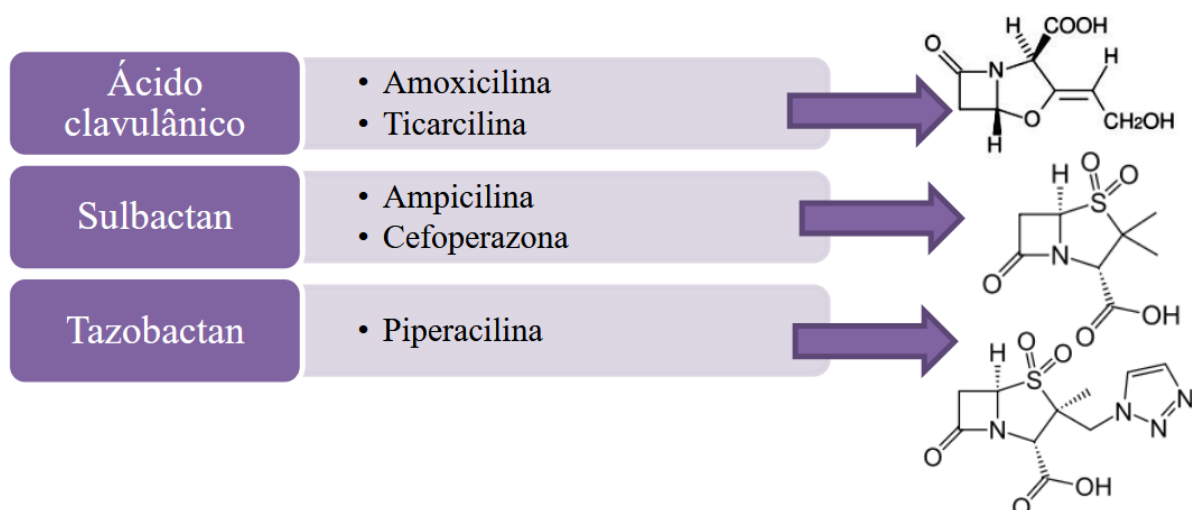


Figura 1. Inibidores das β -lactamases com os respectivos antibióticos à qual são associados e a sua estrutura química

Fonte: Azevedo, 2014

Resistência aos antibióticos

A resistência microbiana a antibióticos (RMA) é o resultado da exposição contínua de microrganismos a substâncias antimicrobianas, o que permite a selecção de cepas resistentes (WHO, 2021).

A resistência bacteriana ocorre quando há o uso de antimicrobianos sem a devida orientação médica e a não realização de exames laboratoriais. Com isso as bactérias começam a ficar mais resistentes aos antibióticos, se tornando então superbactérias, o que torna os antibióticos ineficazes e aumenta o risco de propagação entre pessoas, desencadeando resistência bacteriana por selecção (Camargo, Malrecy, & Machado).

A resistência aos antibióticos é um problema emergente em *Enterobacteriaceae*. A resistência relacionada com ESBLs é um problema particular devido ao espectro alargado destas enzimas, que inactivam grande parte dos antibióticos β -lactâmicos, complicando o tratamento de infecções. No entanto, muitos outros mecanismos de resistência estão presentes nesta família, estando na origem da multirresistência a antibióticos de várias classes.

Os β -Lactâmicos apresentam um largo espectro de acção, tendo acção contra bactérias Gram-positivo e Gram-negativo. As bactérias Gram-negativo apresentam diversos mecanismos de resistência sendo o mais comum a produção de beta-lactamases (Silva, 2017).

As bactérias Gram-negativas da família *Enterobacteriaceae* que carregam genes ESBL em seus plasmídeos ou cromossomos, produzem enzimas hidrolisadoras de β -lactâmicos e são consideradas entre os patógenos mais desafiadores pela Organização Mundial da Saúde. (Husna, et al., 2023).

As enzimas ESBL são produzidas pelos patógenos nosocomiais *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Enterobacter spp*, sendo *E. coli* o hospedeiro mais comum desta enzima, seguido por *Klebsiella pneumoniae* (Husna, et al., 2023).

As diferentes β -lactamases apresentam diferentes alvos de antibióticos. β -Lactamases de espectro estreito são apenas ativas contra Penicilinas, enquanto que as de largo espectro podem ser ativas contra todos os β -Lactâmicos (Silva, 2017).

2.3 Contaminação da Água por Antibióticos

Organismos resistentes a antibióticos entram em ambientes aquáticos a partir de fontes humanas e animais. Essas bactérias são capazes de disseminar seus genes para micróbios nativos da água, que também contêm genes de resistência (Baquero, Martínez, & Cantón, 2008). Por outro lado, muitos antibióticos de origem industrial circulam em ambientes aquáticos, potencialmente alterando os ecossistemas microbianos. Protocolos de avaliação de risco para antibióticos e bactérias resistentes na água, baseados em sistemas aprimorados de detecção de antibióticos e rastreamento da fonte microbiana de resistência a antibióticos, estão começando a ser discutidos. Métodos para reduzir a carga bacteriana resistente em águas residuais e a quantidade de agentes antimicrobianos, na maioria dos casos originados em hospitais e fazendas, incluem a otimização dos procedimentos de desinfecção e da gestão de águas residuais e dejectos. Uma política para evitar a mistura de bactérias de origem humana e de origem animal com organismos ambientais parece aconselhável.

A água constitui não apenas uma forma de disseminação de organismos resistentes a antibióticos entre as populações humanas e animais, visto que a água potável é produzida a partir de águas superficiais, mas também a via pela qual os genes de resistência são introduzidos nos ecossistemas bacterianos naturais.

Essa exposição pode ocorrer directamente no ambiente aquático, por meio de descarga de efluentes hospitalares, domésticos e agrícolas, que contem resíduos de antibióticos, metais pesados e desinfectantes (WHO, 2021). As bactérias podem então trocar genes de resistência por mecanismos como a conjugação, aumentando a proliferação de microorganismos multirresistentes.

Em tais sistemas, bactérias não patogênicas poderiam servir como reservatório de genes e plataformas de resistência. Além disso, a introdução (e acúmulo progressivo) no ambiente de agentes antimicrobianos, detergentes, desinfetantes e resíduos da poluição industrial, como metais pesados, contribui para a evolução e disseminação desses organismos resistentes no ambiente aquático (Baquero, Martínez, & Cantón, 2008).

2.4 Estudos e Pesquisas Relacionadas

Estudos similares realizados em outras partes do mundo, como o Brasil, mostraram que a presença de antimicrobianos em ambientes aquáticos é de grande preocupação, pois, a sua presença pode originar a resistência antimicrobiana o que, por sua vez, pode tornar ineficientes os tratamentos farmacológicos em seres humanos e no uso veterinário, bem como a ineficiência na remoção de microorganismos patogênicos em água, seja para consumo humano, irrigação ou residual para o descarte nos corpos hídricos.

Na bacia do rio Infulene, poucos estudos focam directamente na resistência microbiana na água. No entanto, pesquisas realizadas na cidade de Maputo e em distritos adjacentes, como Moamba, indicam contaminação significativa mesmo em águas tratadas. Foram identificadas a presença de *V.Cholerae* e *Campylobacter jejuni* em amostras de água da rede pública e em poços com resultados positivos mesmo na ausência de *E. coli* (Taviani, et al., 2022).

CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentadas a descrição da área de estudo, Bacia do Rio Infulene, e os pontos de amostragem de acordo com o sistema de abastecimento de água existente.

3.1 Descrição da Área de Estudo

A bacia do Rio Infulene, localmente conhecido como Rio Mulauze, está localizada na província de Maputo. É uma bacia nacional e possui uma área total de 185 km² com um comprimento de 58 km. O regime de escoamento é permanente (ARA - Sul, 2010)

O Rio Infulene tem 20 km de extensão, cobrindo bairros da cidade de Maputo, Matola e Marracuene. A sua bacia é caracterizada por elevada densidade populacional, assentamentos informais e as suas margens são usadas para o desenvolvimento da agricultura urbana. Para além da agricultura, o rio recebe descargas de efluentes industriais e água pluvial do sistema de drenagem da cidade que afectam a qualidade da sua água. (Manuel, 2023)

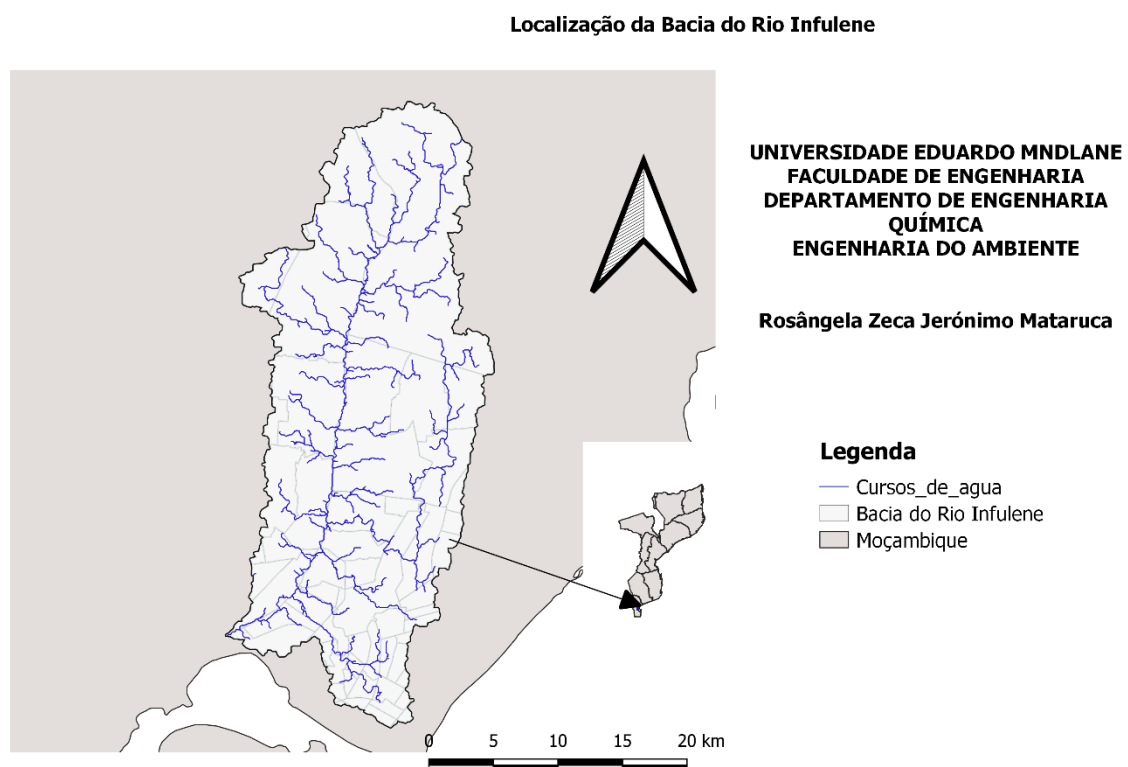


Figura 2. Mapa de Localização da Bacia do Rio Infulene

Fonte: Autoria própria

A bacia do Rio Infulene contempla um total de 58 bairros, distribuídos por 7 distritos, nomeadamente, KaMpfumo, KaNlhamankulu, KaMaxakeni, KaMavota, KaMubukwana, Marracuene e Cidade da Matola.

Tabela 4. Divisão Administrativa da Bacia do Rio Infulene

Distrito	Bairros
KaMpfumo	Malhangalene A, Malhangalene B, Coop, Sommerchild, Alto Maé A, Alto Maé B, Central
KaNlhamankulu	Aeroporto A, Aeroporto B, Munhuana, Chamanculo A, Chamanculo B, Chamanculo C, Chamanculo D, Xipamanine, Mikandjune, Malanga
KaMaxakeni	Maxaquene A, Maxaquene B, Maxaquene C, Maxaquene D, Mafalala, Urbanização
KaMavota	Mahotas, Laulane, 3 de Fevereiro, Hulene A, Hulene B, Mavalane A, Mavalane B, FPLM
KaMubukwana	Zimpeto, Magoanine A, Magoanine B, Magoanine C, George Dimitrov, Malhazine, 25 de Junho A, 25 de Junho B, Inhagoia A, Inhagoia B, Luís Cabral, Jardim, Nsalene, Unidade 7
Marracuene	Anguane
Cidade da Matola	Zona Verde, Ndlavela, Infulene D, T-3, Acordos de Lusaka, Vale do Infulene, Khongolote, Intaka, Muhalaze, 1º de Maio, Mali, Intaka 2

3.2. Pontos de colecta de amostras

As amostras foram colectadas em época seca do ano 2024, em 22 bairros presentes na bacia do rio Infulene, para diferentes sistemas de abastecimento de água. A

escolha dos bairros foi baseada nos resultados de um estudo realizado em 2022, onde os resultados mostraram os bairros cuja a presença de CT e *E. Coli* foi detectada.

Durante a recolha de amostra foi conduzido um inquérito onde foram mapeados os tipos de fonte usada pela população de cada bairro. Nas entrevistas realizadas os itens abordados foram: o tipo de fonte utilizada, a qualidade da água (opinião do usuário com relação à água que ele consome como fonte alternativa), acesso e uso da água disponível. Após o levantamento e mapeamento das fontes de captação de água, 29 amostras foram colectadas para posterior realização de análises físico-químicas e microbiológicas de acordo com os parâmetros estabelecidos Diploma Ministerial nº 180/2004 de 15 de Setembro de 2004, do Ministério da Saúde.

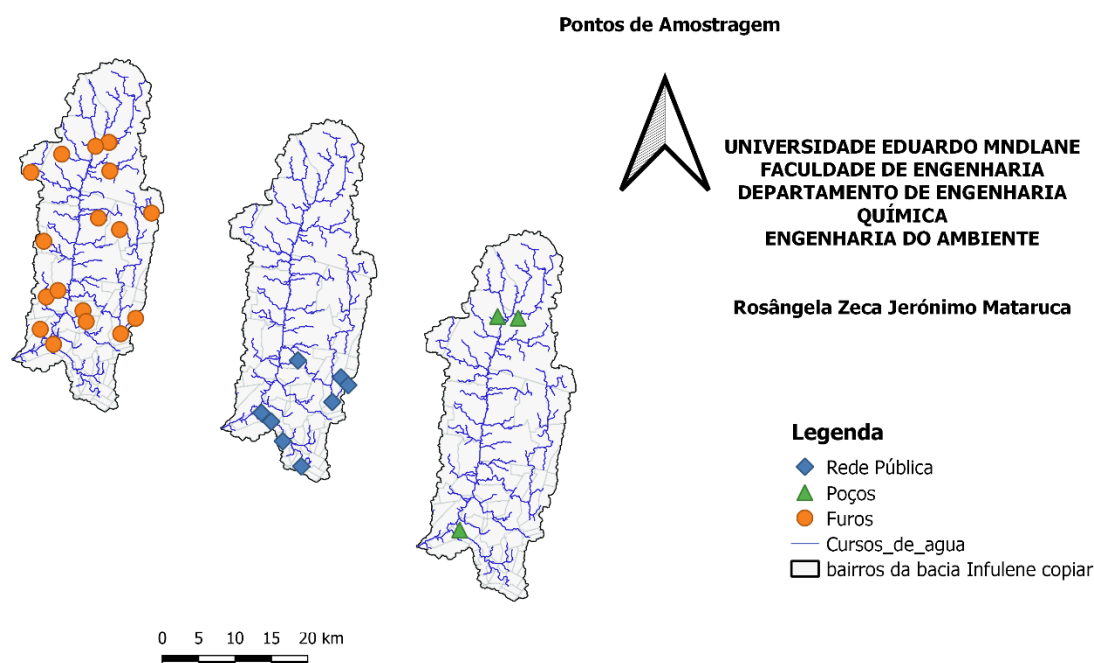


Figura 3. Mapa dos Pontos de Amostragem

Fonte: Autoria própria

Tabela 5. Pontos de Amostragem

Simbologia	Bairros
▲	Mali, Intaka, Inhagoia B
◆	Hulene B, Laulane, Alto-Maé A, Jardim, Xipamanine, Inhagoia B, George Dimitrov, Hulene A

	Mali, Mali, Intaka, Intaka 2, Muhalaze, Khongolote, Ndlavela, Zimpeto, Magoanine C, Magoanine B, Hulene A, Inhagoia B, Vale do Infulene, Zona Verde, Anguane, Bagamoyo, 25 de Junho B, Laulane
---	---

Fonte: Autoria própria

CAPÍTULO 4: PARTE EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentados os métodos utilizados para a medição e determinação dos parâmetros analisados no presente estudo.

4.1 Análises In – Situ

No acto da colecta das amostras foram feitas as medições de alguns parâmetros, os quais a sua medição deve ser feita no ponto de recolha.

A medição foi realizada com recurso ao multiparâmetro, equipamento usado para medir pH, CE, OD, Temperatura e TDS.

4.2 Análise Laboratoriais

Para o estudo, foram realizadas análises para a detecção de *E. coli*, pelo método *Colilert*, e para a detecção da resistência aos antibióticos, pelo método clássico (ESBL) e turbidez com recurso a um turbidímetro.

4.2.1 Detecção e quantificação de *E. coli* (Colilert, IDEXX)



Figura 4. Reagente Colilert -18

Fonte: <https://www.idexx.com/en/water/water-products-services/colilert/>

a) Reagentes e equipamento

- Reagente para detecção e contagem de coliformes totais e *E. coli* (Colilert-18 Test, Product Number: 98-27164-00, Cat. No WP100I-18; IDEXX, Westbrook, ME, USA)
- *Quanti -Tray/2000* (Bandejas)
- Equipamento para IDEXX
- Frascos IDEXX de 100 ml estéreis

- *Quanti -Tray Sealer* (Selador de bandejas)
- Incubadora

b) Procedimento

1. Os frascos de vidro de 100ml e as pipetas foram esterilizados.
 2. A amostra de água foi agitada, foi medido um volume de 100 ml numa cuveta e foi adicionada no frasco esterilizado de 100 ml.
 3. Foi adicionada 1 ampola de reagente Colilert no frasco contendo a amostra.
 4. Agitou-se suavemente, até o reagente Colilert dissolver. Aguardou-se alguns minutos até as bolhas criadas pela agitação se dissiparem.
 5. Adicionou-se a amostra na bandeja Quanti-Tray 2000 e selou-se usando a máquina Quanti-Tray Sealer (figura 5).
 6. Colocou-se a bandeja Quanti-Tray 2000 selada com a amostra na incubadora ($35 \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) por 24 horas.
 7. Após 24 horas, contou-se o número de poços positivos para coliformes totais, representando os poços que apresentaram coloração amarela (pequenos e grandes). Consultou-se a tabela MPN para encontrar o número mais provável de coliformes totais.
 8. Por fim, numa sala escura, colocou-se a bandeja sob luz ultravioleta e contou-se o número de poços fluorescentes para detecção de *E. coli* (figura 6).
- Consultou-se** a tabela MPN para determinar a concentração de *E. coli*.



Figura 5. Quanti-Tray

Fonte: Autoria própria

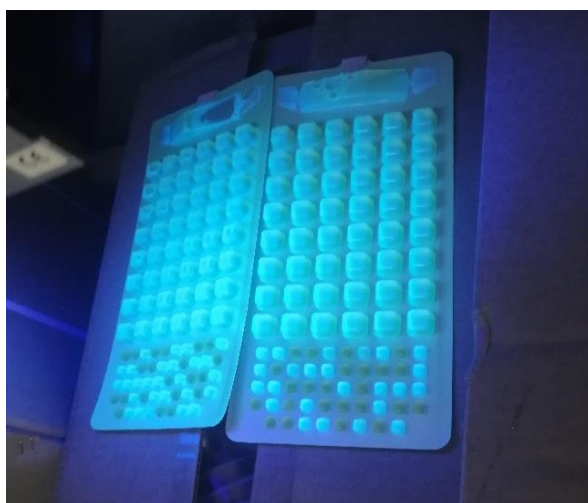


Figura 6. Amostras positivas para *E. coli*

Fonte: Autoria própria

4.2.2 Detecção e quantificação de *E. coli* produtora de ESBL

O procedimento usa um meio cromogênico (alteração de cor) e filtração por meio de membrana para detecção de bactérias gram-negativas que produzem beta-lactamase de espectro estendido. As ESBL são enzimas que mediam a resistência a penicilinas, cefalosporinas de terceira geração de espectro estendido (C3G) e monobactâmicos, conferindo resistência a agentes antimicrobianos. Tem por objectivo determinar a resistência a antibióticos através da detecção de ESBL *E. Coli* em água de consumo humano.

I. Reagentes

- CHROMagar TM ESBL
- Bactident ® oxidase, Empresa: Merck, Art.-No.: 1.13300.0001
- Teste de catálase ou teste para formação de indol
- Placas de Petri
- 100-200 ml de Etanol a 70%

II. Equipamentos e material

- Incubadora
- Pipetas, estéreis, de vidro ou plástico, de volume adequado

- Recipiente de pipetas, aço inoxidável, alumínio ou vidro borossilicato, para pipetas de vidro
- Cilindros graduados estéreis, 100-1000 ml, cobertos com papel alumínio
- Unidades de filtração por membrana (base do filtro e funil), vidro, plástico ou aço inoxidável, envolvidas com papel de alumínio.
- Bomba a vácuo eléctrica ou aspirador para uso como fonte de vácuo
- Frasco de filtro, vácuo, geralmente 1 L, com tubulação apropriada.
- Colector de filtro com várias bases de filtro (opcional)
- Pinça com pontas lisas para manusear os filtros sem danificar
- Recipiente pequeno e de boca larga, para pinças de esterilização por chama
- Queimador, tipo Bunsen, para esterilização
- Placas de Petri, estéreis, plásticas, 15 × 100 mm com tampas soltas
- Frascos com tampa de 1000ml, 500ml, 250ml, 50 ml
- Filtros de membrana, estéreis, brancos, marcados com grade, 47 mm de diâmetro e poro de 0,45 µm
- Alças de inoculação com fio de platina, com diâmetro mínimo de 3 mm em suportes adequados; ou alças de plástico estéreis
- Banho Maria
- Autoclave

III. Procedimento para preparação de Meio de Cultura

- Pesaram-se 33 g de Cromo-Agar em pó e adicionaram-se a um frasco de 1 L esterilizado.
- Adicionou-se 1 L de água destilada ao frasco contendo o agar.
- Fechou-se o frasco e agitou-se até o agar dissolver.
- Autoclavou-se a mistura a 121 °C durante 15 minutos.

Depois de autoclavado, o frasco foi colocado em banho-maria a 45/50 °C.

IV. Preparação de placas de Petri com meio de cultura

- Limpou-se a bancada de trabalho com álcool a 70%.
- Para garantir a esterilidade da área, foi ligado o bico de Bunsen. Alternativamente, o plaqueamento foi realizado dentro de uma cabine de biossegurança.

- Adicionou-se o suplemento preparado anteriormente no frasco de meio de cultura e agitou-se para homogeneizar.
- Arrumaram-se as placas estéreis na bancada e despejou-se o meio de cultura (adicionou-se e fechou-se a placa) até pelo menos metade da placa, tendo o cuidado de proceder perto da chama e rapidamente, para evitar a contaminação do meio.
- Desligou-se o bico de Bunsen e deixaram-se as placas contendo o meio solidificar na bancada (aproximadamente 10 horas) antes de usar.
- Embrulharam-se de 8 a 10 placas em papel de alumínio, de modo a evitar a exposição à luz e à contaminação. As placas preparadas foram mantidas por 24 horas à temperatura ambiente.

V. Detecção de ESBL *E. Coli* em amostras de água

- Retirou-se a amostra congelada do congelador e deixou-se descongelar até atingir a temperatura ambiente.
- Agitou-se a amostra, mediram-se 100 ml e adicionaram-se num frasco estéril para filtração. Caso fosse esperada uma carga elevada de bactérias, a amostra foi diluída na proporção de 10^{-1} .
- Preparou-se o meio de filtração esterilizado e adicionou-se o filtro no sistema de filtração com uma pinça estéril.

- Adicionou-se a amostra e filtrou-se para outro copo. A pinça foi esterilizada novamente e, em seguida, o filtro foi retirado e adicionado à placa de Petri com meio de cultura (evitando bolhas de ar entre a placa e o meio).
- Incubou-se a placa na estufa a $42 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 ± 3 horas em condições aeróbicas.
- Contaram-se as colônias de coloração rosa escuro avermelhado.



Figura 7. Meios de Cultura com amostras

Fonte: Autoria própria

CAPÍTULO 5: ANÁLISE E DISCUSSÃO RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras colectadas no mês de Agosto de 2024 em alguns bairros da bacia do Rio Infulene, cuja a selecção foi baseado em estudo realizado em 2022.

A apresentação dos resultados obedece uma divisão por sistema de abastecimento de água (Rede Pública, Furo de Água e Poço) comparados com os resultados apresentados no estudo realizado no ano 2022 bem como com os limites estabelecidos no Diploma Ministerial nº 180/2004, de 15 de Dezembro de 2004, do Ministério da Saúde. Os resultados são apresentados na forma de gráficos e tabelas de acordo com os sistemas de abastecimento.

Foram analisadas 29 amostras, das quais 8 foram colhidas da rede pública de abastecimento de água, 18 foram colhidas de redes privadas ou furos e 3 amostras colhidas em poços de água e analisados 9 parâmetros, dos quais 6 parâmetros físico-químicos. Dentre os parâmetros físico-químicos analisados, a temperatura, o OD e a CE encontram-se dentro dos limites admissíveis estabelecidos por lei em todos os sistemas de abastecimento de água da Bacia do Rio Infulene, enquanto que o pH, TDS e a Turbidez apresentam resultado fora dos limites em alguns pontos em dois sistemas de abastecimento.

Em amostras colhidas em pontos abastecidos pela rede pública, todos os parâmetros físico-químicos analisados se encontram dentro dos limites admissíveis, o que a torna mais adequada ao consumo humano quando comparada com as demais fontes de abastecimento da região da bacia do Rio Infulene.

Para o sistema privado de fornecimento de água ou furos, foram obtidas e analisadas 18 amostras, cujo os parâmetros CE, OD, turbidez e temperatura encontram-se dentro dos limites admissíveis, com médias de 744.64 $\mu\text{S/cm}$ para CE (390.0 – 1632.30), 6.86mg/l para OD (4.22 – 8.13), 0.63NTU para turbidez (0.35 – 1.25) e 20.99 °C para temperatura (20.0 – 22.3). Das 18 amostras analisadas, foram constatados valores fora dos limites admissíveis pela lei moçambicana em 5.6% para os parâmetros pH (6.37 – 8.94) e TDS (249 – 1160), cujo os valores médios foram de 7.34 para pH e 528.91 para TDS.

Foram, igualmente, obtidas e analisadas 3 amostras de água do poço, cujo os parâmetros CE, OD, pH, TDS e temperatura encontram-se dentro dos limites admissíveis, com médias de 706.77 $\mu\text{S/cm}$ para CE (346.0 – 1400.30), 6.44 mg/l para OD (4.89 – 7.43), 6.89 para pH (6.73 – 7.11), 502.32 mg/l para TDS (266 – 994.3) e 21.20 °C para temperatura (20.7 – 21.8). Contudo, com uma média de 16.72NTUs, a turbidez (1.62 – 45.63) apresenta valor acima do limite admissível (5NTUs), em 33.3% das amostras analisadas para este sistema de abastecimento de água.

Embora os resultados dos parâmetros físico-químicos por si só não causam danos significativos ao corpo humano, é importante ter em atenção aos valores que são apresentados.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água podem ser observados nos anexos.

Tabela 6. Resumo das análises microbiológicas

Fonte	Parâmetro	2022	2024
Água de rede pública (n=8)	CT	5 (62.5%)	6 (75%)
	E. coli	2 (12.5%)	4 (25%)
Furos (n=18)	CT	17 (94.44%)	16 (88.89%)
	E. coli	7 (38.89%)	4 (22.22%)
Poços (n=3)	CT	3 (100%)	3 (100%)
	E. coli	1 (33.3%)	2 (66.7%)

Fonte: Autoria própria

5.1 Água da Rede Pública

Os gráficos 1 e 2 apresentam resultado de CT e *E. Coli* em amostras da rede pública de abastecimento de água. De um total de 8 amostras, analisadas no ano 2024, 75% contêm CT e 25% contêm *E. coli*, contra 62.5% contendo CT e 12.5% contendo *E. coli* no ano 2022, com os valores médios de 329.95 MPN/100ml contra 7.89 MPN/100ml para CT e 1.84 MPN/100ml contra 0.76 MPN/100ml para E. Coli.

Embora a água da rede pública seja o menos problemático, resultados positivos de CT e *E. coli* resultam da colheita das amostras em recipientes de armazenamento por conta da intermitência no abastecimento de água. A água da rede pública passa por um processo de desinfecção com cloro na estação de tratamento de água e desinfecção ao longo do sistema de distribuição com o cloro residual.

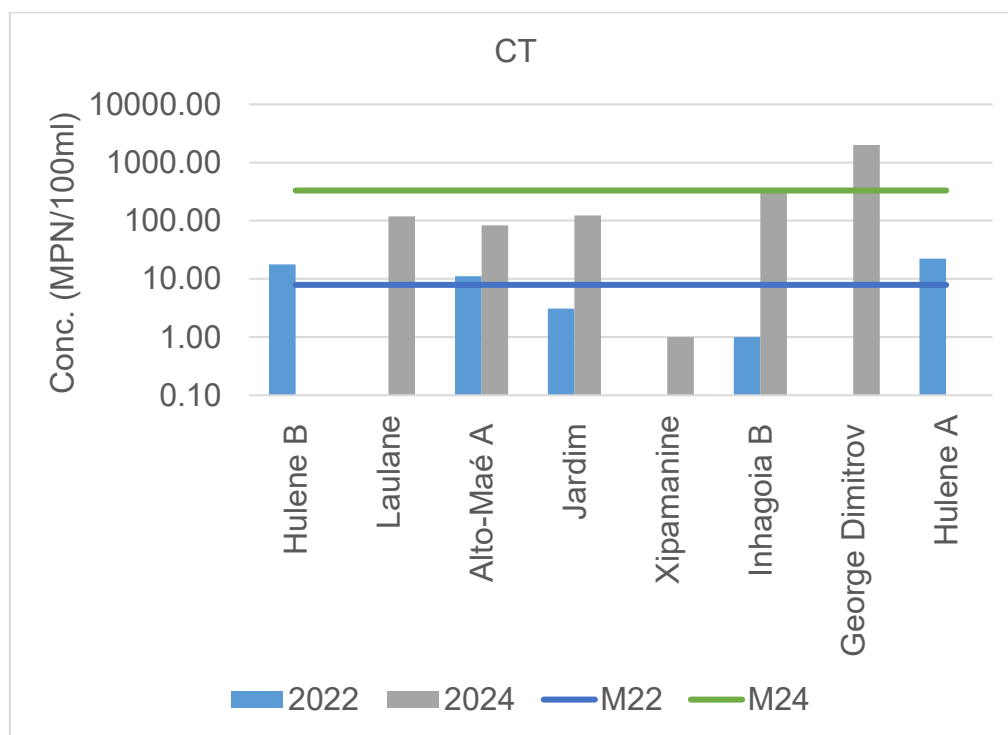


Gráfico 1. Valores de CT para água da rede pública em escala logarítmica

Fonte: Autoria própria

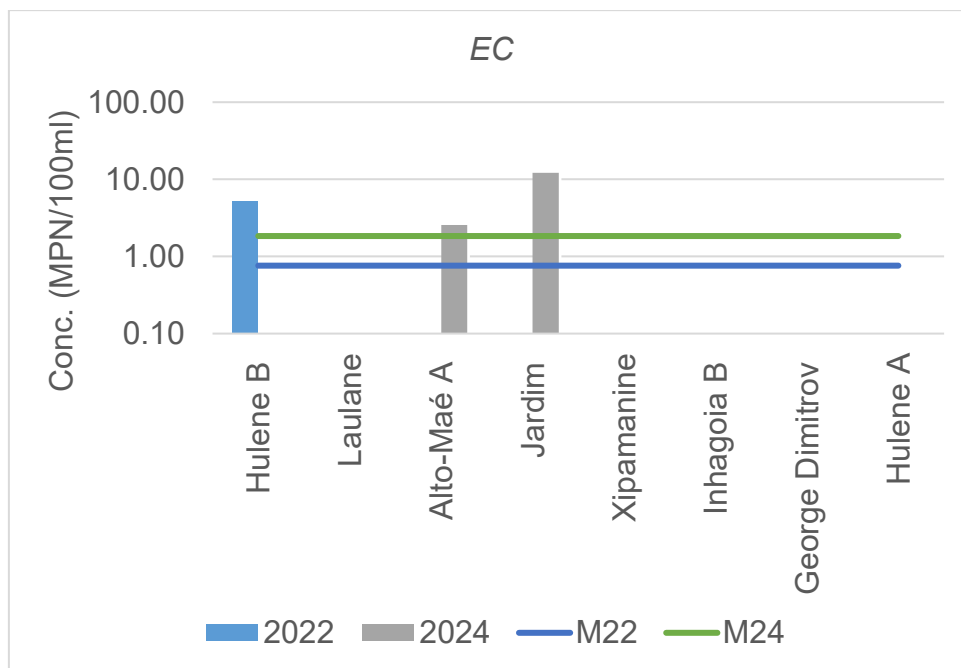


Gráfico 2. Valores de *E. Coli* para água da rede pública em escala logarítmica

Fonte: Autoria própria

5.2 Água dos Furos

Os gráficos apresentam resultado de análises de CT e *E. coli* em amostras do sistema privado de abastecimento de água (furos de água) onde foram colhidas 18 amostras. Dentre as amostras analisadas no ano 2024, 88.89% contêm CT e 22.22% contendo *E. coli* contra 94.44% e 38.89% das amostras analisadas em 2022, com os valores médios de 251.53 MPN/100ml contra 444.13MPN/100ml para CT e 0.81 MPN/100ml contra 7.45MPN/100ml para *E. Coli*.

Estes valores são resultados da falta de desinfecção neste sistema de abastecimento, onde a água é bombeada das fontes subterrâneas, armazenadas em tanques e distribuídos para os consumidores. A água pode ser contaminada por água residual resultante da lavagem dos tanques e ao longo do sistema de distribuição. Outro motivo para estes resultados é a deficiência no sistema de saneamento básico que pode resultar na contaminação da fonte subterrânea de água, resultando num bombeamento de água contaminada.

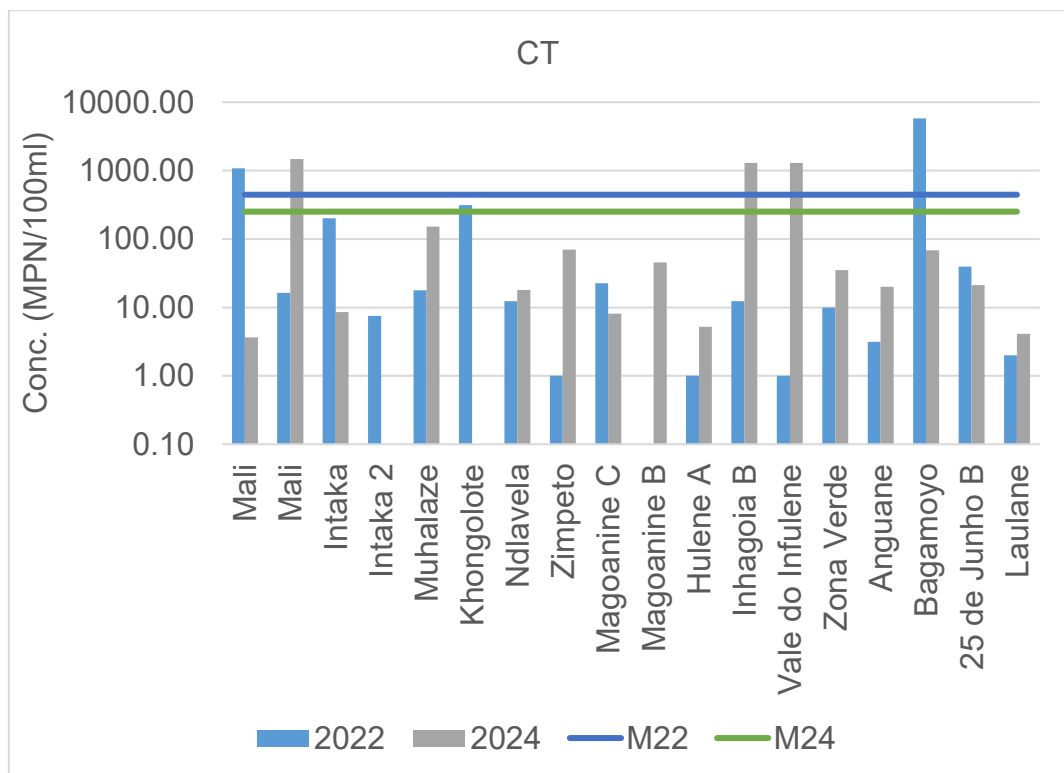


Gráfico 3. Valores de CT para água do furo em escala logarítmica

Fonte: Autoria própria

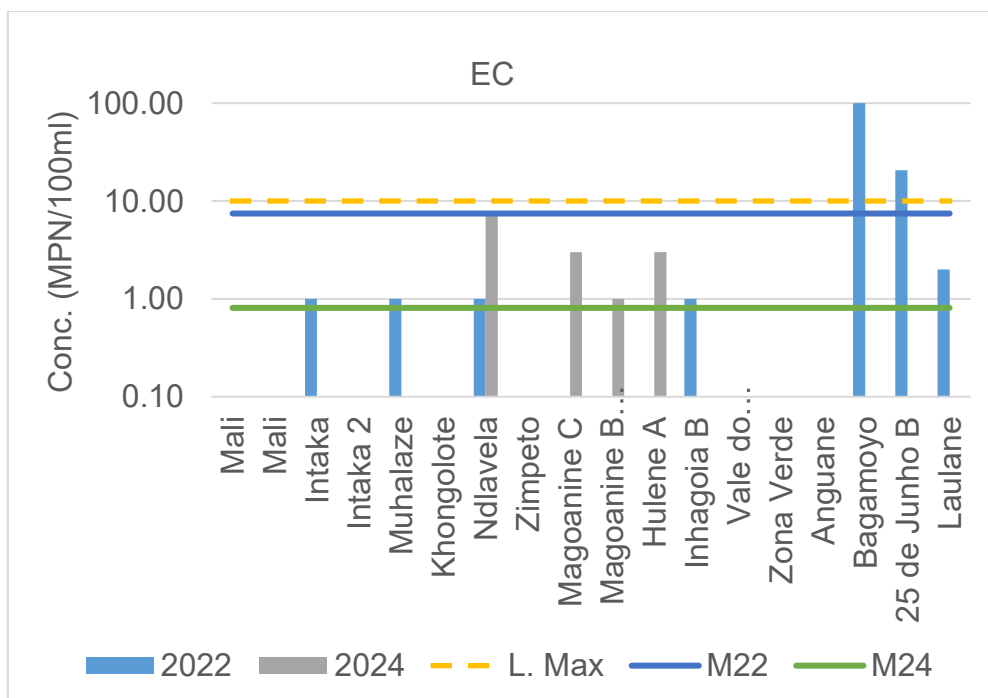


Gráfico 4. Valores de *E. Coli* para água do furo em escala logarítmica

Fonte: Autoria própria

5.3 Água dos Poços

Os gráficos apresentam resultados da análise de amostras de água do poço. Dentre as 3 amostras de água do poço 100% contêm CT, tanto para as análises de 2024 quanto para as análises de 2022, e 66.67% contêm *E. Coli* contra 33.33% de 2022, com valores médios de 1144.88 MPN/100ml contra 1903.3 MPN/100ml para CT e 28.43 MPN/100ml contra 136.67 MPN/100ml para *E. Coli*.

A má construção dos poços e a deficiência no sistema de saneamento básico são tidos como os principais motivos para a presença de material biológico patogénico em água de consumo proveniente dos poços a partir da infiltração de água contaminada no lençol freático.

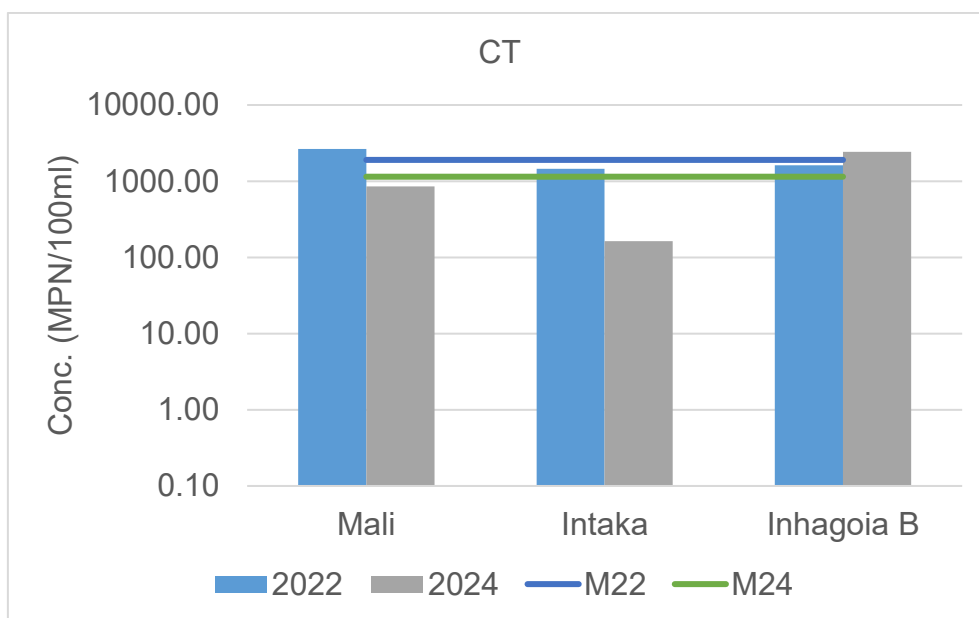


Gráfico 5. Valores de CT para água do poço em escala logarítmica

Fonte: Autoria própria

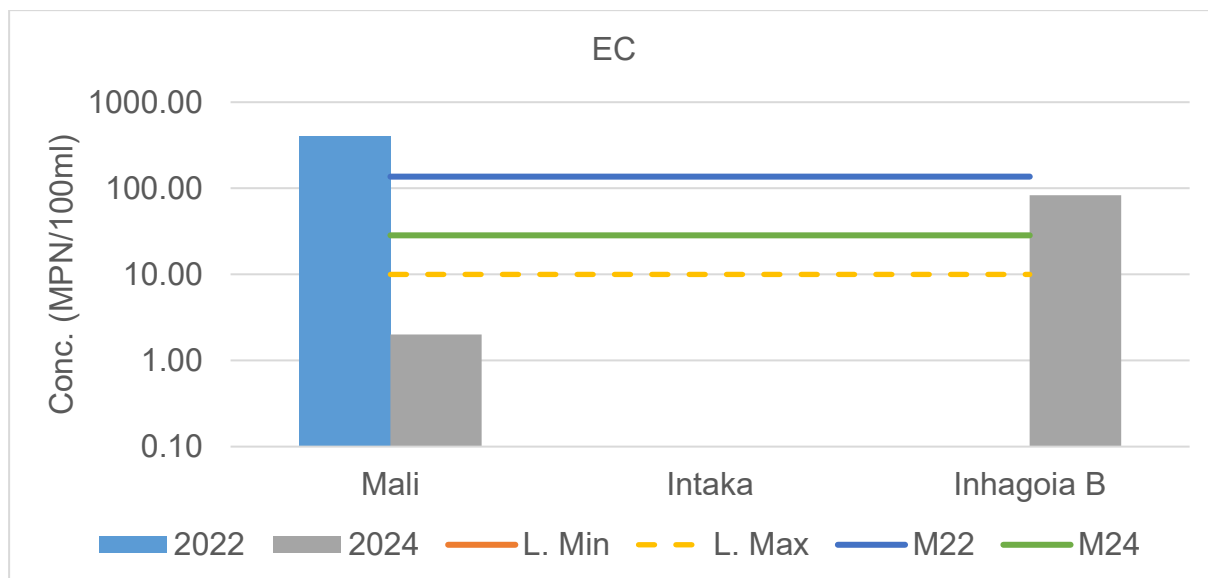


Gráfico 6. Valores de *E. Coli* para água do poço em escala logarítmica

Fonte: Autoria própria

5.4 Resistência Bacteriana aos Antibióticos

A resistência bacteriana é um parâmetro microbiológico determinado em amostras que apresentam resultado positivo para a presença de *E. Coli*. Assim sendo, para este parâmetro a análise é feita sem considerar o tipo de sistema de abastecimento de água, considerando apenas o resultado obtido na análise de *E. coli*.

O gráfico apresenta uma situação de resultado ESBL negativo, o que indica que o *E. coli* presente nas amostras não é produtora da enzima Beta-lactamase de Espectro Estendido (ESBL). Este resultado é um indicador da susceptibilidade a acção de alguns antibióticos, o que facilita no tratamento microbiológico da água.

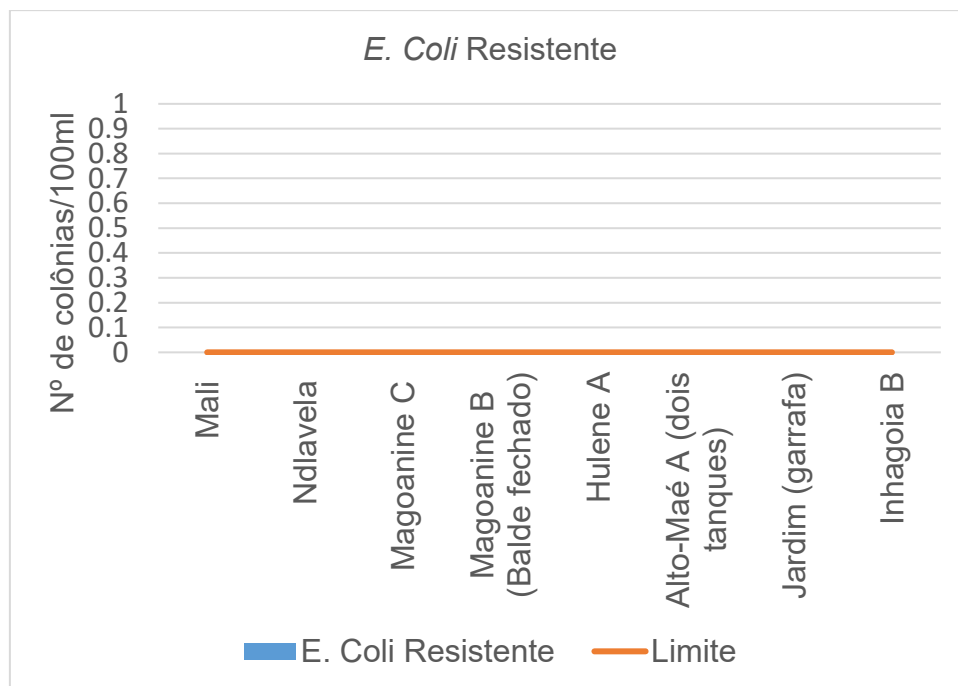


Gráfico 7. Valores de resistência a antibióticos pelo método ESBL

Fonte: Autoria própria

5.5 Distribuição Espacial da Contaminação

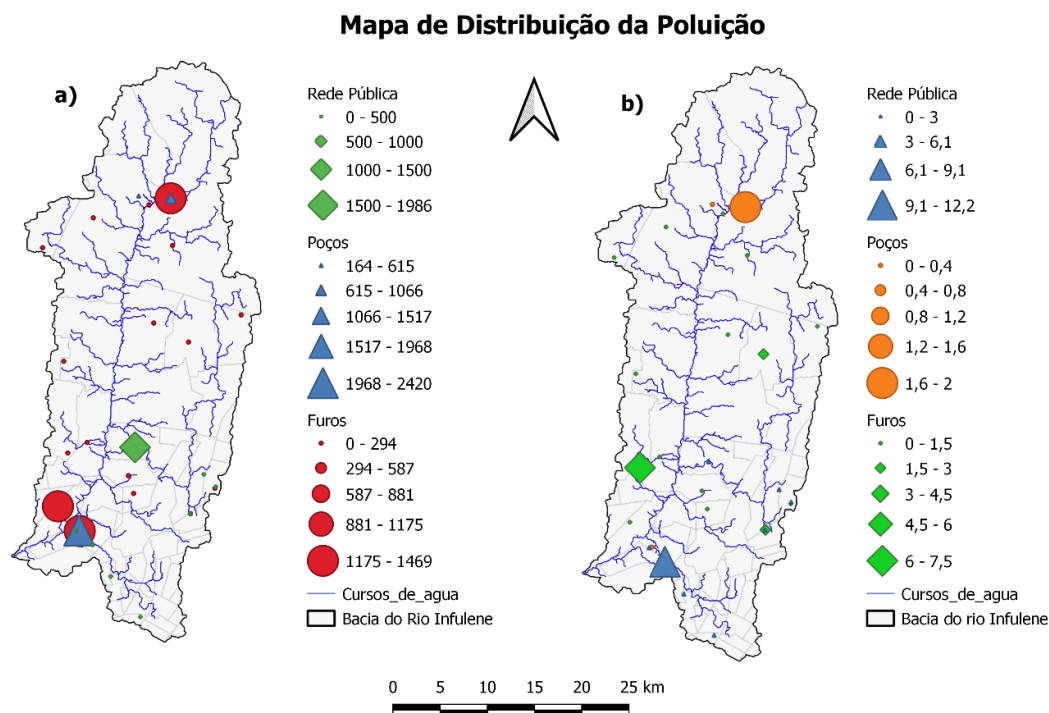


Figura 8. Distribuição Espacial da Poluição a) CT e b) *E. coli*

Fonte: Autoria própria

A figura 8 apresenta a distribuição espacial da poluição da água de consumo humano na Bacia do Rio Infulene, para os 3 sistemas de abastecimento, no ano 2024. Nele pode se observar que os Bairros Inhagoia B, Mali, Jardim, Ndlavela e George Dimitrov são os bairros com maior expressão de contaminação por CT e *E. coli*.

A contaminação da água da rede pública deve-se, principalmente, a má conservação e o tempo de conservação da água uma vez que o fornecimento de água é intermitente, podendo a água ser armazenada em recipientes inapropriados por longos períodos de tempo.

Os furos e poços são sistemas de abastecimento de água cuja a fonte é a água subterrânea, onde a contaminação deve-se ao facto dos bairros ao longo da bacia serem formados por assentamentos informais e sistemas de drenagem deficientes, conforme ilustram as figuras 9 e 10, e pela falta de tratamento biológico antes da distribuição da água para os consumidores.



Figura 9. Sistema de drenagem de água residual na Bacia do Rio Infulene

Fonte: Autoria própria



Figura 10. Rua existente na Bacia do Rio Infulene

Fonte: Autoria Própria

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões que respondem aos objectivos traçados para a realização do presente trabalho de licenciatura. São também apresentados neste capítulo, as recomendações baseadas nos resultados deste estudo.

6.1. Conclusões

A presença de microrganismos patogénicos em amostras colhidas nos diferentes sistemas de abastecimento da água é resultado de falhas nos sistemas, como a intermitência no fornecimento da água associado ao saneamento deficiente que condiciona a infiltração da água contaminada para os sistemas de distribuição da água, bem como ao armazenamento da água em recipientes inapropriados. Os outros factores que contribuem para a contaminação microbiológica da água para o consumo humano são a má construção dos poços de água e a falta de tratamento após a bombagem em fontes subterrâneas.

Foram colhidas 29 amostras de água de 3 sistemas de abastecimento de água da Bacia do Rio Infulene, das quais 3 de poços, 8 da rede pública de distribuição de água e 18 de furos de captação de água subterrânea. Das amostras analisadas a temperatura, OD e a CE encontram-se dentro dos padrões estabelecidos no Diploma Ministerial nº. 180/2004. No entanto cerca de 3.45% das amostras tiveram os valores dos parâmetros fora padrões para o consumo humano para a turbidez e TDS, respectivamente, e 10.35% para pH, particularmente para os bairros de Mali, Inhagoia B e Hulene A.

Foi detectada a presença de CT, em todas as amostras dos poços (n=3), 75% (n=8) em amostras colhidas da rede pública e 88.8% em amostras colhidas dos furos de água (n=18), e *E. Coli* em 25% das amostras da rede pública, 66.67% amostras do poço e 22.22% das amostras de furos de água. Para as amostras cuja a presença de *E. Coli* foi detectada, seguiu-se para a detecção da presença de *E. coli* resistente aos antibióticos pelo método ESBL. Com o ESBL negativo para todas as amostras testadas, conclui-se que os microrganismos patogénicos ainda não possuem *E. Coli* com resistência aos antibióticos.

6.2. Recomendações

Com base no observado ao longo do período de realização do presente relatório, recomenda-se:

- Conscientização das populações da importância da preservação da água do aquífero com vista em acabar com o pernicioso hábito de utilizar sanitários mal construídos e pôr uma política adequada de saneamento básico para as populações ali existentes.
- A introdução de um programa de monitoramento de qualidade de água para o consumo humano de acordo com os recursos disponíveis, de modo a acompanhar a evolução dos parâmetros de qualidade de água e mitigar a contaminação da fonte.
- Cloração da água nos tanques de armazenamento para prevenir a contaminação ao longo do sistema de distribuição.
- Adopção de formas de tratamento de água domiciliar como fervura e filtração.
- Disponibilização de recursos para a investigação da presença da resistência antibióticos mesmo em amostras cuja a presença de *E. Coli* não foi detectada.
- Estudo aprofundado da resistência a antibióticos em água de consumo na mesma área de estudo, fazendo uso de métodos mais precisos de determinação da resistência antimicrobianos como por exemplo o uso do método da PCR.

CAPÍTULO 7: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Águas residuais: um recurso que pode render dividendos para as pessoas, o meio ambiente e as economias, afirma o banco Mundial. (19 de Março de 2020).

ARA - Sul. (6 de Agosto de 2010). *ARA - Sul*. Obtido em 8 de Dezembro de 2024, de ARA - Sul: <http://www.ara-sul.co.mz/subindex.asp?lang=pt&page=ugbu>

Araujo, M. (s.d.). *Coliformes Fecais e Totais - Bactérias - Reino Monera*. Obtido em 15 de Outubro de 2023, de Info Escola: <https://www.infoescola.com/reino-monera/coliformes>

Azevedo, S. M. (2014). *Farmacologia dos Antibióticos Beta-lactâmicos*. Porto: Universidade Fernando Pessoa.

Baquero, F., Martínez, J.-L., & Cantón, R. (8 de Junho de 2008). Antibiotics and Antibiotic Resistance in Water Environments. *Environmental Biotechnology*, pp. 260-265.

Batista, C. (s.d.). *Água*. Obtido em 03 de Outubro de 2023, de Toda Matéria: <https://www.todamateria.com.br/agua/>

Best RO Water Purifier. (14 de Agosto de 2023). *What is TDS in Water, it's Health Effects and How to Reduce the TDS Level?* Obtido em 23 de Setembro de 2023, de Best RO Water Purifier: <https://www.bestrowaterpurifier.in/blog/what-is-tds-level-in-water/>

Camargo, L., Malrecy, A., & Machado, D. (s.d.). Resistência Bacteriana aos Antibióticos. *Ensaio USF*.

Casadei, E. (2016). *Moçambique: Águas, Alimentos e Ambiente* (4ª ed.). Maputo: Porto Editora.

Chibantão, G. V. (2012). *Controlo da Qualidade Água do Rio Infulene para fins de Irrigação*. Maputo.

de Melo, V. V., Duarte, I. d., & Queiroz, A. (2012). *Guia Antimicrobianos*. Goiânia: UFG.

de Oliveira, V. B., Donato, M. E., Lima, C. G., de Freitas, E. C., dos Santos, I. R., Leal, T. P., & de Almeida, S. M. (Julho de 2023). Impactos Ambientais e Toxicológicos pela Contaminação de Fármacos Principalmente Antibióticos em Ambientes Aquáticos: Revisão da Literatura. *Revista Ibero - Americana de Humanidade, Ciências e Educação*, 9(7).

de Oliveira, V. B., Donato, M. E., Lima, C. G., de Freitas, E. C., dos Santos, I. R., Leal, T. P., & de Almeida, S. M. (07 de Julho de 2023). Impactos Ambientais e Toxicológicos pela Contaminação de Fármacos Principalmente Antibióticos em

Ambientes Aquáticos: Revisão da Literatura. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(7).

DNAAS, D. N. (2023). *Direcção Nacional de Abastecimento de Águas e Saneamento*. Obtido de Direcção Nacional de Abastecimento de Águas e Saneamento: www.dnaas.gov.mz

Fórum da Sociedade Civil para os Direitos da Criança - ROSC. (2014). O Direito a Água e ao Saneamento como um Pilar Chave para o Desenvolvimento Humano. *Policy Brief*, 1-8.

Gastalho, S., J., d. S., & Ramos, F. (2014). Uso de antibióticos em aquacultura e resistência bacteriana: Impacto em saúde pública. *Acta Farmacêutica Portuguesa*, 3(1), 29-45.

Goulart, M. D., & Callisto, M. (2003). Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta de estudos de impacto ambiental. *FAPAM*, 1-9.

Guimarães, D. O., Momesso, L. d., & Pupo, M. T. (24 de Fevereiro de 2010). Antibióticos: Importância Terapêutica e Perspectiva para a Descoberta e Desenvolvimento de Novos Agentes. *Química Nova*, 33(3), 667-679.

Hach. (s.d.). *Sólidos (totais e dissolvidos)*. Obtido em 10 de Setembro de 2023, de Hach: <https://pt.hach.com/parameters/solids>

Husna, A., Rahman, M. M., Badruzzaman, A. T., Sikder, M. H., Islam, M. R., Rahman, M. T., . . . Ashour, H. M. (30 de Outubro de 2023). *Extended-Spectrum β -Lactamases (ESBL): Challenges and Opportunities*. Obtido de Biomedicines: <https://doi.org/10.3390/biomedicines11112937>

Langa, J. S. (2022). *AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO NA REGIÃO DA BACIA DO RIO INFULENE*. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane.

Lima, M. A. (2005). Águas Aumuladas em Açudes e Barragens na Região de Santa Maria e Flutuações em seus Atributos Físico Químico. Em *DISSERTAÇÃO DE MESTRADO* (pp. 26-32). Santa Maria, RS Brasil.

Machado, G. B. (s.d.). *O Impacto Dos Resíduos na Água*. Obtido em 01 de Outubro de 2023, de Portal Resíduos Sólidos: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/>

Manuel, C. A. (2023). *Simulação de Manchas de Inundação e Propagação de Contaminantes na Bacia do Rio Infulene, Considerando o Efeito das Mudanças Climáticas*. Maputo: XII CONFERÊNCIA CIENTÍFICA DA UEM 2023. Obtido em 30 de Janeiro de 2025, de <https://www.cecoma.uem.mz/conferencias/index.php/XIICCUEM/index/sched> Confs/current

- Marquezi, M. C., Gallo, C. R., & Dias, C. T. (2010). Comparação entre métodos para a análise de coliformes totais e E. coli em amostras de água. *Rev Inst Adolfo Lutz*, 69(3):291-6.
- Mendes, B. S., & Oliveira, J. S. (2004). *Qualidade de Água para Consumo Humano* (1st ed.). Lisboa: Lidel.
- Nhantumbo, C., Vaz, N., Rodrigues, M., Manuel, C., Rapulua, S., Langa, J., . . . Monteiro, S. (4 de Janeiro de 2023). Assessment of Microbial Contamination in the Infulene River Basin, Mozambique. *Water*, p. 219.
- Parron, L. M., Muniz, D. H., & Perreira, C. M. (2011). Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-química de Água. *Embrapa Florestas*. Obtido de Embrapa .
- Portal de Tratamento de Água. (22 de Setembro de 2015). *Qualidade da Água*. Obtido de Portal Tratamento de Água: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/qualidade-da-agua/>
- Portal São Francisco. (2015). *Coliformes, Fecais, Totais, Água, O que são Coliformes*. Obtido em 02 de Setembro de 2023, de Portal São Francisco: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/coliformes>
- Redação Pensamento Verde. (19 de Julho de 2013). *O que são águas residuais?* Obtido em 01 de Outubro de 2023, de Pensamento Verde: <https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente-o-que-sao-aguas-residuais>
- Redação Sara. (20 de Maio de 2025). *Antibiótico: Tudo o que você precisa saber*. Obtido de SARA: O SEU BULÁRIO DIGITAL: <https://www.sara.com.br/noticias/antibiotico-tudo-o-que-voce-precisa-saber>
- Rodrigo. (s.d.). *Total de sólidos dissolvidos (TDS), água e condutividade*. Obtido em 08 de Setembro de 2023, de EstudyAndo: <https://pt.estudyando.com/total-de-solidos-dissolvidos-tds-agua-e-condutividade>
- Sabadini, L. (9 de Junho de 2023). *Medicamentos Antimicrobianos: 9 dúvidas respondidas para você ficar sabendo*. Obtido de INOVA FARMA: <https://www.inovafarma.com.br/blog/lista-medicamentos-antimicrobianos/>
- Safe Water. (23 de Janeiro de 2017). *TDS and pH - Safe Drinking Water*. Obtido em 30 de Agosto de 2023, de Safe Drinking Water Foundation: <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/tds-and-ph#>
- Silva, I. M. (2017). *Antibióticos Beta-Lactâmicos e as "Superbactérias"*. Lisboa: Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias.

- Taviani, E., Van den Berg, H., Nhassengo, F., Nguluve, E., Paulo, J., Pedro, O., & Ferrero, G. (8 de Outubro de 2022). Occurrence of waterborne pathogens and antibiotic resistance in water supply systems in a small town in Mozambique. *BMC Microbiology*, p. 243.
- Tortora, G. J., Case, C. L., & Funke, B. R. (2016). *Microbiologia* (12ª ed.). Porto Alegre: Artmed Editora.
- UNICEF Mozambique. (Agosto de 2022). *Factsheet Mozambique: Water, Sanitation and Hygiene (WASH)*. Obtido de UNICEF Mozambique: <https://www.unicef.org/mozambique/en/reports/factsheet-mozambique-water-sanitation-and-hygiene-wash>
- WHO. (9 de Junho de 2021). *World Health Organization*. (W. H. Organization, Ed.) Obtido em 15 de Março de 2025, de World Health Organization: <https://www.who.int/health-topics/antimicrobial-resistance>
- World Economic Forum. (18 de Dezembro de 2021). *World Economic Forum*. Obtido de World Economic Forum: <https://www.weforum.org/agenda/2021/12/mozambique-water-sanitation-project-world-bank/>

Anexos

Anexo A. Resultados das análises físico-químicas das amostras colectadas na área de estudo.

1. Temperatura

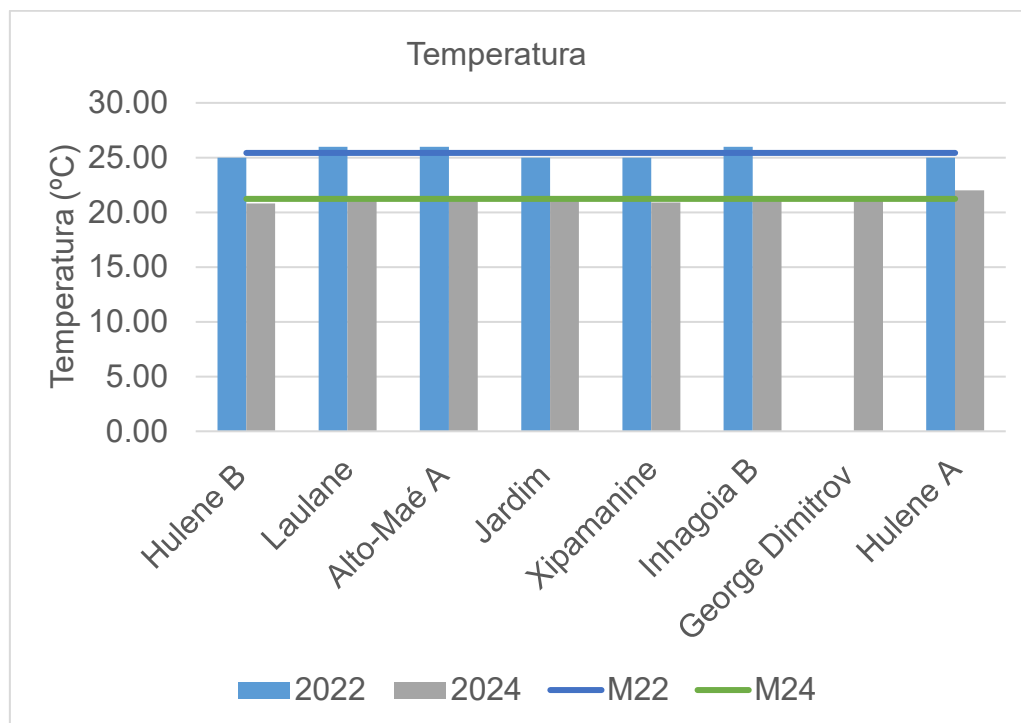


Gráfico 8. Valores de temperatura para água da rede pública

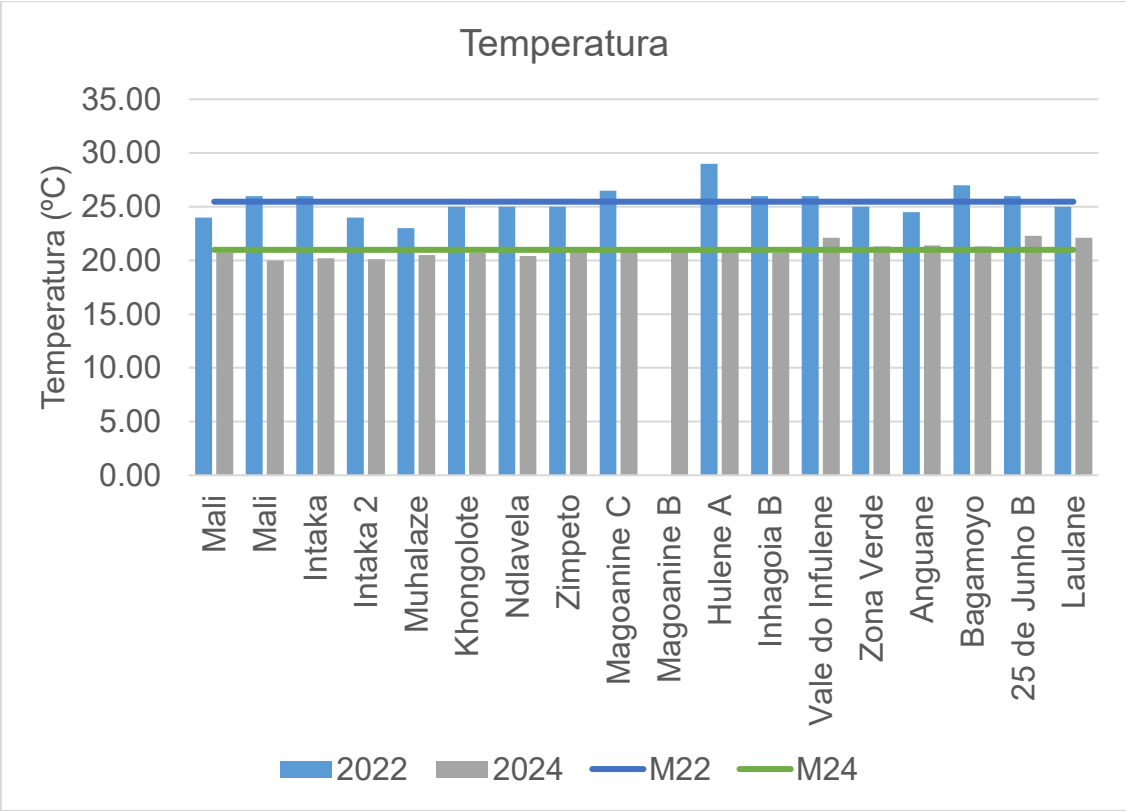


Gráfico 9. Valores de temperatura para água do furo

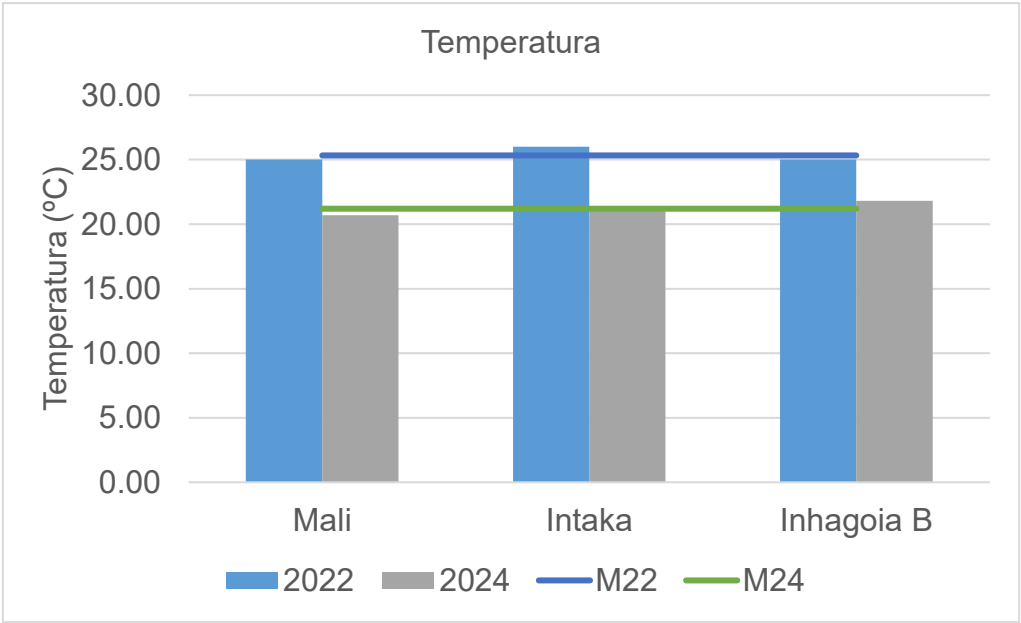


Gráfico 10. Valores de temperatura para água do poço

2. Potencial Hidrogeniônico

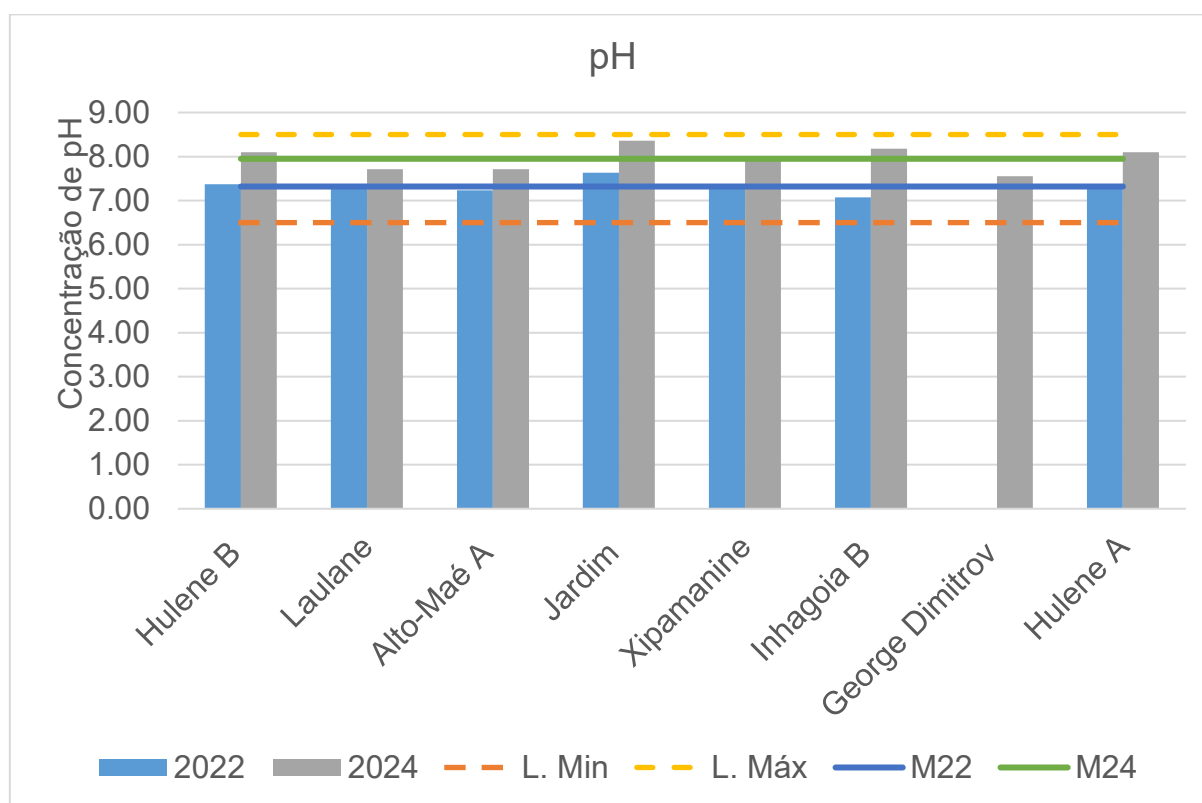


Gráfico 11. Valores de pH para água da rede pública

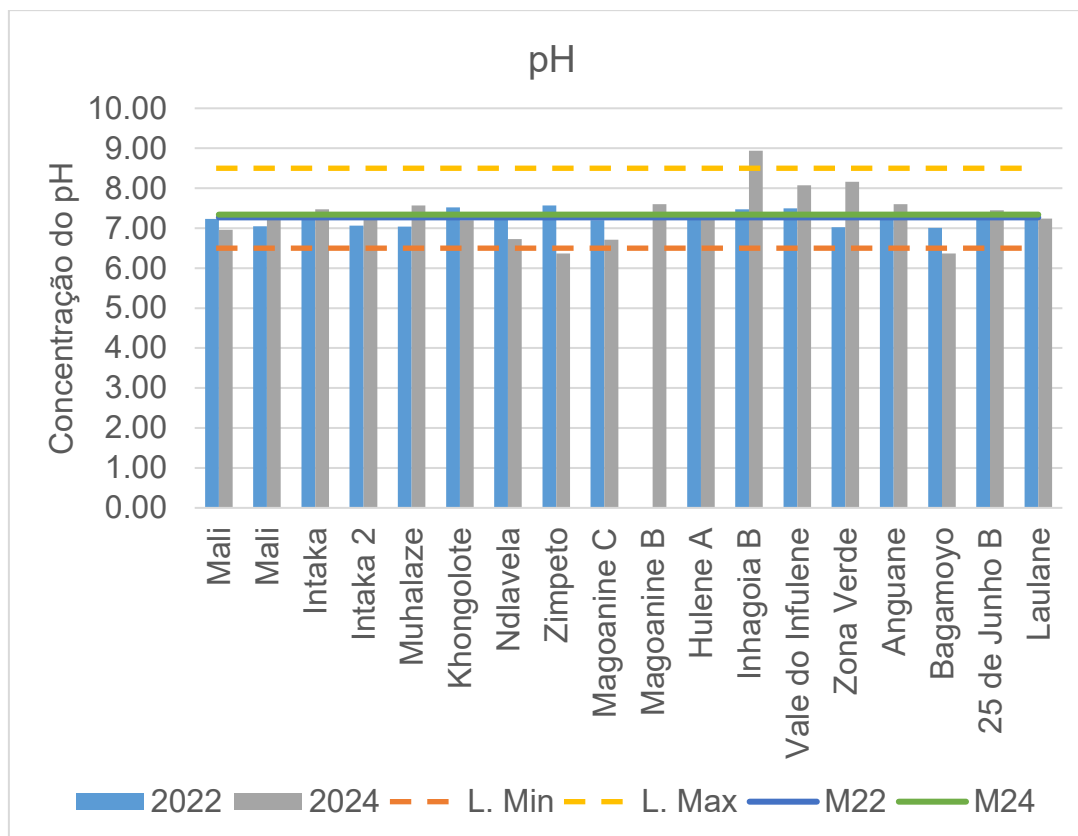


Gráfico 12. Valores de pH para água do furo

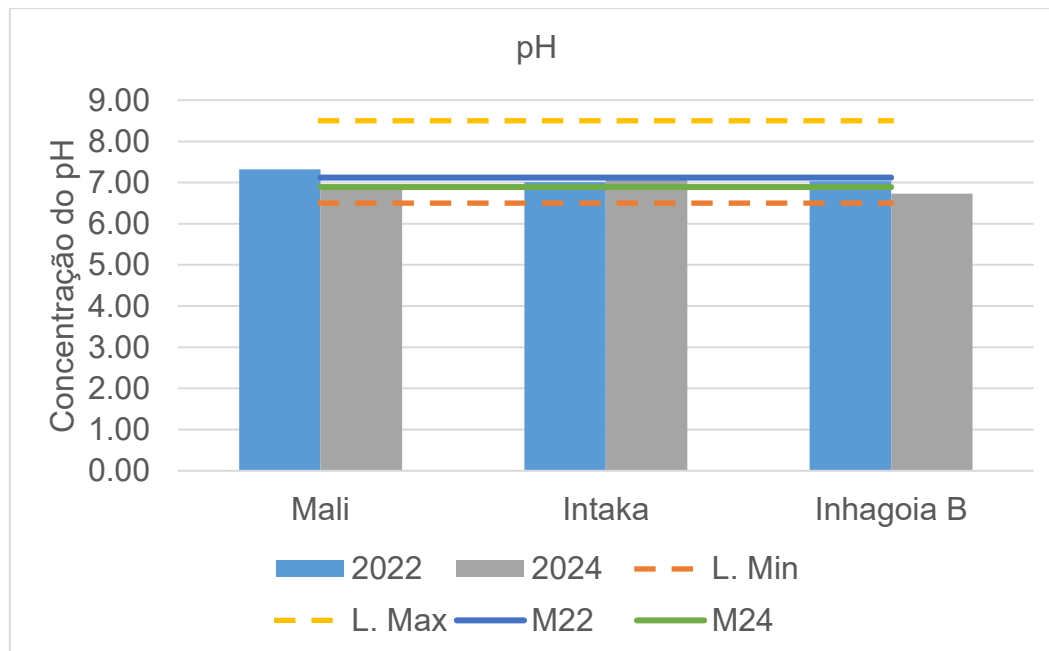


Gráfico 13. Valores de pH para água do poço

3. Condutividade Eléctrica

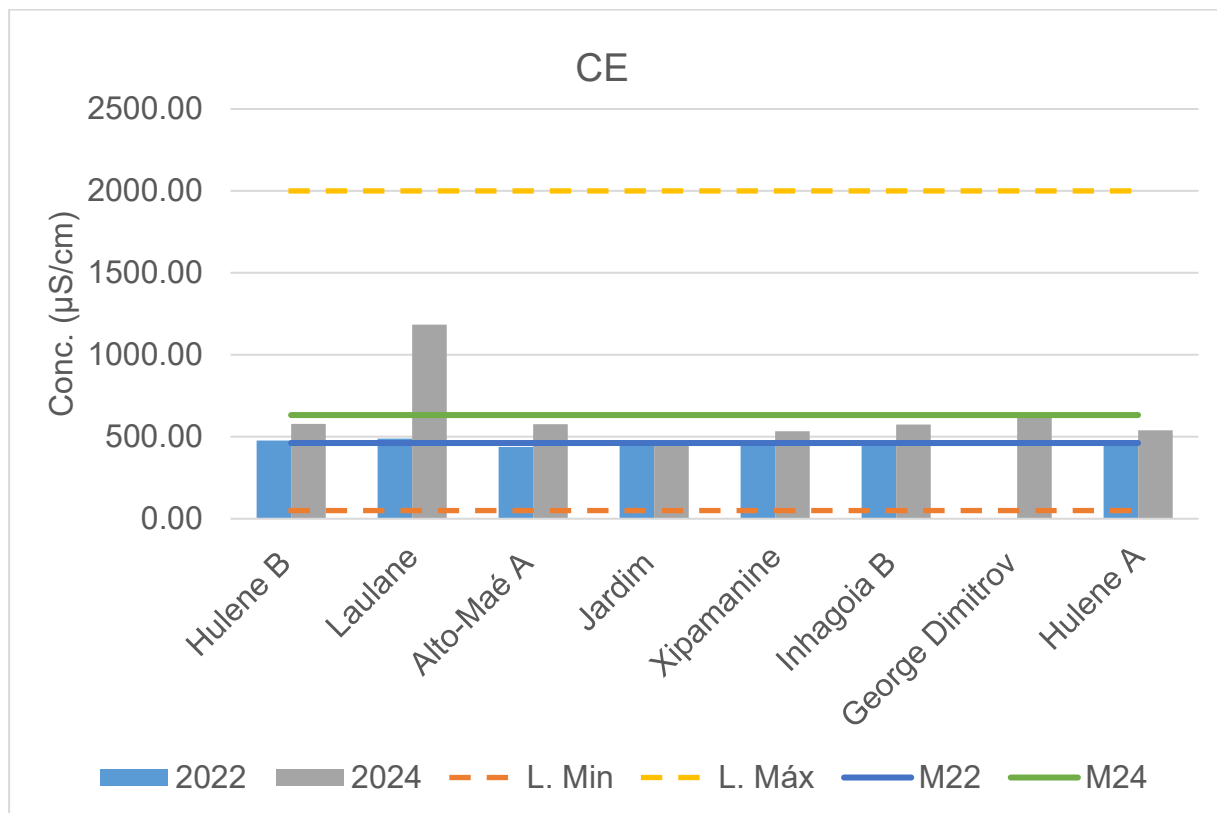


Gráfico 14. Valores de CE para água da rede pública

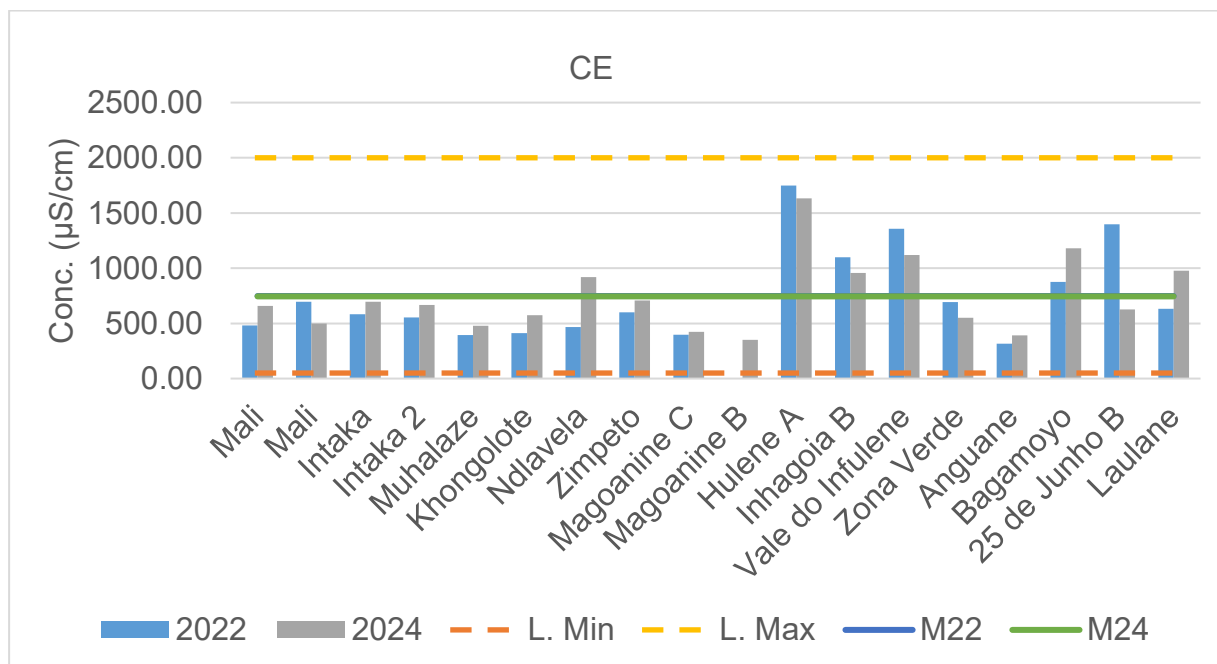


Gráfico 15. Valores de CE para água do furo

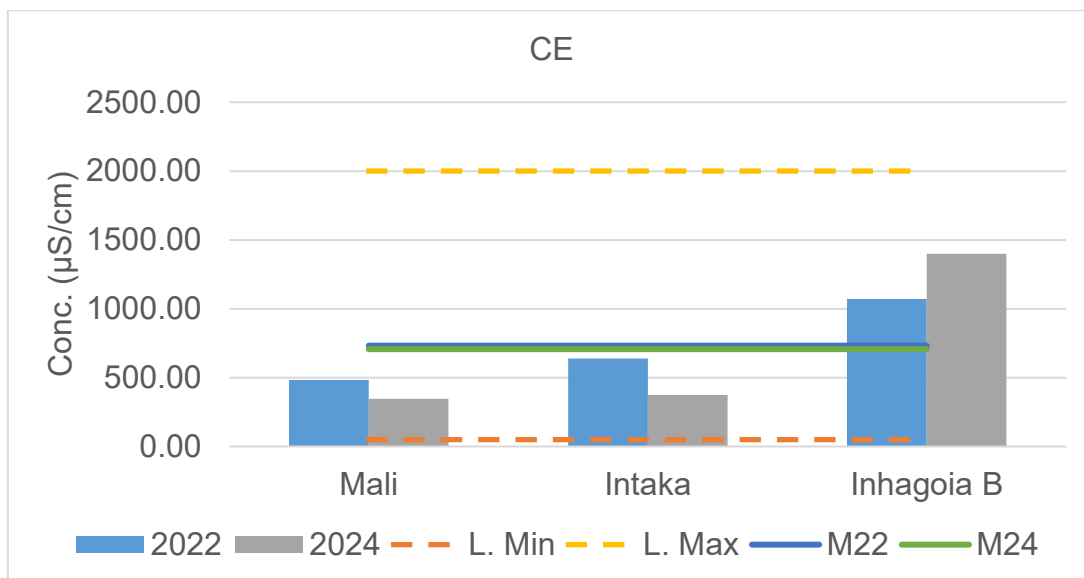


Gráfico 16. Valores de CE para água do poço

4. Sólidos Totais Dissolvidos

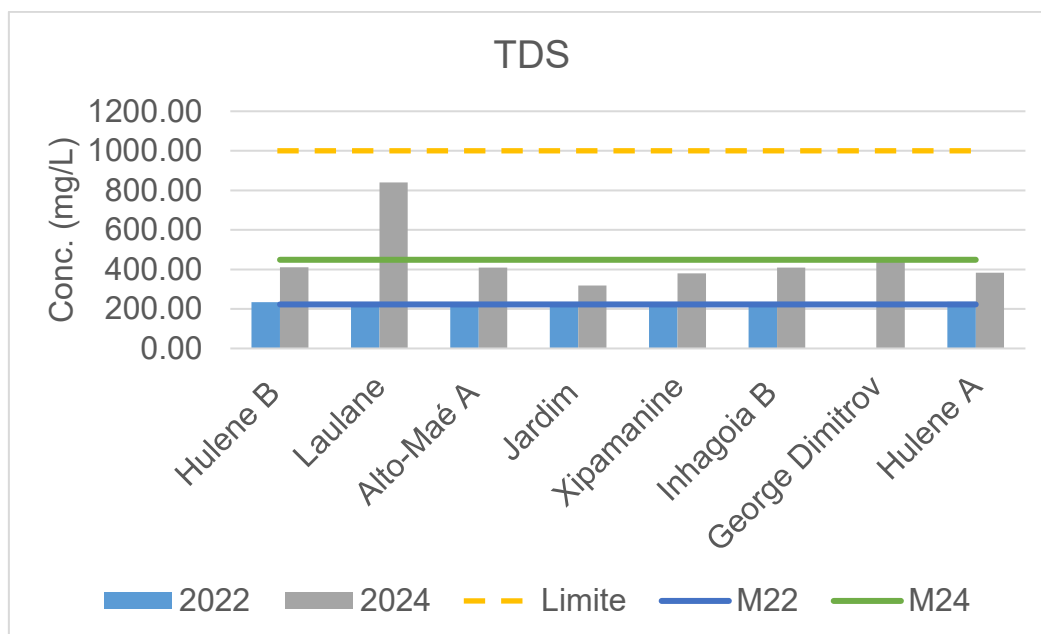


Gráfico 17. Valores de TDS para água da rede pública

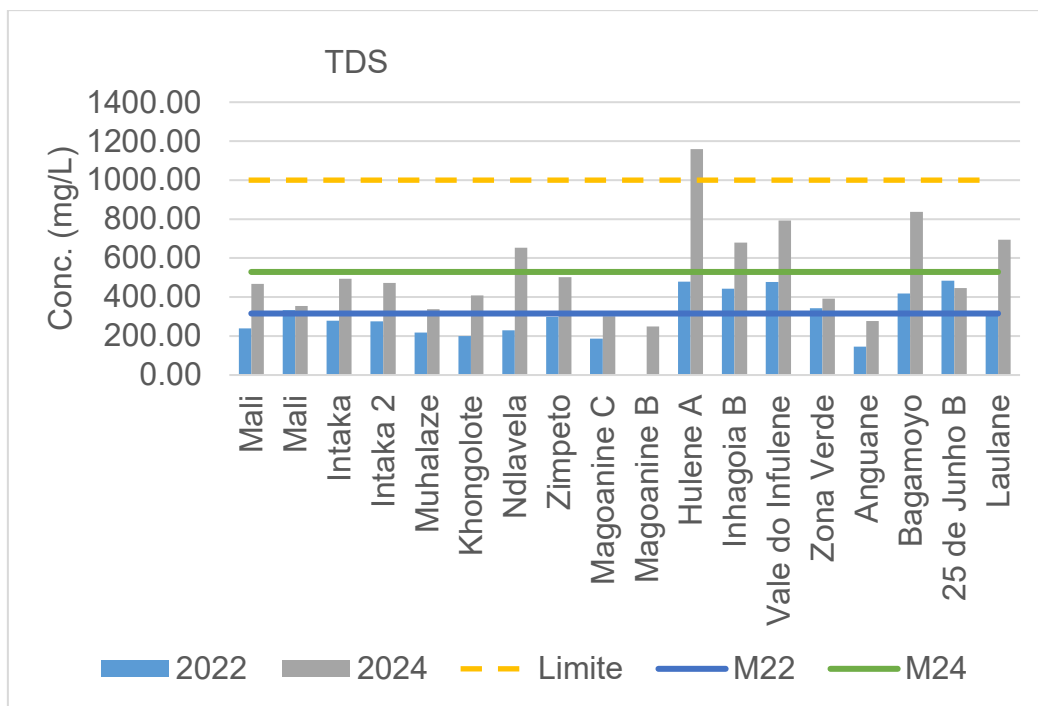


Gráfico 18. Valores de TDS para água do furo

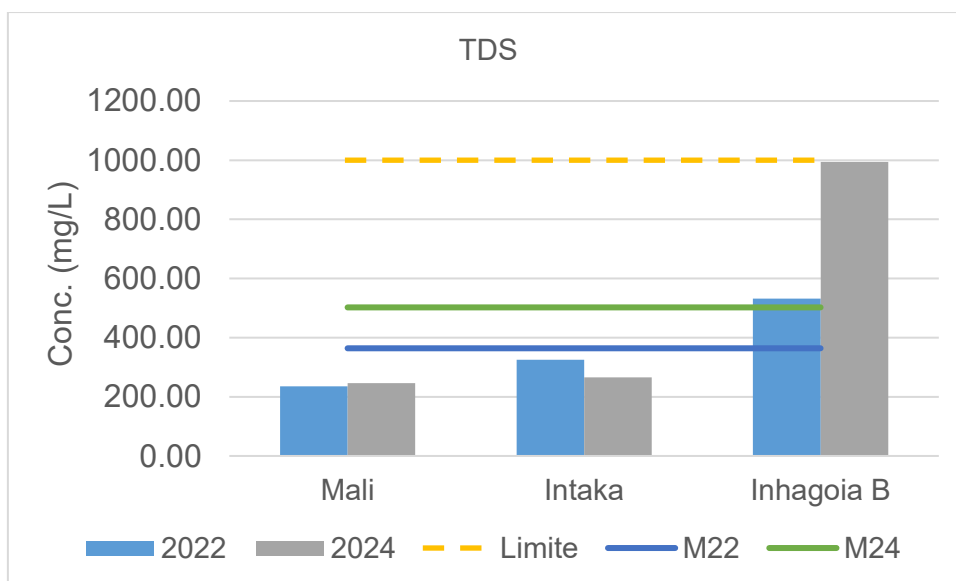


Gráfico 19. Valores de TDS para água do poço

5. Oxigénio Dissolvido

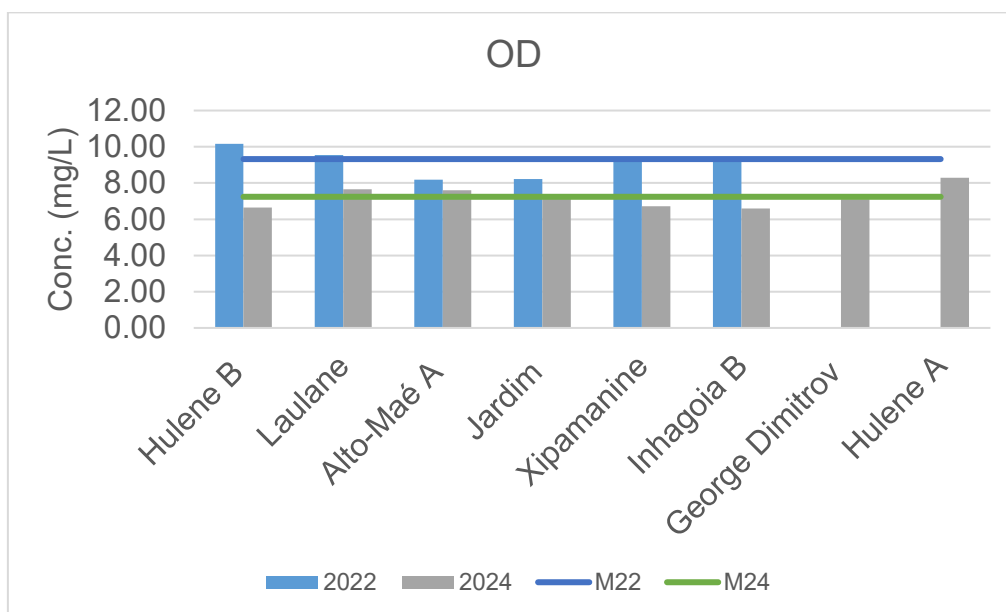


Gráfico 20. Valores de OD para água da rede pública

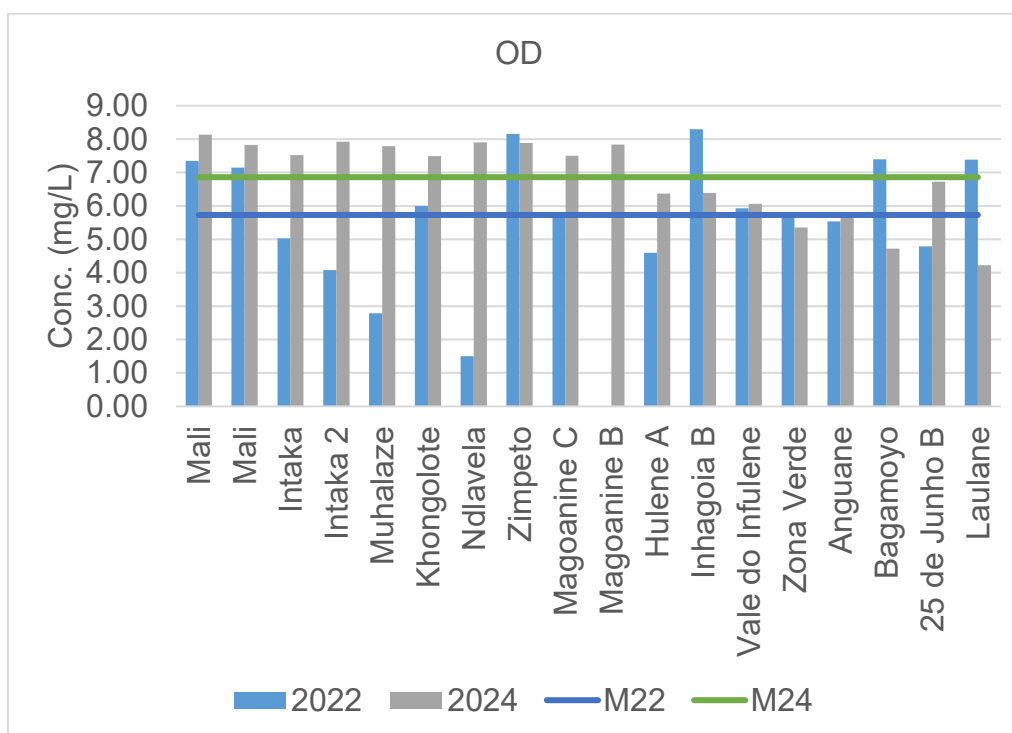


Gráfico 21. Valores de OD para água do furo

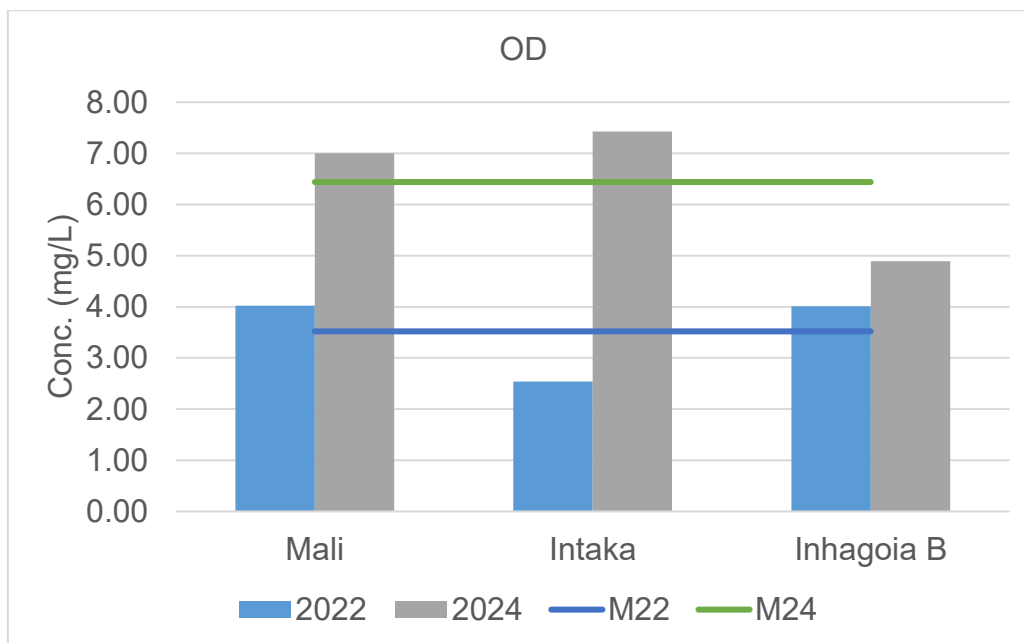


Gráfico 22. Valores de OD para água do poço

6. Turbidez

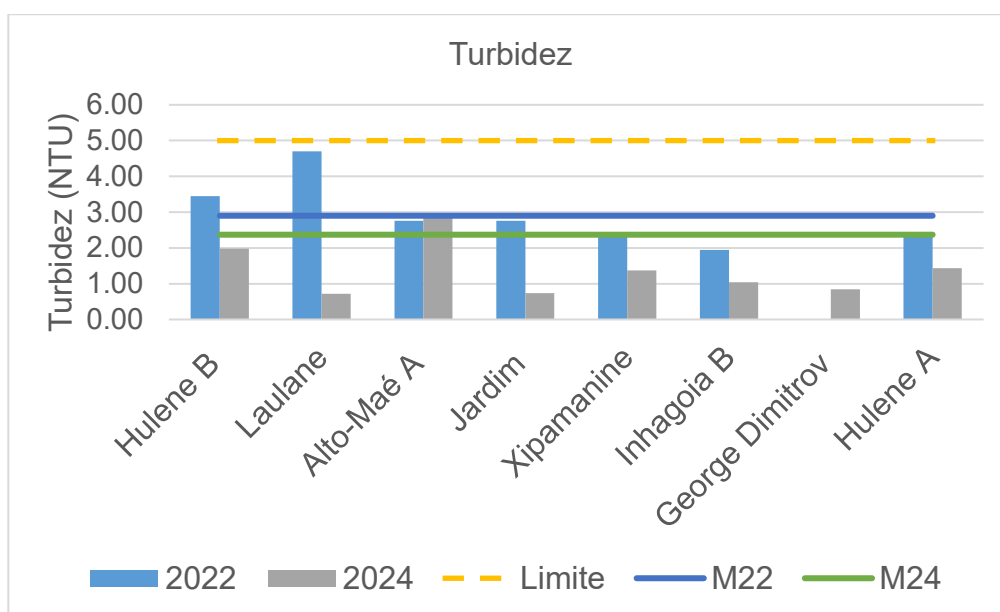


Gráfico 23. Valores de Turbidez para água da rede pública

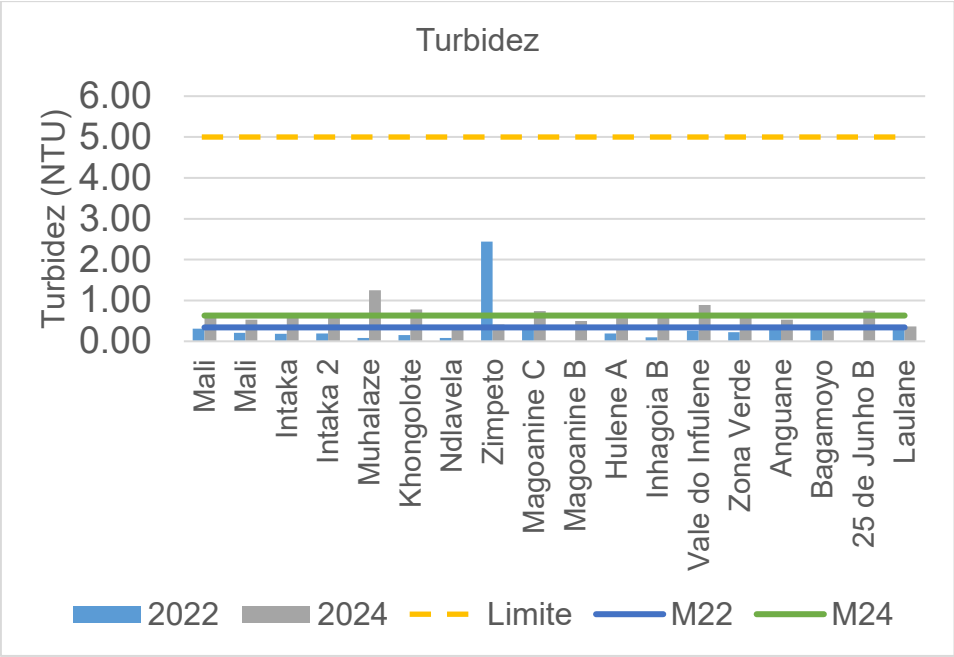


Gráfico 24. Valores de Turbidez para água do furo

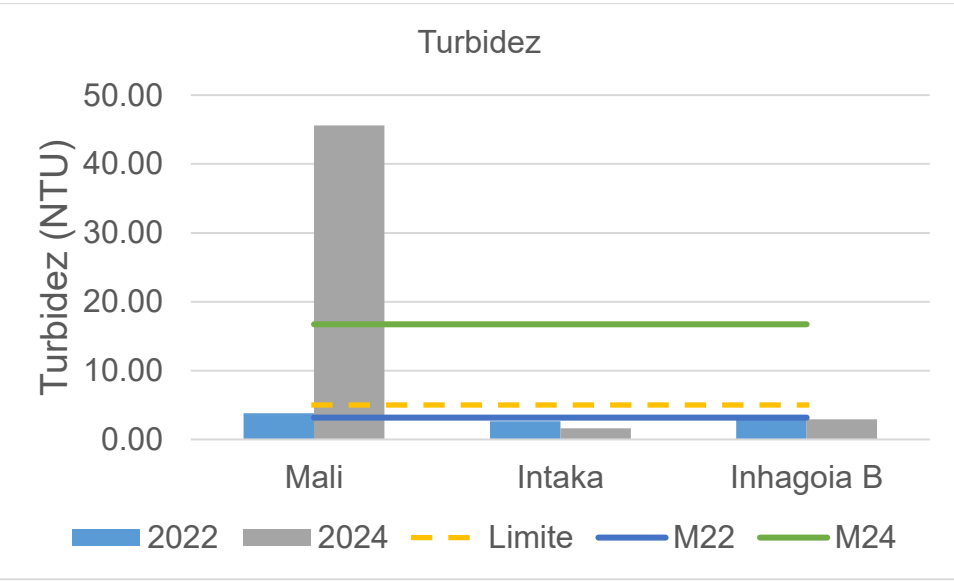


Gráfico 25. Valores de Turbidez para água do poço

Anexo B. Resultados das Análises para a Campanha de Colecta de Amostras 2024

Tabela 7. Resultados para água do poço

Local	Latitude	Longitude	pH	T (°C)	C. E. (µS/cm)	TDS (mg/l)	OD (mg/l)	Turbidez	CT	E. Coli
Mali	-25,7829995	32,5856044	6,84	20,73	345,67	246,67	7	45,63	851,45	2
Intaka	-25,7819378	32,5721659	7,11	21,1	374	266	7,43	1,62	163,6	0
Inhagoia B	-25,9214964	32,5473609	6,73	21,8	1400,33	994,33	4,89	2,93	2419,6	0

Tabela 8. Resultados para a água do furo

Local	Latitude	Longitude	pH	T (°C)	C. E. (µS/cm)	TDS (mg/l)	OD (mg/l)	Turbidez	C T	E. Coli
Mali	-25,78305	32,5859036	6,96	20,7	658	467,67	8,13	0,64	3,65	0
Mali	-25,78298	32,5855166	7,23	20,03	499,33	354,67	7,83	0,54	1468,63	0
Intaka	-25,78572	32,5764795	7,44	20,2	696,67	494,67	7,53	0,69	8,6	0
Intaka 2	-25,79112	32,5532252	7,27	20,07	666	473,33	7,92	0,63	0	0
Muhalaze	-25,80359	32,5320821	7,57	20,53	477	338,67	7,79	1,26	152,4	0
Khongolote	-25,85094	32,5409145	7,2	20,73	574,67	408	7,49	0,78	0	0
Ndlavela	-25,88918	32,5426067	6,73	20,4	919	652,67	7,9	0,36	18	7,5
Zimpeto	-25,83498	32,5784683	6,37	20,87	707	502	7,88	0,41	69,75	0
Magoanine C	-25,84292	32,5929727	6,71	21,1	424	301	7,5	0,74	8,1	3
Magoanine B	-25,8316	32,6149333	7,6	20,8	351	249	7,84	0,5	45,25	1
Hulene A	-25,91445	32,593758	7,23	21,17	1632,33	1160	6,37	0,59	5,2	3
Inhagoia B	-25,92169	32,5475858	8,94	20,73	956,33	679	6,39	0,77	1299,7	0
V. do Infulene	-25,91138	32,5384955	8,07	22,13	1118	792,33	6,06	0,82	1299,7	0
Zona Verde	-25,88476	32,5506541	8,16	21,33	552	392	5,35	0,58	35	0
Anguane	-25,8027	32,5863161	7,6	21,4	390	277,67	5,76	0,53	20,1	0
Bagamoyo	-25,8986	32,567848	6,39	21,33	1180	838	4,72	0,38	68,3	0
25 de Junho B	-25,90603	32,5700613	7,45	22,27	625,33	444,67	6,72	0,75	21,1	0
Laulane	-25,9039	32,604008	7,24	22,1	976,33	694	4,22	0,36	4,1	0

Tabela 9. Resultados para água da rede pública

Local	Latitude	Longitude	pH	T (°C)	C. E. (µS/cm)	TDS (mg/l)	OD (mg/l)	Turbidez	C T	E. Coli
Hulene B	-25,89807	32,5993811	8,1	20,83	579	411	6,65	1,84	0	0
Laulane	-25,90319	32,604309	7,71	21,13	1183,67	840,33	7,66	0,66	117,8	0
Alto-Maé A	-25,95743	32,5729188	7,71	21,2	576,67	409,67	7,6	2,86	83,3	2,55
Jardim	-25,92747	32,5528174	8,36	21,1	447,67	317,67	7,27	0,74	123	12,2
Xipamanine	-25,94062	32,5606	7,92	20,9	534	379,33	6,72	1,59	1	0
Inhagoia B	-25,92173	32,5462607	8,18	21,4	575,33	408,33	6,59	1,04	328,2	0
George Dimitrov	-25,88676	32,5706786	7,55	21,3	625,67	438,67	7,11	0,84	1986,3	0
Hulene A	-25,91445	32,5936332	8,1	22	540	384	8,29	1,43	0	0