



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

TRABALHO DE LICENCIATURA

TRABALHO DE LICENCIATURA

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE BACTÉRIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE MAPUTO- BACIA DO RIO INFULENE

Autor: Flora Edlene Meque

Supervisor:

Prof. Doutor Clemêncio Nhantumbo, Eng^o

Co-supervisores:

Lic. Dominic Joaquim, Eng^o

Lic. Michael Lourenço Dosse, Eng^o

Maputo, Julho de 2025



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

TRABALHO DE LICENCIATURA

TRABALHO DE LICENCIATURA

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE BACTÉRIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE MAPUTO- 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.

Maputo, Julho de 2025



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante _____
entregou no dia ____/____/20____ as ____ cópias do relatório do seu Trabalho de
Licenciatura com a referência: _____ Intitulado: _____

Maputo, ____ de _____ 20____,

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Flora Edlene Meque, declaro por minha honra que o presente trabalho com o tema “**AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE BACTÉRIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE MAPUTO- BACIA DO RIO INFULENE**” é integralmente da minha autoria e a informação nele contido é fruto do trabalho de investigação que culminou com observações no campo, análises laboratoriais e pesquisas bibliografias consultadas. Declaro também que este trabalho nunca foi apresentado por um outro autor.

Maputo, Junho de 2025

O Autor

(Flora Edlene Meque)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Albertina Daniel Afana Banze Nhantsave e Victor Manuel Caetano Meque, por tudo o que fizeram por mim até hoje. O vosso amor incondicional, apoio incansável e os vossos sacrifícios foram a base sólida que me permitiu alcançar este objectivo. E também à memória dos meus avós, Alexandre Meque e Daniel Banze, que, embora já não estejam aqui presentes, continuam a inspirar-me.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa a culminação de uma jornada de dedicação e esforço, que não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de diversas pessoas e instituições, às quais expresso a minha mais profunda gratidão.

Em primeiro lugar, o meu sincero agradecimento à Universidade Eduardo Mondlane, em particular à Faculdade de Engenharia, por ter proporcionado um ambiente de aprendizagem enriquecedor e por todo o conhecimento adquirido ao longo dos meus estudos, que fundamentaram esta pesquisa.

Um agradecimento especial aos meus supervisores, Prof. Doutor Clemêncio Nhantumbo, Lic. Dominic Joaquim e Lic. Michaque Lourenço Dosse. A vossa constante disponibilidade, a sabedoria partilhada através dos ensinamentos, o incentivo contínuo, a valiosa orientação e, sobretudo, a confiança em mim depositada para a execução deste trabalho foram pilares essenciais para o seu sucesso.

Estendo os meus agradecimentos à Dona Maria das Dores, Técnica do Laboratório de Hidráulica Sanitária do Departamento de Engenharia Civil – FEUEM, pela sua inestimável assistência e acolhimento caloroso durante a realização de todos os ensaios laboratoriais.

Aos meus queridos colegas e amigos, o meu profundo obrigado pelo apoio depositado nas nossas conversas e partilhas, que foram de grande utilidade e motivação para a concretização deste trabalho.

À minha família, o meu reconhecimento por todo o apoio nesta jornada, que me fez ver a importância e o valor do caminho da educação. Um agradecimento muito especial à minha querida irmã, Lúcia Emy Meque, que me acompanhou e ajudou incansavelmente ao longo desta etapa desafiadora.

Por fim, e acima de tudo, o meu eterno agradecimento a Deus, que esteve sempre comigo, guiando os meus passos e garantindo que eu chegasse até aqui. A sua presença e ajuda foram a minha força nos momentos difíceis e a minha alegria nos momentos bons.

A todos que contribuíram, directa ou indirectamente, para a concretização deste sonho, o meu sincero obrigado.

RESUMO

A degradação da qualidade da água em centros urbanos, devido a saneamento deficiente e descargas de efluentes não tratado, constitui um grave problema ambiental, agravado pela crescente disseminação de bactérias resistentes a antibióticos (BRA). Em Moçambique, este problema é acentuado pela urbanização e pelo crescimento de assentamentos informais, sem ou com sistemas de saneamento deficiente, o que aumenta o descarte directo de efluentes em corpos de água. O presente estudo avaliou a qualidade físico-química e microbiológica, incluindo BRA, no sistema de drenagem urbana, Sistema 3, na Bacia do Rio Infulene, Maputo, caracterizado pela descarga directa de efluentes em áreas com assentamentos informais. Foram realizadas duas campanhas de amostragem, épocas seca e húmida, em 12 pontos, analisando parâmetros físico-químicos, indicadores de contaminação fecal e *Escherichia coli* produtora de β -lactamases de espectro estendido (ESBL). Os resultados revelaram que, embora temperatura e pH estivessem nos limites, a qualidade da água foi comprometida por outros parâmetros, com níveis elevados de nutrientes com fosfatos superando 44 mg/L e nitratos atingindo até 99 mg/L na Mafalala e DBO ultrapassando 73 mg/L e DQO chegando a 128,9 mg/L em Xipamanine. Do ponto de vista microbiológico, a época seca apresentou coliformes totais com até $6,8 \times 10^8$ NMP/100 mL e fecais, atingindo até $1,6 \times 10^7$ NMP/100 mL, extremamente elevados na Mafalala, com todos os pontos excedendo o limite de irrigação para *E. coli*. Na época húmida, a detecção de *E. coli* produtora de ESBL atingiu até 300.000 UFC/mL e foi expressiva em vários bairros, incluindo Mafalala, Maxaquene e Munhuana. A presença destas BRA em pontos de irrigação eleva sérias preocupações para a saúde pública. Em suma, o sistema de drenagem em estudo configura-se como um foco de poluição urbana, contribuindo directamente para a degradação ambiental da Bacia do Rio Infulene e para a disseminação de microrganismos resistentes, com sérias implicações para a saúde humana.

Palavras-chave: drenagem urbana, resistência a antibióticos, bactérias resistentes, águas residuais, Rio Infulene.

ABSTRACT

The degradation of water quality in urban centers, due to poor sanitation and the discharge of untreated effluents, constitutes a serious environmental problem, exacerbated by the growing spread of antibiotic-resistant bacteria (ARB). In Mozambique, this issue is intensified by urbanization and the expansion of informal settlements, which lack or have inadequate sanitation systems, increasing the direct discharge of effluents into water bodies.

This study assessed the physicochemical and microbiological quality, including ARB, of the urban drainage system, System 3, in the Infulene River Basin, Maputo, characterized by direct effluent discharge in areas with informal settlements. Two sampling campaigns were conducted—during the dry and wet seasons—at 12 points, analyzing physicochemical parameters, indicators of fecal contamination, and *Escherichia coli* producing extended-spectrum β -lactamases (ESBL).

Results revealed that although temperature and pH were within acceptable limits, water quality was compromised by other parameters, with high nutrient levels—phosphates exceeding 44 mg/L and nitrates reaching up to 99 mg/L in Mafalala—and BOD surpassing 73 mg/L and COD reaching 128.9 mg/L in Xipamanine. From a microbiological perspective, the dry season showed total coliforms up to 6.8×10^8 MPN/100 mL and fecal coliforms up to 1.6×10^7 MPN/100 mL, extremely high in Mafalala, with all points exceeding the irrigation limit for *E. coli*. In the wet season, detection of ESBL-producing *E. coli* reached up to 300,000 CFU/mL and was significant in several neighborhoods, including Mafalala, Maxaquene, and Munhuana.

The presence of these ARB in irrigation points raises serious public health concerns. In summary, the drainage system under study constitutes a hotspot of urban pollution, directly contributing to the environmental degradation of the Infulene River Basin and the spread of resistant microorganisms, with serious implications for human health.

Keywords: urban drainage, antibiotic resistance, resistant bacteria, wastewater, Infulene River.

LISTAS DE ABREVIATURA E SIGLAS

BRA	Bactérias Resistentes a Antibióticos
CE	Conductividade Eléctrica
CT	Coliformes totais
DQO	Demanda química de oxigênio
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
ESBL	β -lactamases de espectro estendido
FEUEM	Faculdade de Engenharia - Universidade Eduardo Mondlane
FEPASA	Fundação Estadual de Proteção Ambiental de Santa Catarina
Km	Quilómetro
Km ²	Quilómetro quadrado
mg/l	Miligramas por litro
NMP	Número mais provável (NMP/100ml)
pH	Potencial de hidrogénio
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
UFC	Unidades Formadoras de Colónias
°C	Grau Celsius

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Representação esquemática de um sistema do tipo unitário.....	10
Figura 2- Representação esquemática de um sistema do tipo separativo.	11
Figura 3- Tubulação de um sistema de drenagem urbana.....	12
Figura 4- Guias sendo instaladas.....	13
Figura 5- Guias e sarjetas.	13
Figura 6- Boca de lobo.	14
Figura 7- Mecanismos de resistência a antibióticos.	20
Figura 8- Mecanismos de Transferência Horizontal de Genes de Resistência.	21
Figura 9- Vala da Avenida Acordos de Lusaka.	33
Figura 10- Vala da Avenida de Angola.....	34
Figura 11- Vala do bairro Aereporto A (a), vala proxima do Centro de Saude de Xipamanine (b) e vala dos bairros Chamanculo D e Xipamanine (c).	34
Figura 12- a) Xipamanine; b) Aereporto e c) Av. Acordos de Lusaka.	35
Figura 13- a) Mafalala; b) Xipamanine e c) Chamanculo.	36
Figura 14- a) Mafalala e b) Água esverdeada com proliferação de microalgas (Mafalala).	37
Figura 15- a) Maxaquene; b) Chamanculo e c) Xipamanine.	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Temperatura por ponto de amostragem.	42
Gráfico 2- pH por ponto amostragem.	43
Gráfico 3- Condutividade Eléctrica por ponto de amostragem.	44
Gráfico 4- Sólidos Totais Dissolvidos por ponto de amostragem.	45
Gráfico 5- Oxigénio Dissolvido por ponto de amostragem.	46
Gráfico 6- Fosfatos (a) e Nitratos (b) por Ponto de Amostragem.	48
Gráfico 7- (a) DBO e (b) DQO por ponto de amostragem.	49
Gráfico 8- (a) CT e (b) CF por ponto de amostragem.	51
Gráfico 10- Resistência a Antibióticos por Ponto de Amostragem	54

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1- Localização geográfica da área de estudo.....	28
Mapa 2- Uso e ocupação do solo.....	30
Mapa 3- Principais soluções ou alternativas de saneamento utilizados em cada bairro da cidade de Maputo.....	31
Mapa 4- Sistemas de drenagem e principais infra-estruturas da Cidade de Maputo.	32
Mapa 5- Localização dos pontos de amostragem.....	38
Mapa 6- Distribuição espacial de resultados de CT.....	52
Mapa 7- Distribuição espacial de resultados de CF.....	52
Mapa 8- Distribuição espacial de resultados de BRA (E. coli- ESBL).	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Evolução dos sistemas de drenagem pluvial.	8
Tabela 2- Identificação dos pontos de amostragem.....	39
Tabela 3- Principais limites e padrões de referência utilizados.	Error! Bookmark not defined.

ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA.....	ii
DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
LISTAS DE ABREVIATURA E SIGLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
ÍNDICE DE MAPAS.....	x
ÍNDICE DE TABELAS	xi
1. INTRODUÇÃO	2
1.1. Objectivos	4
1.1.1. Objectivo Geral.....	4
1.1.2. Objectivos Específicos.....	4
1.2. Metodologia.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	Error! Bookmark not defined.
2.1. Drenagem Urbana e Sistemas de Drenagem	7
2.1.1. Drenagem Urbana	7
2.1.2. Sistemas de Drenagem Urbana	8
2.1.3. Tipos de Sistemas de Drenagem	9
2.1.4. Componentes dos Sistemas de Drenagem	11
2.2. Impactos da Gestão Ineficiente das Águas Residuais e Pluviais	14
2.2.1. Efeito da Urbanização na Drenagem Urbana	15
2.2.2. Poluição e Contaminação das Águas Residuais Urbanas.....	16
2.2.3. Consequências Ambientais da Poluição das Águas Residuais Pluviais	17
2.3. Antibióticos no Ambiente: Ocorrência e Resistência.....	17

2.3.1.	Resistência a Antibióticos.....	19
2.3.2.	Resistência a Antibióticos no Meio Ambiente	21
2.4.	Parâmetros de Qualidade da Água	23
2.4.1.	Parâmetros Físico- Químicos	23
2.4.2.	Parâmetros Micrológicos	25
2.5.	Enquadramento Legal.....	26
3.	ÁREA DE ESTUDO..... Error! Bookmark not defined.	
3.1.	Caracterização da Área de Estudo	28
3.1.1.	Localização Geográfica	28
3.1.2.	Clima	29
3.1.3.	Uso e Ocupação do Solo.....	29
3.2.	Caracterização do Saneamento e Sistema de Drenagem da Área em Estudo 30	
3.2.1.	Saneamento da Cidade de Maputo	30
3.2.2.	Caracterização do Sistema de Drenagem da Área de Estudo	31
3.2.3.	Condições Actuais do Sistema de Drenagem	35
4.	METODOLOGIA.....	38
4.1.	Pontos de Recolha das Amostras	38
4.2.	Análises Laboratoriais.....	40
4.2.1.	Parâmetros Físico-Químicos	40
4.2.2.	Parâmetros Microbiológicos	40
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO..... Error! Bookmark not defined.	
5.1.	Parâmetros Físico- Químicos.....	41
5.2.	Parâmetros Microbiológicos	50
6.	CONCLUSÃO.....	55
6.1.	Recomendações	56
	ANEXOS	66

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida e os ecossistemas, cobrindo mais de 70% da superfície terrestre. No entanto, apenas cerca de 2% desse volume é composto por água doce, tornando sua preservação fundamental (FIGUEIREIDO, 2023). Esse recurso enfrenta ameaças constantes devido à contaminação química e microbiológica, agravadas pelo crescimento populacional e pelo uso inadequado dos recursos hídricos.

Neste contexto, um dos principais desafios para a preservação da qualidade da água doce está relacionado à gestão das águas residuais nas zonas urbanas, sobretudo em países em desenvolvimento. A contaminação das águas urbanas ocorre predominantemente nas periferias, onde a infraestrutura de saneamento básico é deficiente (CHEROBIM, 2017). Isso resulta no lançamento de águas residuais domésticas nos sistemas de drenagem pluvial, que escoam diretamente para corpos hídricos sem tratamento adequado (TUCCI, 2008). Além dos impactos ambientais, a falta de saneamento compromete a qualidade da água para consumo humano, irrigação, pesca e lazer (CHAHAL, et al., 2016).

Entre os contaminantes presentes nas águas residuais, as bactérias resistentes a antibióticos são particularmente preocupantes (AHMAD, 2017). Estas bactérias, provenientes sobretudo de esgotos domésticos e hospitalares, são favorecidas pelo uso inadequado de antibióticos, o que contribui para a selecção de microrganismos resistentes, reduzindo a eficácia dos tratamentos antimicrobianos e aumentando os riscos à saúde pública (SAMROT, ORCID, PREETH, PRAKAH, & SATHIYASREE, 2023). A capacidade de adaptação e resistência dos microrganismos tem sido demonstrada desde a introdução da penicilina em 1928, quando, poucos anos após o seu uso clínico, já surgiam cepas resistentes de *Staphylococcus aureus* (DEURENBERG & STOBBERINGH, 2008)

A presença de bactérias tem sido amplamente documentada em ambientes aquáticos, como águas residuais hospitalares, esgotos domésticos, estações de tratamento de águas residuais, e até mesmo em corpos hídricos naturais próximos a centros urbanos (MIYAK, KASAHAR, & MORISAKI, 2003). No contexto moçambicano, estudos conduzidos na Bacia do Rio Infulene evidenciam esse problema. Um exemplo é o trabalho de Matsinhe (2024), intitulado "*Susceptibilidade*

antimicrobiana de Escherichia coli e Klebsiella pneumoniae isoladas em alface e água no Infulene", que evidenciou a contaminação microbiológica da Bacia do Infulene, com foco na presença de bactérias resistentes a antibióticos em vegetais, alface, e na água usada para irrigação, oriunda dessa Bacia. No entanto, até o momento, não se identificam estudos que abordem especificamente a contribuição do sistema de drenagem urbana da Cidade de Maputo na contaminação da Bacia por bactérias resistentes a antibióticos.

O sistema de drenagem da Cidade de Maputo é dividido em quatro sistemas, sendo o Sistema 3 aquele que abrange a área semi-urbana do município. Esse sistema é composto principalmente por uma rede de drenagem pluvial que descarrega directamente no Rio Infulene sem tratamento prévio, podendo impactar a qualidade da água do meio receptor (NHANTUMBO, 2022).

Na região da Bacia do Rio Infulene, o sistema de drenagem das águas residuais domésticas e pluviais é um ponto crítico para a avaliação da resistência a antibióticos. Esse sistema atende áreas densamente povoadas, especialmente assentamentos informais, onde a infra-estrutura de saneamento é precária (NHANTUMBO, 2022). A ausência de instalações sanitárias adequadas e a prática comum de descarte directo de águas residuais nas valas de drenagem aumentam a carga de contaminantes, o que pode contribuir para a presença de microrganismos resistentes a antibióticos nas águas pluviais.

Diante desse cenário, este estudo busca avaliar a ocorrência de bactérias resistentes a antibióticos no sistema de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais ao longo da Bacia do Rio Infulene. Pretende-se, por meio dessa avaliação, obter informações fundamentais para a caracterização da situação actual desses sistemas de drenagem, bem como identificar possíveis intervenções que possam ser implementadas para aprimorar suas condições. Essa avaliação é de extrema importância não apenas devido aos danos directos causados pela contaminação microbiológica, mas também em virtude de seu impacto significativo na saúde pública.

1.1. Objectivos

1.1.1. Objectivo Geral

- Avaliar a qualidade da água e a ocorrência de bactérias resistentes a antibióticos no sistema de drenagem urbana da Bacia do Rio Infulene, na Cidade de Maputo.

1.1.2. Objectivos Específicos

- Caracterizar o sistema de drenagem urbana na área de estudo;
- Identificar os pontos de amostragem;
- Realizar análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água recolhidas no sistema de drenagem;
- Comparar os resultados obtidos com os padrões de qualidade estabelecidos pela legislação nacional e boas práticas internacionais;

1.2. Metodologia

A seguir, apresenta-se a metodologia utilizada na elaboração do presente relatório, a qual compreende as seguintes etapas: revisão bibliográfica, trabalho de campo, produção de mapas, análises laboratoriais e análise e compilação do relatório.

➤ Revisão Bibliográfica

Foi realizada uma revisão bibliográfica com base em pesquisas desenvolvidas em teses e artigos científicos, tanto em português como em inglês. O foco principal foi a recolha de informações relacionadas à ocorrência de bactérias resistentes a antibióticos em sistemas de drenagem de águas residuais.

➤ Produção de Mapas

Para facilitar a localização e representação dos pontos de amostragem, foi utilizado o software QGIS. Com esta ferramenta, foi possível mapear com precisão a área de estudo, identificar as zonas com maior influência dos bairros no sistema de drenagem e representar graficamente a distribuição espacial dos pontos de recolha de amostras.

➤ Trabalho de Campo

O trabalho de campo incluiu duas campanhas de amostragem realizadas em períodos distintos: uma durante a época seca e outra na época húmida. Inicialmente, foi feita uma observação detalhada da área de estudo para identificação dos pontos de amostragem ao longo do sistema de drenagem, considerando as contribuições dos bairros circundantes. Em cada ponto, foram recolhidas amostras de efluentes e medidos parâmetros físico-químicos diretamente no local, nomeadamente: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica.

➤ Análises Laboratoriais

As amostras recolhidas foram analisadas no Laboratório de Hidráulica Sanitária do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia. As análises incluíram parâmetros microbiológicos, com destaque para a quantificação de bactérias resistentes a antibióticos. Foram ainda realizadas análises físico-químicas

para determinar a concentração de nutrientes, como nitratos e fosfatos, bem como a medição da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), indicadores da carga orgânica presente nas águas residuais.

➤ **Análise e Compilação do Relatório**

Todos os dados recolhidos nas fases anteriores foram organizados e analisados de forma integrada. A análise dos resultados permitiu compreender melhor a situação da contaminação microbiológica na área de estudo. Por fim, foi elaborado um relatório técnico-científico contendo os resultados obtidos, a discussão dos mesmos e as principais conclusões do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Drenagem Urbana e Sistemas de Drenagem

A drenagem urbana é um componente crucial na gestão ambiental das áreas urbanas, especialmente em um contexto de rápida urbanização. Ela se refere ao conjunto de estruturas e práticas destinadas a controlar o escoamento de água proveniente das chuvas e do uso doméstico, visando prevenir inundações e minimizar impactos ambientais negativos (SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, , 2002).

Os sistemas de drenagem urbana são projectados para lidar com diferentes tipos de águas, como águas pluviais e águas residuais domésticas (TUCCI, 2008). Eles incluem uma variedade de estruturas, como redes de colecta de águas pluviais, bacias de detenção, estações de bombeamento e tratamento de águas residuais. Esses sistemas são projectados não apenas para garantir a segurança das áreas urbanas durante eventos de chuvas intensas, mas também para proteger a qualidade da água nos corpos de água receptores.

2.1.1. Drenagem Urbana

Ao longo de toda a história da humanidade, um factor primordial de desenvolvimento para as primeiras cidades era a proximidade aos cursos de água. Os rios representavam o provimento de água de abastecimento, via natural para comunicação e transporte, facilitando o comércio, além de fonte de energia para as primeiras civilizações (CUNHA, 2023).

Por outro lado, o aumento das aglomerações urbanas aliado a falta de planejamento no crescimento das cidades, em particular a partir do século XIX, motivou a redução dos processos de infiltração e, consequentemente, o aumento dos volumes escoados superficialmente levando a grandes inundações e enchentes. Até esse período existia ainda a cultura de despejo de esgoto e de resíduos nos leitos hídricos, contribuindo com a poluição das águas o que tornava as enchentes ainda mais perigosas, sendo um ponto de extrema preocupação para a saúde pública (TUCCI, 2008).

Em vista disso, ainda no século XX, iniciou-se o que convencionou-se chamar de Movimento Higienista que antes da década de 1970, trouxe redução de doenças, mas os rios continuavam contaminados.

Além disso, conforme demonstrado na Tabela 1, as preocupações com as águas urbanas variaram de estágio ao longo dos anos, trazendo a redução de inundações e melhorias na qualidade de vida da população apenas depois da década de 1990 (CUNHA, 2023).

Tabela 1- Evolução dos sistemas de drenagem pluvial.

Fase	Características	Consequências
Pré-higienista: até início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: até 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990 – até o momento	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Fonte: TUCCI (2008)

2.1.2. Sistemas de Drenagem Urbana

As águas residuais podem ser consideradas como domésticas, industriais e pluviais. As águas residuais domésticas provêm de instalações sanitárias, cozinhas e zonas

de lavagem de roupa. As águas residuais industriais derivam da actividade industrial. Já as águas residuais pluviais, ou simplesmente pluviais, resultam da precipitação atmosférica caída directamente no local ou em bacias (BRANCO, 2022).

Os sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais são um importante agente na gestão das águas pluviais e têm como objectivo primordial assegurar a recolha e o transporte das águas das chuvas, em condições apropriadas, para um meio receptor, de forma a evitar a ocorrência de inundações indesejáveis (LOURENÇO, 2014). Estas infraestruturas fazem parte de um conjunto de infraestruturas críticas necessárias à garantia da integridade física das propriedades urbanas e para evitar a perda de bens e vidas humana (NHANTUMBO, 2022).

Os sistemas de drenagem são classificados como de microdrenagem e de macrodrenagem, sendo:

- A **microdrenagem** aplica-se normalmente a áreas onde o escoamento natural não é bem definido e, portanto, acaba sendo determinado pela ocupação do solo. Em uma área urbana, a microdrenagem é essencialmente definido pelo traçado das ruas.
- A **macrodrenagem** entende-se por escoamentos em fundos de vale que normalmente são bem definidos mesmo que não correspondam a um curso de água perene. Essas bacias possuem áreas de pelo menos 5 km², dependendo da cidade e do grau de urbanização.

2.1.3. Tipos de Sistemas de Drenagem

Os sistemas de drenagem de águas residuais podem classificar-se em quatro tipos, em função da origem das águas que escoam, nomeadamente: sistemas unitários, sistemas separativos, sistemas mistos e sistemas separativos parciais ou pseudo-separativos (LOURENÇO, 2014).

➤ Sistemas Unitários

Os sistemas unitários (Figura 1), são constituídos por uma única rede de colectores onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais. Durante o período seco, as águas residuais são transportadas para uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR), onde após serem tratados, são

descarregados para os meios receptores. Aquando da ocorrência de precipitação, a capacidade do sistema ou da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) poderá ser insuficiente, devido aos caudais elevados, e as águas residuais podem ser diretamente descarregadas nos meios receptores através dos descarregadores de tempestades ou podem ser armazenados temporariamente em bacias de retenção (LOURENÇO, 2014).



Figura 1- Representação esquemática de um sistema do tipo unitário.

Fonte: LOURENÇO (2014).

➤ Sistemas Separativos

Os sistemas separativos (Figura 2) são constituídos por duas redes de colectores distintas: uma destinada a conduzir as águas residuais domésticas e industriais para a ETAR, e outra que conduz as águas pluviais ou similares para os meios receptores, sem ligações entre as duas redes. As águas pluviais são frequentemente descarregadas no meio receptor sem que sejam submetidas a qualquer tratamento (NHANTUMBO, 2022). O uso de sistemas separados tem sido visto como solução para os problemas de poluição causados pelos sistemas unitários. Na prática, a separação total dos dois tipos de efluentes nem sempre é possível, devido à existência de ligações indevidas, o que pode originar descargas de poluentes prejudiciais ao meio receptor (LOURENÇO, 2014).

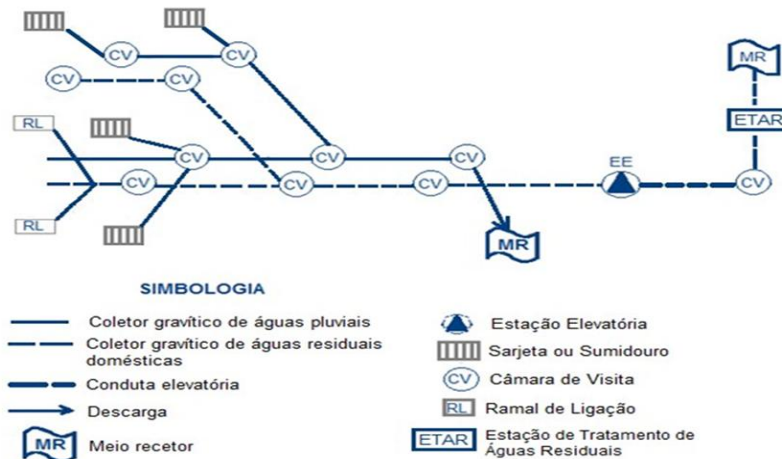


Figura 2- Representação esquemática de um sistema do tipo separativo.

Fonte: LOURENÇO (2014).

➤ **Sistemas Mistos**

A conjugação dos dois sistemas referidos anteriormente dá origem aos sistemas mistos, em que uma parte da rede é unitária e a outra parte separativa. Este tipo de sistemas é típico de vilas e cidades antigas, em fase de crescimento ou renovação.

➤ **Sistemas Separativos Parciais ou Pseudo-Separativos**

São sistemas em que se admite, em condições excepcionais, a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao colector de águas residuais domésticas. É admitida, excepcionalmente, a ligação da afluência de águas pluviais aos colectores domésticos, devido a essas águas não apresentarem condições de afluência gravítica aos respectivos colectores pluviais públicos (NHANTUMBO, 2022).

2.1.4. Componentes dos Sistemas de Drenagem

Independentemente do tipo de sistema de drenagem, separativos ou unitários, o sistema apresenta um conjunto de componentes principais que podem ser divididos em 3 grupos: redes de colectores, órgãos acessórios e órgãos especiais e instalações complementares.

➤ **Redes de colectores**

Conjunto de canalizações (tubulações), que visa assegurar a condução das águas pluviais desde os dispositivos de entrada até um ponto de lançamento ou destino final (BRANCO, 2022).



Figura 3- Tubulação de um sistema de drenagem urbana.

Fonte: Odebrecht Ambiental (2014)

➤ **Órgãos acessórios**

São os dispositivos de entrada, as câmaras de visita e os descarregadores (LOURENÇO, 2014). Eles incluem dispositivos que permitem a inspeção, limpeza e controle do fluxo de água nas redes de drenagem. Esses componentes são essenciais para garantir que o sistema funcione eficientemente e para evitar obstruções e falhas (BITTAR, 2015).

- **Guias-** são dispositivos que orienta a drenagem superficial além da limitação de área da plataforma dos terrenos marginais, geralmente são encontradas em segmentos onde é comum e necessária a orientação do tráfego.



Figura 4- Guias sendo instaladas.

Fonte: SILVA, et al. (2019).

- **Sarjetas-** são canais longitudinais que seguem o sentido das vias e são dirigidos a coletar e conduzir as águas superficiais da faixa pavimentada e da faixa de passeio até o dispositivo de drenagem, galeria, boca de lobo, etc. Geralmente são encontradas juntamente com as guias (SILVA, et al., 2019).



Figura 5- Guias e sarjetas.

Fonte: GRUPO PAVERS (2024)

- **Boca de lobo-** também denominadas de bocas colectoras, são estruturas hidráulicas para captação das águas superficiais transportadas pelas sarjetas e sarjetões, em geral situam-se sob o passeio ou sob a sarjeta (Figura 7).



Figura 6- Boca de lobo.

Fonte: SILVA, et al. (2019).

➤ Órgãos especiais e instalações complementares

Os órgãos especiais e instalações complementares são estruturas e equipamentos específicos que desempenham funções críticas no sistema de drenagem. Eles podem incluir dispositivos para controlar a quantidade e a qualidade da água drenada, bem como estruturas para lidar com situações de emergência ou fluxos excessivos.

- **Bacias de retenção-** estruturas que desempenham a função de regulação de caudais pluviais. Após o evento pluvioso a água retida vai sendo libertada, de forma controlada, a fim de evitar inundações a jusante (BRANCO, 2022).
- **Desarenadores-** são dispositivos permite a remoção de partículas com dimensão igual ou superior a 0,2mm, evitando a deposição de materiais granulares presentes nas águas pluviais.
- **Descarregadores de emergência-** são dispositivos que facilitam a descarga de caudais de cheia, caso seja necessário.

2.2. Impactos da Gestão Ineficiente das Águas Residuais e Pluviais

A gestão eficiente da drenagem urbana desempenha um papel crucial na preservação da saúde pública, segurança e bem-estar das cidades. De acordo com Pescadinha e Faria (2021), a má gestão desse sistema pode desencadear uma série de problemas,

incluindo inundações, erosão do solo, contaminação da água e danos à infraestrutura.

Tucci (2002) destaca que a ausência de planejamento e manutenção adequados para os sistemas de drenagem urbana pode acarretar impactos negativos significativos na qualidade de vida das comunidades urbanas. Além disso, negligenciar a gestão adequada pode contribuir para a propagação de doenças transmitidas pela água. Os impactos incluem também perdas económicas significativas, devido aos custos de reparação dos danos causados por inundações e à interrupção de actividades comerciais e de transporte.

2.2.1. Efeito da Urbanização na Drenagem Urbana

A urbanização exerce um forte impacto no sistema de drenagem urbana, resultando em mudanças significativas no ambiente e nas infra-estruturas das cidades. O aumento da impermeabilização do solo devido ao crescimento urbano é um dos principais factores que afectam a drenagem urbana.

À medida que as cidades crescem e se expandem, a paisagem natural é substituída por infra-estruturas artificiais e superfícies impermeáveis, como estradas, estacionamento e edifícios, o que resulta em um aumento de escoamento superficial. Em vez da água ser absorvida pelo solo e recarregar os aquíferos subterrâneos, a água da chuva é rapidamente direccionada para os sistemas de drenagem, aumentando o risco de inundações e alagamentos (SILVA, LEAL, & LOUREIRO, 2023).

Além disso, a urbanização causa alterações no ciclo hidrológico (TUCCI, 2002). Em um ambiente natural, a água da chuva infiltra no solo, alimenta os lençóis freáticos e é lentamente liberada para os rios e córregos. No entanto, a urbanização altera esse equilíbrio. A impermeabilização do solo reduz a infiltração da água da chuva, aumenta o escoamento superficial e diminui a recarga dos lençóis freáticos. Isso pode levar a uma alteração no regime de vazões dos rios, com picos de vazão mais altos e mais rápidos, aumentando o risco de inundações (MONTERO, ALVES, & GUEDES, 2016).

As mudanças decorrentes da urbanização também sobrecarregam as infra-estruturas de drenagem existentes. Os sistemas de drenagem são projectados para lidar com

uma certa quantidade de água. No entanto, o aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização pode exceder a capacidade desses sistemas, especialmente durante eventos de chuva intensa (LERMEN, CLERICI, SCHEIN, FRONZA, & FRONZA, 2020). Isso pode resultar em erosão, inundações e alagamentos, causando danos à propriedade e representando um risco para a saúde e a segurança públicas.

2.2.2. Poluição e Contaminação das Águas Residuais Urbanas

As águas residuais urbanas resultam da mistura de efluentes de diferentes origens: domésticos, provenientes de instalações sanitárias, cozinhas e lavandarias; industriais, decorrentes de processos produtivos; e pluviais, originadas pela precipitação atmosférica. A sua gestão inadequada pode gerar impactos ambientais e sanitários significativos, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos e afetando diretamente a biodiversidade e a saúde pública.

A poluição das águas residuais caracteriza-se pela introdução de substâncias químicas e biológicas em concentrações nocivas, enquanto a contaminação refere-se à mera presença desses agentes. Assim, embora toda poluição seja uma forma de contaminação, nem toda contaminação representa necessariamente poluição. Estes efluentes contêm uma matriz complexa composta por matéria orgânica, nutrientes, metais pesados, microrganismos patogénicos e poluentes emergentes, como e microplásticos.

O descarte inadequado das águas residuais tem efeitos devastadores nos ecossistemas. A descarga de efluentes não tratados nos cursos de água provoca a degradação da biodiversidade aquática, contribuindo para a eutrofização, um fenómeno em que o excesso de nutrientes estimula a proliferação de algas, reduzindo os níveis de oxigénio dissolvido e tornando o meio inabitável para várias espécies. Além disso, a acumulação de contaminantes pode afetar a cadeia alimentar, levando à bioacumulação de substâncias tóxicas nos organismos aquáticos.

Os impactos sobre a saúde humana são igualmente preocupantes. O consumo de água contaminada por excrementos expõe as populações a doenças como cólera, hepatite A e disenteria. As doenças diarreicas, frequentemente associadas à falta de saneamento, representam um dos principais desafios de saúde pública. Além das

infecções microbiológicas, a presença de substâncias químicas nas águas residuais pode causar intoxicações e afetar o funcionamento do organismo a longo prazo (KRONENBERGER & JUNIOR, 2012).

A degradação dos recursos hídricos tem ainda consequências socioeconômicas profundas, particularmente nas comunidades que dependem dos rios e lagos para abastecimento, pesca e agricultura. O déficit de infraestruturas de saneamento e o descarte irregular de efluentes agravam este problema, perpetuando ciclos de vulnerabilidade e afetando diversas gerações (COSME, 2025).

2.2.3. Consequências Ambientais da Poluição das Águas Residuais Pluviais

À medida que as áreas urbanas continuam a expandir-se, a gestão das águas residuais e pluviais torna-se cada vez mais crítica. As consequências ambientais da poluição dessas fontes são significativas e complexas. Poluentes como sedimentos, nutrientes, metais pesados, patógenos e toxinas de esgotos podem diminuir gravemente a qualidade da água. Eles representam uma ameaça às fontes de água potável, complicam os processos de tratamento de água e podem levar à concentração de poluentes durante condições de seca devido à diluição limitada.

O escoamento de águas pluviais representa riscos significativos para a saúde ambiental, incluindo a vida selvagem e os ecossistemas. Pode transportar óleo, borracha, metais pesados e outros contaminantes dos automóveis para os nossos sistemas de água. Esta poluição pode desencadear problemas ambientais hídricos, como a eutrofização (um processo em que as massas de água recebem nutrientes em excesso que estimulam o crescimento excessivo das plantas) e a perda de biodiversidade (MA, LI, YANG, & LI, 2022).

Além disso, o impacto do escoamento de águas pluviais estende-se à saúde humana. Os transbordamentos de esgoto poluem as águas com patógenos que podem acabar em fontes de água potável causando diversas doenças e problemas de saúde.

2.3. Antibióticos no Ambiente: Ocorrência e Resistência

A presença de antibióticos no meio ambiente é uma questão crescente de preocupação, devido aos seus impactos significativos na saúde pública e no

ecossistema. O uso excessivo e indiscriminado de antibióticos não se limita apenas aos hospitais e prescrições médicas, mas também se estende a diversas indústrias, incluindo a produção de alimentos e bebidas, onde são utilizados para evitar o crescimento de microrganismos indesejáveis (SALVATI & VIDEIRA, 2019). Os resíduos desses antibióticos acabam sendo descartados no meio ambiente, exercendo uma “pressão selectiva”, ou seja, sua presença em contacto com microrganismos leva à morte as bactérias sensíveis, sobrevivendo somente as bactérias resistentes (CHEROBIM, 2017). Essas bactérias podem transferir genes de resistência para outras populações bacterianas, agravando o problema da resistência a antibióticos.

Além disso, a resistência a antibióticos emergente no meio ambiente pode retornar aos humanos através de diferentes vias, como o consumo de água e alimentos contaminados, bem como pelo contacto directo com ambientes. A contaminação ambiental por antibióticos representa um risco significativo, pois pode comprometer a eficácia desses medicamentos e dificultar o tratamento de infecções tanto em humanos quanto em animais (BERENDONK, MANAIA, & MERLIN, 2015).

Os antibióticos são aplicados em diferentes contextos: medicina humana, medicina veterinária e aquicultura. Uma parte considerável desses antibióticos administrados não é completamente metabolizada pelos organismos, sendo excretada na urina e fezes (SAMROT, ORCID, PREETH, PRAKAH, & SATHIYASREE, 2023). Essa excreção dá origem a resíduos como o esterco e o esgoto. O esterco, principalmente de origem animal, pode ser aplicado directamente no solo, facilitando a penetração de antibióticos nas águas subterrâneas (KÜMMERER, 2004).

Já o esgoto, tanto doméstico quanto hospitalar, é conduzido para as Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETARs). No entanto, muitas dessas instalações não são totalmente eficazes na remoção de antibióticos, permitindo que esses compostos persistam nos efluentes tratados (SAMROT, ORCID, PREETH, PRAKAH, & SATHIYASREE, 2023). Tais efluentes acabam sendo lançados directamente nos corpos hídricos superficiais, como rios, promovendo a disseminação da resistência bacteriana no ambiente aquático (BERENDONK, MANAIA, & MERLIN, 2015). A contribuição dos efluentes hospitalares é especialmente relevante, pois além dos

antibióticos, contêm metais pesados, desinfetantes e microrganismos patogênicos, muitos dos quais já resistentes (RIZZO, et al., 2013).

O descarte inadequado de medicamentos vencidos, realizado por meio de pias ou vasos sanitários, também intensifica a presença de antibióticos nos sistemas de esgoto e, conseqüentemente, nos corpos de água (SAMROT, ORCID, PREETH, PRAKAH, & SATHIYASREE, 2023).

Além das fontes humanas e hospitalares, o escoamento superficial de áreas agrícolas e pecuárias, especialmente durante eventos de chuva intensas, transporta sedimentos e fertilizantes contaminados com antibióticos para os sistemas de drenagem urbana. Isso é comum quando se utilizam esterco animal, fertilizantes e pesticidas que contêm resíduos desses compostos. A elevada solubilidade dos antibióticos favorece sua mobilidade no solo e nas águas superficiais, tornando-os poluentes persistentes e de difícil remoção (KÜMMERER, 2004).

Essas rotas convergem, ao final, para os corpos receptores, rios, onde os antibióticos se acumulam, promovendo a seleção de bactérias resistentes e ampliando os riscos à saúde pública e ao equilíbrio ambiental.

2.3.1. Resistência a Antibióticos

A resistência a antibióticos é o processo pelo qual as bactérias desenvolvem a capacidade de sobreviver na presença desses medicamentos, o que compromete sua eficácia no tratamento de infecções. Esse fenômeno pode ocorrer por mecanismos como: **inativação enzimática** (por exemplo, produção de β -lactamases que destroem o antibiótico), **modificação do sítio-alvo** (alterações nas proteínas que os antibióticos atacam), **bombas de efluxo** (que expulsam o antibiótico da célula) e **redução da permeabilidade da membrana**, dificultando a entrada do composto na célula (Figura 7).

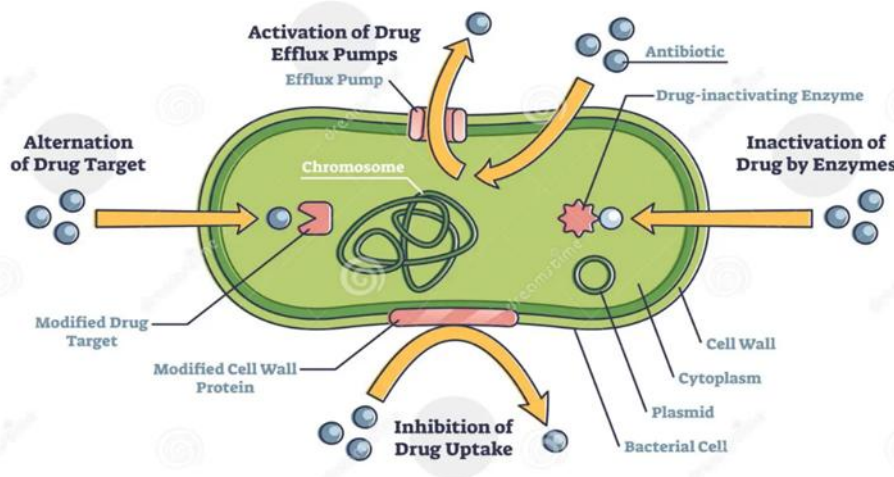


Figura 7- Mecanismos de resistência a antibióticos.

Fonte: DREAMSTIME (2025).

Além das mutações espontâneas, as bactérias podem adquirir resistência por **transferência horizontal de genes (THG)**, que permite a troca de material genético entre diferentes bactérias (Figura 8). Os três principais mecanismos de THG são:

- **Conjugação:** transferência de DNA entre bactérias por contato direto, geralmente por fímbrias sexuais.
- **Transformação:** captação de fragmentos de DNA do ambiente, provenientes de bactérias mortas.
- **Transdução:** transferência de genes mediada por vírus bacterianos (bacteriófagos), que podem transportar genes de resistência de uma bactéria para outra.

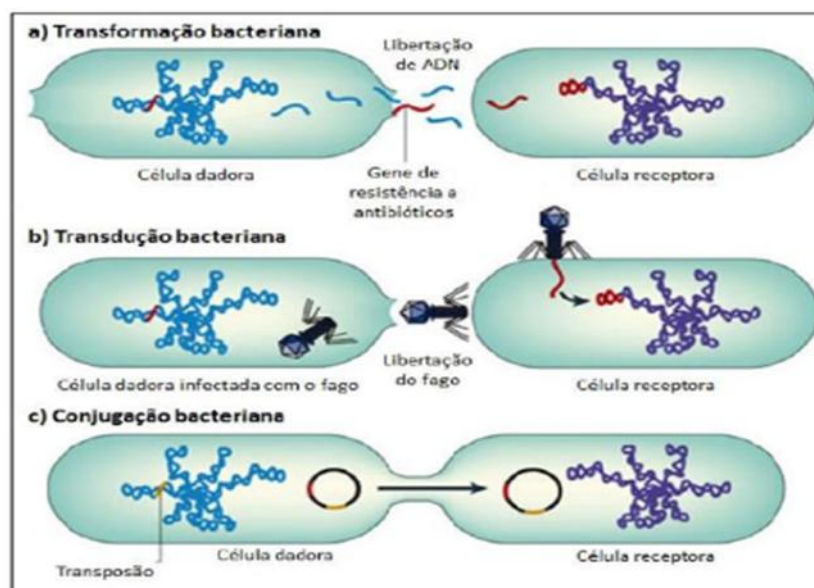


Figura 8- Mecanismos de Transferência Horizontal de Genes de Resistência.

Fonte: ZAGONEL, ZANGONEL, & OGILIARI (2021).

O uso excessivo de antibióticos na medicina, na pecuária e o descarte inadequado de resíduos farmacêuticos contribuem para a disseminação da resistência no ambiente. Quando os antibióticos atingem solos e águas, mesmo em concentrações baixas, favorecem a seleção de bactérias resistentes. Isso representa um risco significativo para a saúde pública, pois limita as opções de tratamento eficazes.

2.3.2. Resistência a Antibióticos no Meio Ambiente

A resistência a antibióticos é hoje uma das mais sérias ameaças à saúde humana, animal e ambiental. Embora, por muitos anos, tenha sido considerada um problema restrito ao ambiente hospitalar, evidências crescentes mostram que o meio ambiente desempenha um papel fundamental na emergência, manutenção e disseminação da resistência antimicrobiana. A presença de bactérias resistentes e genes de resistência em compartimentos ambientais como o solo, ar, sedimentos e especialmente nos corpos hídricos tem atraído a atenção da comunidade científica e de instituições internacionais como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO).

A origem da resistência a antibióticos no ambiente está fortemente ligada ao uso indiscriminado desses fármacos tanto na medicina humana quanto na medicina veterinária, além do seu uso em larga escala na agricultura e aquicultura. Uma

porção significativa dos antibióticos administrados não é completamente metabolizada pelos organismos, sendo excretada e liberada no ambiente por meio de águas residuais domésticas, hospitalares e industriais, muitas vezes sem tratamento adequado. Esse aporte constante de antibióticos e microrganismos resistentes promove um ambiente de seleção que favorece a proliferação de bactérias resistentes (BAQUERO & BLÁSQUEZ, 2008).

No ambiente terrestre, solos fertilizados com estrume animal contaminado ou irrigados com águas residuais são fontes importantes de resistência. No entanto, é no meio aquático que os efeitos da presença de antibióticos e bactérias resistentes se tornam mais amplos e difusos. Rios, lagos, oceanos e, especialmente, estações de tratamento de águas residuais (ETARs) actuam como verdadeiros reservatórios e pontos críticos na dinâmica da resistência antimicrobiana.

Estudos demonstram que os corpos hídricos receptores de efluentes urbanos, hospitalares e industriais apresentam elevadas concentrações de antibióticos e genes de resistência, tornando-se ambientes ideais para a troca horizontal de genes entre microrganismos (RIZZO, et al., 2013). Essa troca pode ocorrer por mecanismos como conjugação, transformação e transdução, facilitando a dispersão dos genes de resistência entre diferentes espécies bacterianas, incluindo patógenos humanos.

As ETARs, mesmo desempenhando papel importante na remoção de carga orgânica e micro-organismos patogênicos, muitas vezes não são projectadas para eliminar completamente os antibióticos ou os genes de resistência. Como resultado, o efluente tratado pode ainda conter concentrações significativas de antibióticos e microrganismos resistentes, os quais são descarregados nos corpos hídricos, promovendo o impacto ambiental (RIZZO, et al., 2013). A situação torna-se ainda mais crítica em países em desenvolvimento, onde o acesso ao saneamento básico e ao tratamento adequado de águas residuais é limitado.

Nas águas superficiais, a presença de genes de resistência como o **blaTEM**, **sul1**, **tetA**, entre outros, tem sido amplamente reportada, mesmo em locais considerados remotos ou com baixa actividade antropogênica, o que indica a capacidade de dispersão global desses elementos genéticos (RIZZO, et al., 2013).

Além disso, os sedimentos de rios e lagos actuam como sumidouros de contaminantes, incluindo antibióticos, metais pesados e resíduos de pesticidas. Esses poluentes co-seleccionam a resistência, ou seja, mesmo na ausência de antibióticos, os metais e outros compostos tóxicos podem promover a seleção de bactérias resistentes (SEILER & BERENDONK, 2012). Isso ocorre porque alguns genes de resistência a antibióticos e metais estão localizados em elementos genéticos móveis compartilhados, como plasmídeos e transposões.

Outra preocupação crescente é o papel das águas subterrâneas na disseminação da resistência. Estudos recentes identificaram genes de resistência em aquíferos contaminados por infiltração de águas residuais ou lixiviados de aterros sanitários, o que representa um risco direto à qualidade da água potável, especialmente em regiões que dependem de poços para o abastecimento (NAGHAVI, et al., 2024).

2.4. Parâmetros de Qualidade da Água

A água contém, geralmente, diversos componentes, os quais provêm do próprio ambiente natural ou foram introduzidos a partir de actividades humanas.

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. Os indicadores de qualidade da água que serão abordados neste trabalho são discutidos a seguir, separados sob os aspectos físicos, químicos e biológicos.

2.4.1. Parâmetros Físico- Químicos

➤ Temperatura

Medida da intensidade de calor; é um parâmetro importante, pois, influi em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática. A temperatura pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogénicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

➤ **Sólidos Totais Dissolvidos (STD)**

Os sólidos totais dissolvidos (STD) representam a quantificação das substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas num líquido. São constituídos por partículas de diâmetro inferior a $10^{-3}\mu\text{m}$ e que permanecem em solução mesmo após a filtração (LANGA, 2022). A entrada dessas substâncias na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos) (NHANTUMBO, 2022).

➤ **Condutividade Elétrica**

Representa a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água.

➤ **pH**

Representa o equilíbrio entre íons H^+ e íons OH^- ; varia de 7 a 14; indica se uma água é ácida (pH inferior a 7), neutra (pH igual a 7) ou alcalina (pH maior do que 7); o pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos; pH baixo torna a água corrosiva; águas com pH elevado tendem a formar incrustações nas tubulações; a vida aquática depende do pH, sendo recomendável a faixa de 6 a 9.

➤ **Oxigênio Dissolvido (OD)**

O oxigênio dissolvido (OD) refere-se ao oxigênio molecular (O_2) dissolvido na água. Segundo Sperling (1996), o oxigênio dissolvido é vital para os organismos aeróbicos (que vivem na presença de oxigênio) no corpo de água (NHANTUMBO, 2022). Além disso, este parâmetro é tido como indicador primário para a qualidade da água e é considerado o principal parâmetro para caracterizar a poluição da água.

➤ **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

É a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica por ação de bactérias aeróbias. Representa, portanto, a quantidade de oxigênio que seria necessário fornecer às bactérias aeróbias, para consumirem a matéria orgânica

presente em um líquido (água ou esgoto). A DBO é determinada em laboratório, observando-se o oxigênio consumido em amostras do líquido, durante 5 dias, à temperatura de 20 °C.

➤ **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

É a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica, através de um agente químico. A DQO também é determinada em laboratório, em prazo muito menor do que o teste da DBO. Para o mesmo líquido, a DQO é sempre maior que a DBO.

➤ **Fosfatos**

Encontra-se na água nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico, é essencial para o crescimento de algas, mas, em excesso, causa a eutrofização; suas principais fontes são: dissolução de compostos do solo; decomposição da matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais; fertilizantes; detergentes; excrementos de animais.

➤ **Nitratos**

O nitrogênio pode estar presente na água sob várias formas: molecular, amônia, nitrito, nitrato; é um elemento indispensável ao crescimento de algas, mas, em excesso, pode ocasionar um exagerado desenvolvimento desses organismos, fenômeno chamado de eutrofização.

2.4.2. Parâmetros Micrológicos

➤ **Coliformes**

Coliformes são grupos de bactérias indicadoras de contaminação e são formados pelos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella*. Este grupo de bactérias normalmente habitam no intestino de homens e de animais e podem ser excretados juntamente com fezes, servindo, portanto, como indicadoras da contaminação de uma amostra de água por fezes (LANGA, 2022).

Há coliformes totais, que são grupos de bactérias gram-negativas, que podem ou não necessitar de Oxigênio - Aeróbias ou Anaeróbias, que não formam esporos, e são

associadas à decomposição de matéria orgânica em geral. Há também os coliformes Fecais, também chamados de coliformes termotolerantes pois toleram temperaturas acima de 40°C e reproduzem-se nessa temperatura em menos de 24 horas. A principal espécie dentro desse grupo é a *Escherichia coli*, sendo de origem exclusivamente fecal.

2.5. Enquadramento Legal

Para orientar a avaliação da qualidade da água, recorreu-se aos instrumentos legais em vigor em Moçambique, bem como a referências internacionais quando necessário. A análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos teve como base os limites estabelecidos na legislação nacional, com apoio em normativas internacionais nos casos em que a regulamentação moçambicana não apresentava critérios específicos.

A nível nacional, foram considerados os seguintes diplomas legais:

- Decreto n.º 30/2003, que aprova o Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição e de Drenagem de Águas Residuais, estabelecendo padrões de emissão de efluentes domésticos e industriais para sistemas de drenagem e para os meios receptores;
- Decreto n.º 52/2023, que aprova o Regulamento de Padrões de Qualidade de Água Bruta e de Descarga de Efluentes Líquidos e Sólidos, incluindo limites para parâmetros como DBO, DQO e nitratos em corpos hídricos;
- Decreto n.º 18/2004, que define os padrões de qualidade ambiental e limites de emissão de efluentes com aplicação específica à irrigação, especialmente no uso de águas provenientes de corpos receptores;

Adicionalmente, para parâmetros não abrangidos pela legislação nacional, recorreu-se à **Revisão das Autorizações Gerais – África do Sul (Aviso do Governo 665, de 2013)**, uma referência regional amplamente reconhecida. Esta norma apresenta limites específicos para a qualidade da água destinada à irrigação, sendo particularmente relevante no contexto da Bacia do Rio Infulene, onde a água da vala de drenagem é usada em actividades agrícolas.

Os principais parâmetros analisados e os respetivos limites estabelecidos por estas normativas estão resumidos na tabela seguinte:

Tabela 2- Principais limites e padrões de referência utilizados.

Parâmetro	Limite Máximo Admissível	Unidade	Fonte / Contexto de Aplicação
Temperatura	45	°C	Decreto n.º 30/2003 – Descarga em sistemas de drenagem
	35	°C	Decreto n.º 52/2023 – Descarga em meio receptor
pH (25 °C)	Entre 6,0 - 9,0	Escala de Sorensen	Decreto n.º 30/2003 / Decreto n.º 52/2023 – Descarga em sistema/meio receptor
Conductividade Eléctrica (CE)	< 0,75	mS/cm	Decreto n.º 18/2004 – Qualidade da água para irrigação
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	< 500	mg/L	Decreto n.º 18/2004 – Irrigação
DBO (Demanda Bioquímica de Oxigénio)	30	mg/L	Decreto n.º 52/2023 – Descarga em meio receptor
DQO (Demanda Química de Oxigénio)	150	mg/L	Decreto n.º 30/2003 e 52/2023 – Descarga
	75	mg/L	África do Sul (2013) – Irrigação
Nitratos	50	mg/L	Decreto n.º 52/2023 – Descarga
	15	mg/L	África do Sul (2013) – Irrigação
Fosfatos	10	mg/L	África do Sul (2013) – Irrigação
Coliformes Fecais	≤ 100000	NMP/100 mL	Decreto n.º 18/2004 – Qualidade da água para irrigação

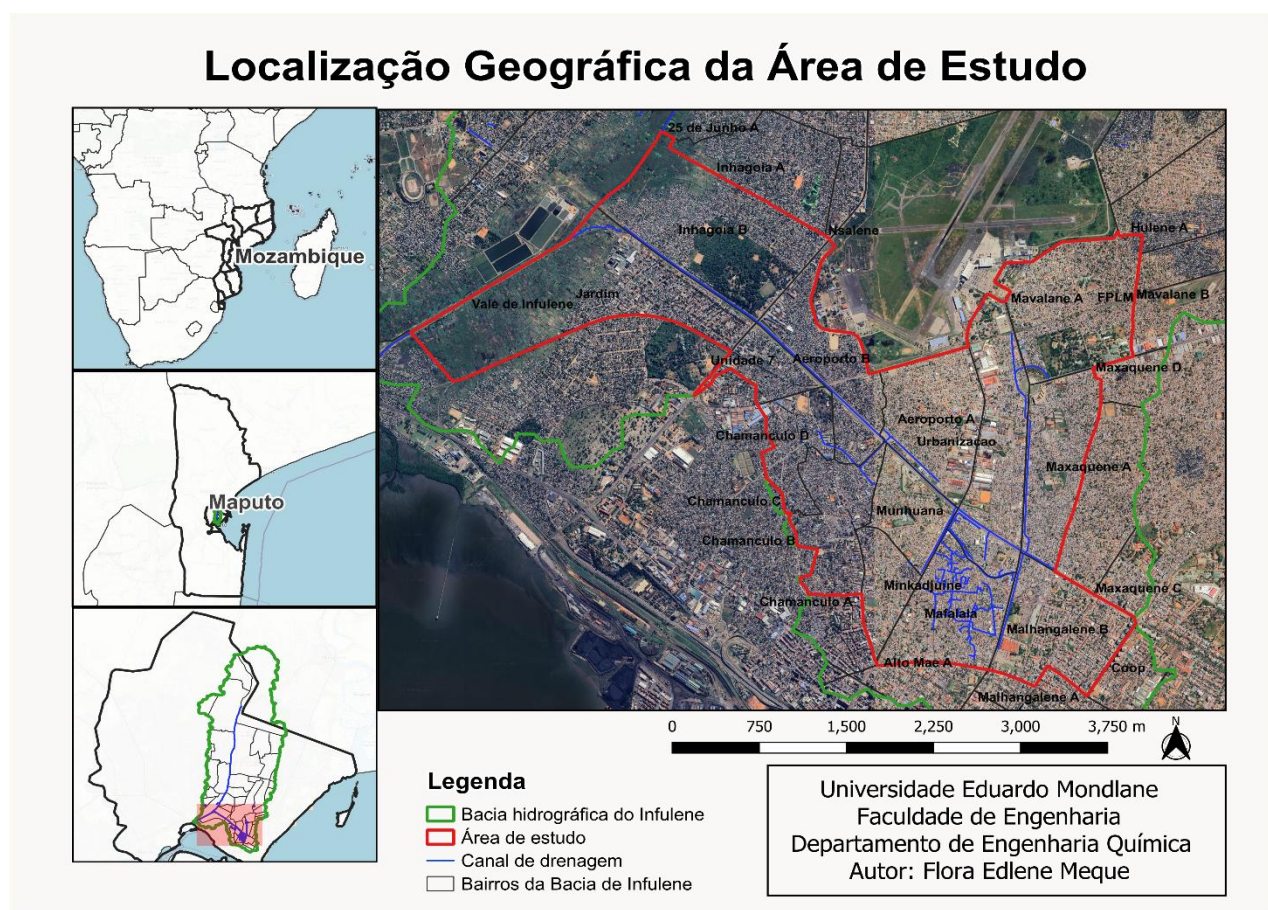
3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Caracterização da Área de Estudo

A seguir descreve-se a área de estudo, evidenciando a localização geográfica, clima, hidrologia, uso e ocupação do solo e as infraestruturas de drenagem urbanas existentes na área em estudo.

3.1.1. Localização Geográfica

A Bacia do Infulene é uma pequena bacia hidrográfica nacional de regime de escoamento permanente situada na província de Maputo, onde está integrada o Rio Infulene que faz fronteira com o município de Maputo e Matola, com uma área de 185 Km² e uma extensão de cerca de 58 Km entre as coordenadas 25°43'57.90" e 25°58'3.49" latitude Sul, 32°35'7.69" e 32°35'13.46" longitude (RAPULUA, 2022).



Mapa 1- Localização geográfica da área de estudo.

A Bacia do Infulene é caracterizada pelo Rio Infulene, um pequeno curso d'água de aproximadamente 20 km de extensão que se origina da ramificação do Rio Incomati.

Este rio atravessa vários bairros periféricos de Maputo e Matola antes de desaguar no estuário do Espírito Santo. Serve como uma importante fonte de água para irrigação, especialmente nas Zonas Verdes da Cidade de Maputo, onde é utilizado para a produção de hortofrutícolas. O Rio Infulene é alimentado por várias fontes, incluindo águas pluviais, descargas de estações de tratamento de água e escoamento de áreas urbanas e agrícolas (RODRIGUES, 2023).

3.1.2. Clima

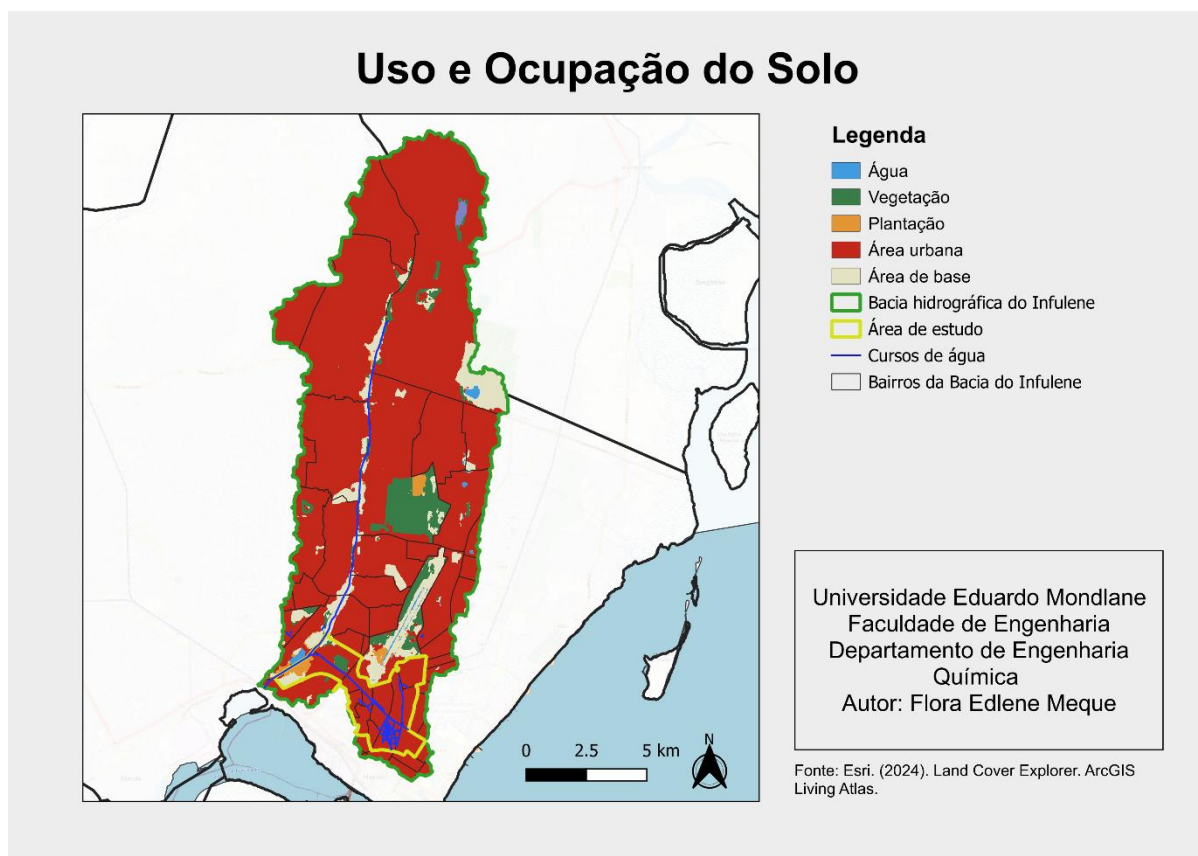
O clima da cidade de Maputo, onde localiza-se a Bacia Hidrográfica é do tipo tropical húmido, com duas estações, sendo uma quente e húmida que se estende de Novembro – Abril e uma fresca e seca que se estende entre os meses de Maio e Outubro.

A precipitação média anual varia de 1000 mm a 400 mm. A temperatura média anual varia de 22°C a 29°C. A humidade relativa do ar atinge 67,3% a 80,5% (INE, 2020).

3.1.3. Uso e Ocupação do Solo

A bacia do rio Infulene está entre a cidade de Maputo e Matola, uma região caracterizada morfologicamente por arriba costeira, encosta, vale e planícies litorais (RAPULUA, 2022). Os solos são, em grande parte, aluviais, caracterizados pela sua fertilidade e adequados para a agricultura (TOMO, 2018). Além destes, também se encontram solos arenosos e argilosos em certas zonas.

O uso do solo na Bacia é diversificado, sendo a agricultura uma das principais actividades, ocupando cerca de 422 hectares do território. A área também é muito urbanizada devido à sua proximidade com zonas de crescimento populacional e desenvolvimento económico (Mapa 2).



Mapa 2- Uso e ocupação do solo.

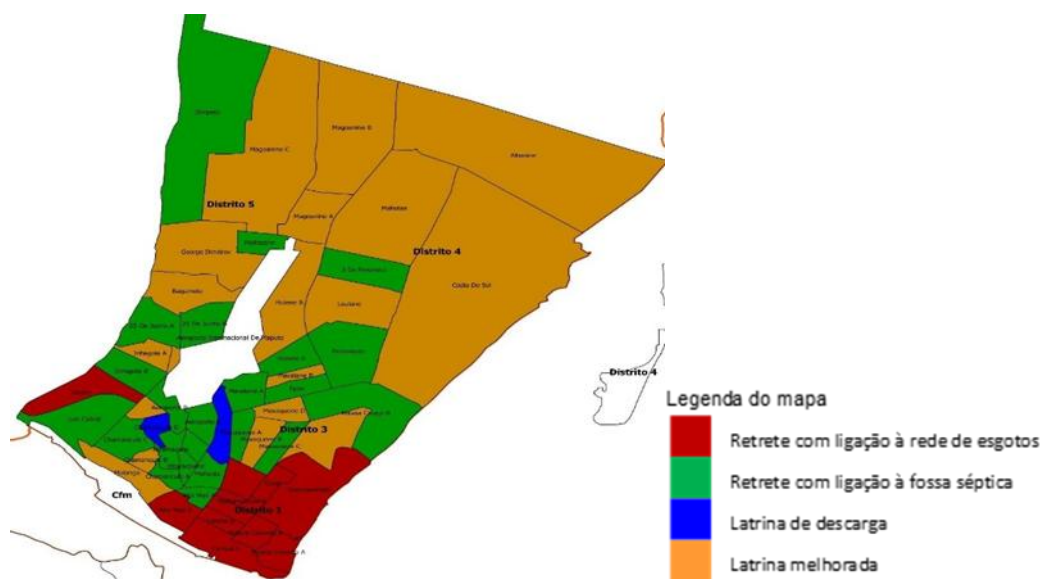
3.2. Caracterização do Saneamento e Sistema de Drenagem da Área em Estudo

3.2.1. Saneamento da Cidade de Maputo

A cidade de Maputo, capital de Moçambique, enfrenta desafios significativos no sector de saneamento, que impactam diretamente a saúde pública e o meio ambiente. A infra-estrutura de saneamento em Maputo é limitada e muitas vezes inadequada para atender à crescente população urbana. A rede de esgoto cobre apenas uma pequena parte da cidade, principalmente nas áreas centrais e mais desenvolvidas. Nas áreas suburbanas e periurbanas, a maioria das residências depende de sistemas individuais de saneamento, que frequentemente não são mantidos adequadamente (MUNICÍPIO DE MAPUTO CONSELHO MUNICIPAL DE MAPUTO, 2021).

Na Área Metropolitana de Maputo, os serviços de saneamento baseiam-se, fundamentalmente, em sistemas de baixo custo, como latrinas e fossas sépticas, embora no centro da cidade (cidade de cimento), disponha de rede de colectores das

águas residuais e pluviais. Segundo um levantamento estatístico feito pela Engidro, Hidra (2015), sobre o acesso a infra-estrutura de saneamento e tipo de saneamento utilizado (esvaziamento e transporte) por cada agregado familiar, dava conta que cerca de 9% tinham infra-estrutura ligado à rede dos esgotos; 33% utilizavam latrinas melhoradas; 37% utiliza latrinas ligadas a fossa séptica, e aproximadamente 20% não detinham acesso a nenhum tipo de infra-estrutura de saneamento (NHANTUMBO, 2022).



Mapa 3- Principais soluções ou alternativas de saneamento utilizados em cada bairro da cidade de Maputo.

Fonte: (ENGIDRO, 2015).

A gestão inadequada dos resíduos sólidos é outro desafio significativo. O descarte irregular de lixo em canais de drenagem e valas contribui para o entupimento e a ineficiência do sistema de escoamento de águas pluviais, causando inundações durante a estação chuvosa. Além disso, a falta de manutenção regular das infraestruturas existentes agrava os problemas de saneamento (COLIN, 2002).

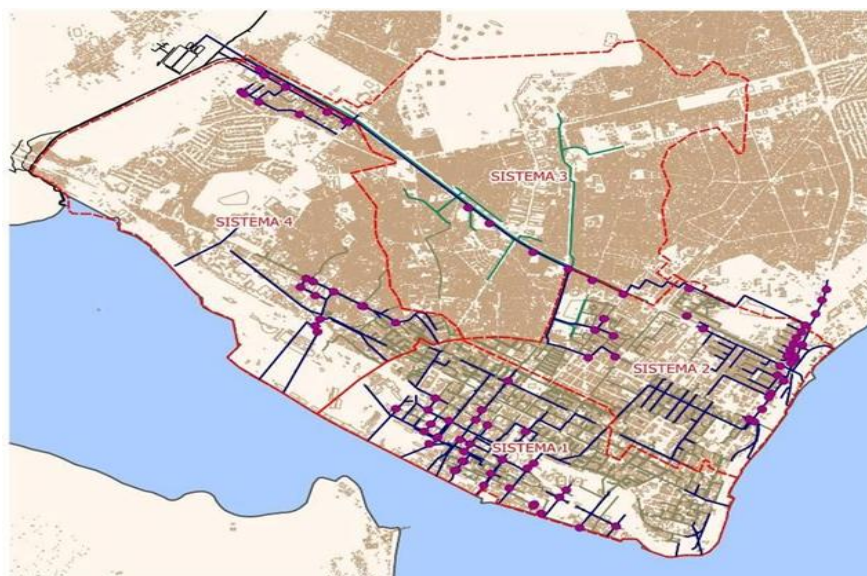
3.2.2. Caracterização do Sistema de Drenagem da Área de Estudo

O sistema de drenagem de águas pluviais da cidade de Maputo é dividido em quatro grandes bacias de escoamento, numeradas de 1 a 4, que cobrem diferentes áreas da cidade. Estas bacias formam a base da infraestrutura de drenagem da cidade e são suportadas por uma rede de colectores, que serve tanto para a drenagem pluvial quanto para o saneamento. Na maior parte dos casos, o sistema funciona de forma

unitária, o que significa que as águas residuais domésticas e pluviais são escoadas em conjunto em várias áreas, apesar de existirem troços onde o sistema foi originalmente projectado para ser separativo. Actualmente, o sistema comporta-se como pseudo-separativo, com as águas pluviais e residuais sendo recolhidas em condutas diferentes, exceto em alguns locais onde a infraestrutura não permite a separação (ENGIDRO, 2015).

Na área urbana da cidade de Maputo, a maioria das ruas possui tubos de dreno instalados abaixo dos passeios ou das faixas de rodagem, facilitando o escoamento das águas pluviais. Nas zonas semi-urbanas, o sistema de drenagem é composto por valas a céu aberto, geralmente constituídas por drenos de concreto ou de terra, que conduzem as águas até às saídas. Em áreas de assentamentos informais, praticamente não existem sistemas de drenagem pluvial. Nessas zonas, após precipitações significativas, as águas tendem a acumular-se em pontos baixos, onde podem permanecer estagnadas por várias horas ou até dias (NHANTUMBO, 2022).

De acordo com o Plano Director de Saneamento e Drenagem da Área Metropolitana de Maputo, a área de estudo encontra-se coberta pelo sistema 3, que engloba a Bacia A, excluindo a bacia A1, abrangendo toda área que drena para a vala A (Av. Joaquim Chissano) que corresponde cerca de 12,10 Km² (MUNICÍPIO DE MAPUTO CONSELHO MUNICIPAL DE MAPUTO, 2021).



Mapa 4- Sistemas de drenagem e principais infra-estruturas da Cidade de Maputo.

Fonte: (ENGIDRO, 2015).

A área de estudo está coberta pelo Sistema 3, que engloba as grandes bacias urbanas que escoam para a vala de drenagem da Avenida Joaquim Chissano. Este sistema de drenagem é responsável pelo escoamento de águas pluviais de uma área de aproximadamente 12,10 km², que inclui a Bacia A (excluindo a sub-bacia A1), e transporta as águas até à vala principal (vala A) situada ao longo da Avenida Joaquim Chissano.

A vala principal da Avenida Joaquim Chissano foi construída entre 1982 e 1989, entrando em operação em 1990. Com uma extensão de 5,5 km, a vala começa na Rua da Resistência e termina no Vale do Infulene, próximo à Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), onde o caudal pluvial é descarregado diretamente no Rio Infulene. Ao longo da maior parte de sua extensão, a vala possui uma secção trapezoidal, tornando-se retangular nos últimos 600 metros. Essa mudança de forma permite aumentar a capacidade de vazão da vala de 40 m³/s para 70 m³/s. No troço final, existem várias quedas sucessivas que ajudam a melhorar os níveis de oxigênio dissolvido na água, contribuindo para o equilíbrio ambiental (NHANTUMBO, 2022).

Além da vala principal, o sistema 3 conta com várias valas secundárias de macrodrenagem, que coletam e transportam as águas pluviais dos bairros para a vala principal. Entre essas valas destacam-se:

- **Vala da Avenida Acordos de Lusaka** que drena as águas pluviais dos bairros Mavalane A, parte do bairro Urbanização, Maxaquene A e Malhangalene A e B (Figura 9).



Figura 9- Vala da Avenida Acordos de Lusaka.
Fonte: Autor.

- **Vala da Avenida de Angola**, que recebe as águas pluviais dos bairros Mafalala, Minkadjuine, Munhuana e Aeroporto A (Figura 10).



Figura 10- Vala da Avenida de Angola.

Fonte: Autor.

- **Outras valas secundárias** localizadas próximas ao Centro de Saúde de Xipamanine e à Direção Municipal de Água e Saneamento, que drenam águas dos bairros Aeroporto A, Chamanculo D e Xipamanine, transferindo-as para a vala principal (Plano Diretor de Saneamento e Drenagem de Maputo, 2021) (Figura 11).

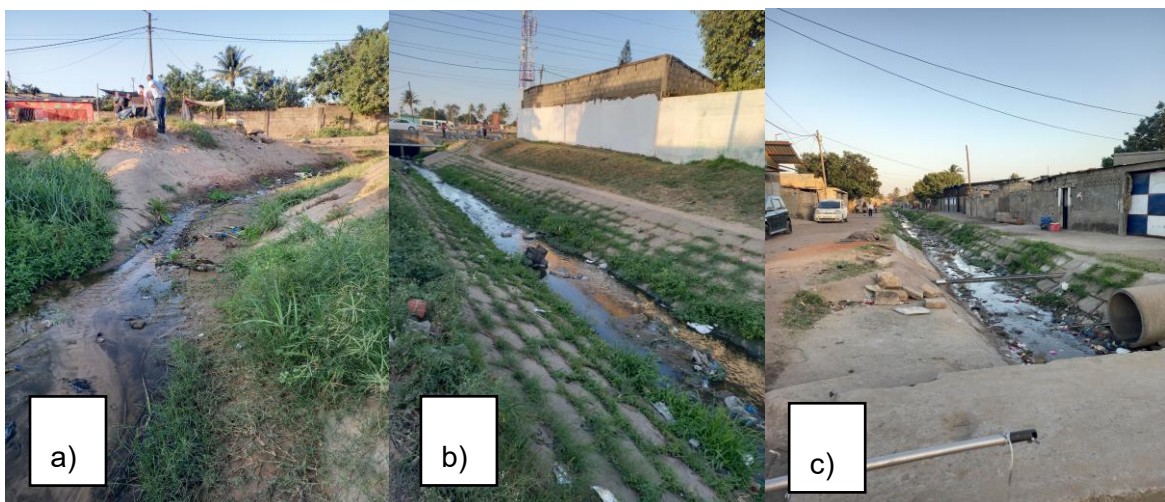


Figura 11- a) Vala do bairro Aeroporto A, (b) vala próxima do Centro de Saúde de Xipamanine e (c) vala dos bairros Chamanculo D e Xipamanine.

Fonte: Autor.

3.2.3. Condições Actuais do Sistema de Drenagem

Durante o desenvolvimento deste estudo, foram realizadas visitas técnicas ao longo do sistema de drenagem da área em análise, com o intuito de observar directamente as condições estruturais e operacionais das principais valas que compõem o Sistema 3. Estas observações permitiram documentar diversos problemas que afectam a funcionalidade do sistema e que, em conjunto, contribuem para a deterioração da qualidade da água que escoam para o Rio Infulene.

Durante as visitas, foi possível constatar diversas limitações no funcionamento do sistema de drenagem, destacando-se os seguintes aspetos:

➤ Assoreamento das valas

Um dos problemas mais evidentes, que compromete a capacidade de escoamento das águas pluviais, sobretudo durante eventos de precipitação intensa. Este fenómeno foi observado em diversos pontos da rede, como nas valas dos bairros de Chamanculo, Xipamanine e Acordos de Lusaka. Apesar disso, apenas a vala A apresentava sinais de limpeza recente, realizada pelo Sector de Saneamento da Direcção Municipal de Infraestruturas Urbanas do Conselho Municipal de Maputo.



Figura 12- a) Xipamanine, b) Aeroporto e c) Av. Acordos de Lusaka.

Fonte: Autor.

➤ **Canalizações clandestinas de esgotos sanitários**

Outro problema identificado para as valas de drenagem pluvial, com maior incidência nos bairros da Mafalala, Xipamanine e Chamanculo. Estas ligações indevidas ocorrem, em grande parte, devido à ausência de uma rede de saneamento segura e à fraca fiscalização por parte das autoridades competentes. Essa prática resulta na introdução direta de águas residuais nos sistemas de drenagem, elevando significativamente a carga poluente



Figura 13- a) Mafalala, b) Xipamanine e c) Chamanculo.

Fonte: Autor.

➤ **Lançamento directo de águas residuais domésticas**

Adicionalmente, observou-se o lançamento directo de águas residuais domésticas, provenientes de actividades quotidianas como lavagem de roupa, louça e banho. Esta prática é recorrente em zonas de ocupação informal, onde grande parte da população não dispõe de acesso a infra-estruturas sanitárias adequadas. Em certos pontos da vala, foram observadas características visuais e sensoriais que evidenciam essa contaminação, como a presença de espuma, resíduos de sabão e detergente, odor desagradável e coloração esverdeada da água, esta última possivelmente associada à proliferação de microalgas alimentadas por excesso de nutrientes, como nitratos e fosfatos.



Figura 14- a) Mafalala e b) Água esverdeada com proliferação de microalgas (Mafalala).

Fonte: Autor.

➤ **Deficiente gestão dos resíduos sólidos**

Também foi constatada uma má gestão dos resíduos sólidos, com acúmulo de lixo doméstico e comercial nas margens e leitos das valas. Em alguns casos, como no bairro de Mafalala, os resíduos obstruíam o escoamento da água e formavam manchas visíveis de óleo, agravando a estagnação. Em dias chuvosos, é fornecido o transporte desses resíduos até o descarregador final, o que demonstra a influência do escoamento superficial na redistribuição de poluentes sólidos e líquidos dentro do sistema.



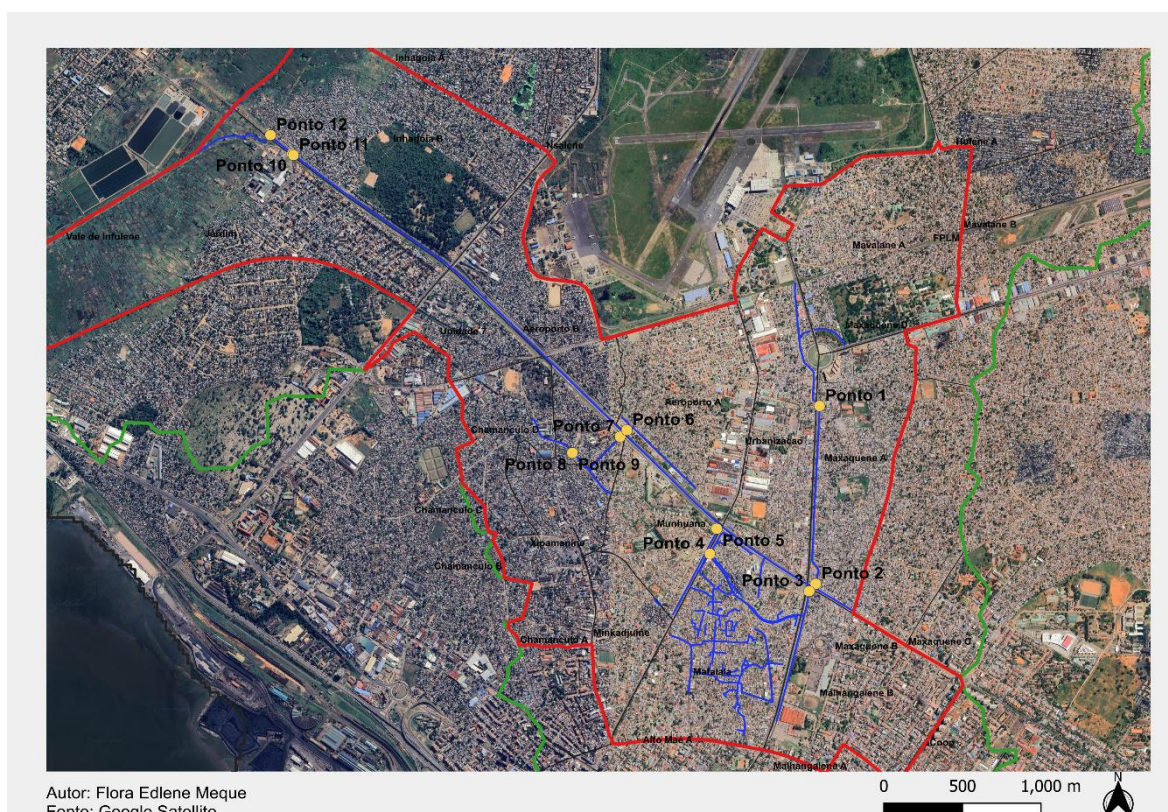
Figura 15- a) Maxaquene, b) Chamanculo e c) Xipamanine.

Fonte: Autor.

4. METODOLOGIA

4.1. Pontos de Recolha das Amostras

Durante cada campanha realizada nos períodos seco e chuvoso, nos dias 7 de Agosto de 2024 e 18 de Outubro de 2024, respectivamente, foram recolhidas 12 amostras de água nos mesmos locais previamente definidos, de forma a garantir a comparabilidade dos resultados entre os diferentes períodos sazonais. O plano de amostragem abrangeu 12 pontos ao longo da vala de drenagem da Avenida Joaquim Chissano, que integra o sistema de drenagem 3 da cidade de Maputo, considerando as contribuições de entrada dos bairros ao longo do sistema de drenagem (Mapa 5). Os pontos de amostragem incluíram áreas como os bairros Mavalane A, Maxaquene A, Mafalala, Aeroporto A e B, Minkadjuine e Munhuana (Tabela 2).



Mapa 5- Localização dos pontos de amostragem.

Tabela 3- Identificação dos pontos de amostragem.

Pontos	Descrição	Latitude	Longitude
P1	Av. Acordos de Lusaka/Av. J. Chissano	-25,94710	32,57920
P2	Av. Acordos de Lusaka/Av. J. Chissano	-25,94753	32,57878
P3	Exutório do bairro Maxaquene A	-25,93664	32,57944
P4	Av. Angola/ Mafalala	-25,94386	32,57291
P5	Av. Angola/ Av. J. Chissano	-25,94534	32,57248
P6	Exutório do Aeroporto A, B/Urbanização	-25,93845	32,56677
P7	Exutório do Xipamanine/Chamanculo D	-25,93806	32,56720
P8	Xipamanine: Conduta	-25,93939	32,56372
P9	Xipamanine: Canal principal	-25,93940	32,56374
P10	Exutório do bairro Jardim	-25,92182	32,54595
P11	Vale do Infulene (escadas hidráulicas)	-25,92189	32,54602
P12	Descarregador (vale do Infulene)	-25,92071	32,54456

Para a recolha, utilizaram-se luvas de látex, assegurando a higienização e evitando possíveis contaminações externas. As amostras foram armazenadas em garrafas de polietileno estéreis, com capacidade de 500 mL, sendo recolhidas duas garrafas por ponto de amostragem. O procedimento incluiu também o uso de frascos coletores (amostradores), que permitiram a recolha da água na superfície. As medições *in situ* foram realizadas nos próprios locais de recolha, utilizando a sonda REVlo multiparameter, capaz de medir parâmetros físico-químicos como temperatura, pH, oxigénio dissolvido, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. A realização destas medições no campo garantiu a obtenção de resultados mais fiáveis, evitando alterações nas características da água durante o transporte.

Após a recolha, as amostras foram acondicionadas numa caixa térmica (colman), contendo material de refrigeração para preservar as suas propriedades. Posteriormente, foram transportadas para o Laboratório de Hidráulica Sanitária do Departamento de Engenharia Civil e para o Laboratório de Água e Microbiologia do Departamento de Engenharia Química, onde foram realizadas as análises laboratoriais específicas para os parâmetros microbiológicos e físico-químicos, de acordo com os protocolos técnicos apropriados.

4.2. Análises Laboratoriais

As amostras de água foram processadas nos Laboratórios de Hidráulica Sanitária, de Água e de Microbiologia, com análises específicas realizadas para a caracterização da qualidade da água no sistema de drenagem em estudo. No Laboratório de Hidráulica Sanitária, foram testados os parâmetros físico-químicos, incluindo Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitratos e fosfatos. No Laboratório de Água e Microbiologia, realizaram-se análises microbiológicas para determinação de coliformes totais e fecais, além da quantificação de bactérias resistentes a antibióticos.

4.2.1. Parâmetros Físico-Químicos

As análises dos parâmetros físico-químicos foram realizadas no Laboratório de Hidráulica Sanitária do Departamento de Engenharia Civil. Os parâmetros avaliados incluíram a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitratos e fosfatos. A DBO foi determinada seguindo os procedimentos descritos no manual *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA & WEF, 2017). A DQO, os nitratos e fosfatos foram quantificados utilizando o espectrofotômetro Hach DR3900, conforme as recomendações do fabricante.

4.2.2. Parâmetros Microbiológicos

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Engenharia Química. Os parâmetros analisados incluíram a quantificação de coliformes totais e fecais, bem como a presença de bactérias resistentes a antibióticos.

A quantificação de coliformes totais e fecais foi realizada utilizando o método Colilert-18, seguindo as instruções fornecidas pelo fabricante. Este método permite a detecção e quantificação simultânea de *Escherichia coli* e outros coliformes em amostras de água. Além disso, foram efectuados ensaios para verificar a presença de bactérias resistentes a antibióticos, fornecendo dados relevantes sobre os riscos microbiológicos associados ao sistema de drenagem. Esses ensaios seguiram os procedimentos descritos no *Booklet on Harmonized Methods*, do Projecto SARA, assegurando a padronização e a confiabilidade dos resultados obtidos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas análises das amostras de água coletadas ao longo do sistema de drenagem estudado. Foram avaliados parâmetros físico-químicos e microbiológicos com base nos limites estabelecidos pela legislação moçambicana, considerando também padrões recomendados na literatura para parâmetros não especificados na legislação nacional.

Para avaliar a qualidade da água no sistema de drenagem, foram utilizadas as legislações nacionais vigentes: o Decreto n° 30/2003, que aprova o Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição e de Drenagem das Águas Residuais, o Decreto n.º 52/2023, que aprova o Regulamento de Padrões de Qualidade de Água Bruta e de Descarga de Efluentes Líquidos e Sólidos, e o Decreto n° 18/2004, que estabelece os padrões de qualidade ambiental e os limites de emissão de efluentes. O Decreto n° 18/2004 foi considerado devido ao uso do corpo receptor, localizado a jusante da Vala Principal (Av. Joaquim Chissano), na irrigação de cultivos.

Adicionalmente, para alguns parâmetros que não possuíam limites explícitos ou critérios detalhados na legislação nacional para o uso em irrigação de cultivos, foi consultada a Revisão das Autorizações Gerais (África do Sul, Aviso do Governo 665, de 2013), onde são estabelecidos os Limites para Irrigação, servindo como uma referência regional/internacional para comparação e avaliação.

5.1. Parâmetros Físico- Químicos

➤ Temperatura

A análise dos dados de temperatura da água colhidos nos 12 pontos durante as duas campanhas revelou uma variação entre 21,655 °C e 27,6 °C, com uma média aproximada de 24,4 °C e um desvio padrão de 1,4 °C. O bairro da Mafalala (Ponto 4) registou a menor temperatura (21,655 °C) na Segunda Campanha, enquanto a temperatura mais elevada (27,6 °C) foi observada no bairro de Maxaquene (Ponto 2) durante a Primeira Campanha.

Essas diferenças podem estar relacionadas com as condições climáticas sazonais, uma vez que a pesquisa foi realizada tanto na época seca quanto na época húmida.

Durante a época seca, é de esperar temperaturas mais elevadas, enquanto na época húmida as temperaturas tendem a ser ligeiramente mais baixas devido ao aumento da precipitação e à menor incidência solar direta sobre a superfície da água.

Todos os valores registados estão em conformidade com os limites estabelecidos pelo Decreto nº 30/2003, que determina que a temperatura das águas residuais domésticas e industriais lançadas no meio receptor não deve ultrapassar os 35 °C, e no sistema de drenagem, o limite máximo é de 45 °C.

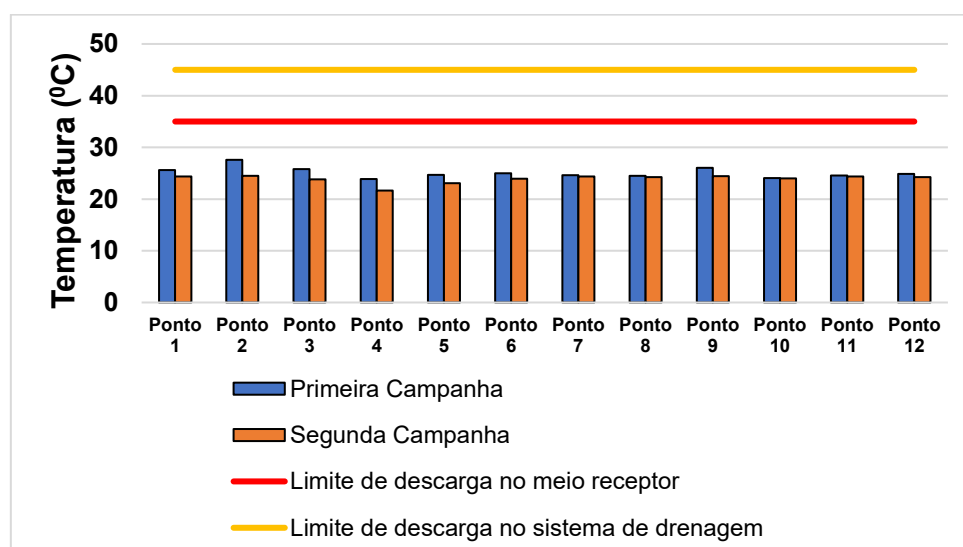


Gráfico 1- Temperatura por ponto de amostragem.

➤ pH

Os valores de pH obtidos ao longo das duas campanhas variaram entre 7,15 e 8,28, mantendo-se dentro dos limites estabelecidos pelo Decreto n.º 30/2003, que define um intervalo aceitável entre 6 e 9 para a descarga de águas residuais domésticas e industriais no meio receptor e entre 6 e 10 para o sistema de drenagem.

Observa-se uma leve tendência de redução dos valores de pH na segunda campanha em comparação com a primeira, com exceção dos bairros de Maxaquene (Ponto 1), Malhangalene (Ponto 3) e Mafalala (Ponto 4), onde os valores se mantiveram estáveis ou apresentaram um ligeiro aumento. A maior variação ocorreu no bairro de Xipamanine (Ponto 9), onde o pH passou de 8,28 na primeira campanha para 8,08 na segunda. Apesar dessa variação, os valores permanecem dentro do intervalo regulamentado.

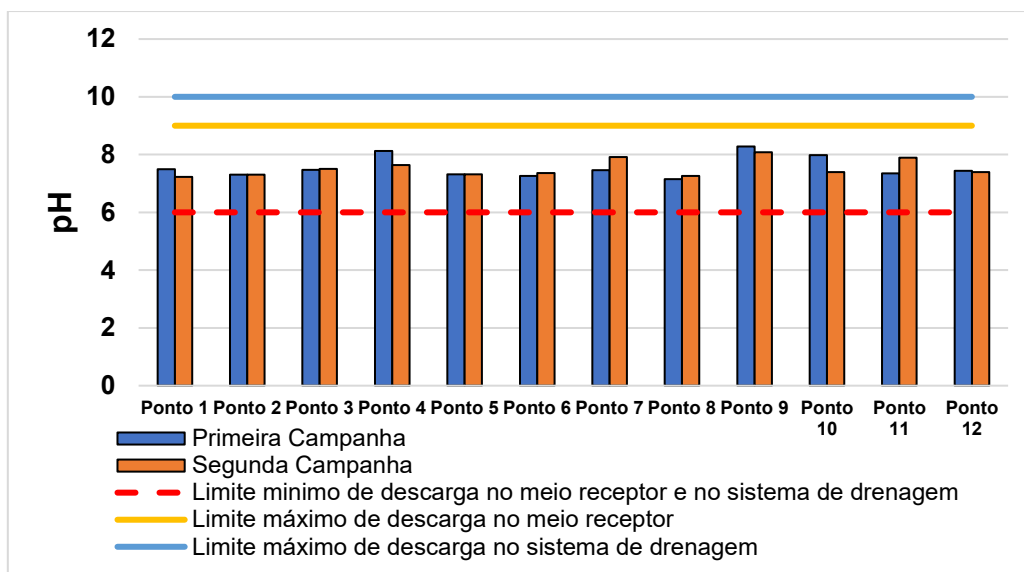


Gráfico 2- pH por ponto amostragem.

➤ Condutividade Eléctrica (CE)

A análise dos valores de Condutividade Eléctrica (CE) nos pontos de amostragem revelou variações significativas que podem impactar a qualidade da água para irrigação.

Apesar de Mafalala (Ponto 4) não ser utilizado para irrigação, a água neste ponto apresentou valores significativamente elevados de CE (3040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira campanha e 2510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na segunda campanha). Estes valores excedem drasticamente o limite de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o uso em irrigação de baixo risco. Os altos valores no bairro da Mafalala (Ponto 4) podem estar associados à obstrução do sistema de drenagem por resíduos sólidos, o que levou à estagnação de água, favorecendo processos de decomposição anaeróbia da matéria orgânica e a liberação de iões e compostos, aumentando assim a CE.

Em contraste, nos pontos onde a água do sistema de drenagem é utilizada para irrigação das machambas ao longo da drenagem, ou seja, no Vale do Infulene (escadas hidráulicas) (Ponto 11) e no Descarregador (vale do Infulene) (Ponto 12), os valores de CE foram de 1023 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1098,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira campanha, e 1034,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 976,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na segunda campanha, respetivamente. Estes valores superam o limite de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para uso em irrigação de baixo risco (0.75 mS/cm). De acordo com a classificação de qualidade da água para irrigação baseada

na CE, valores nesta faixa (entre 760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indicam água "Salgada", com "Risco para rega". O uso contínuo de água com CE nesta faixa acarreta riscos significativos para a rega, incluindo o acúmulo de sais no solo, redução da produtividade das culturas e degradação da qualidade do solo.

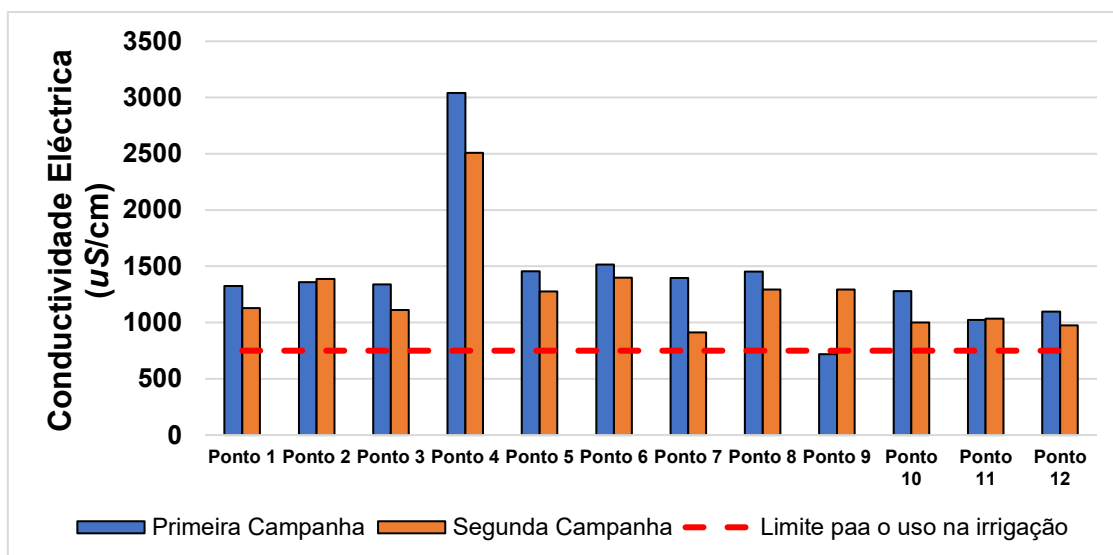


Gráfico 3- Condutividade Eléctrica por ponto de amostragem.

➤ Sólidos Totais Dissolvidos

Os valores de sólidos totais dissolvidos (STD) medidos nos pontos de amostragem variaram entre 510,33 mg/L e 2153,33 mg/L, todos excedendo o limite recomendado de 500 mg/L para uso na irrigação, conforme o Decreto nº 18/2004. Os pontos frequentemente utilizados para irrigação, ou seja, o Vale do Infulene (escadas hidráulicas) (Ponto 11) e o Descarregador (vale do Infulene) (Ponto 12), apresentaram valores de 728 mg/L e 781 mg/L na primeira campanha, e 743,33 mg/L e 702 mg/L na segunda, respectivamente.

De acordo com Jordão e Pessoa (2009), os esgotos domésticos não tratados podem ser classificados quanto à carga de sólidos dissolvidos como fracos (250 mg/L), médios (500 mg/L) ou fortes (800 mg/L). Os valores observados nos pontos de amostragem são comparáveis ou superiores aos de esgotos *in natura* classificados como médios e fortes, sugerindo uma possível contaminação por efluentes domésticos ou industriais.

A alta concentração de STD pode estar relacionada a fontes domésticas, como efluentes contendo detergentes e produtos de limpeza, além do escoamento superficial que carrega poeira, resíduos de construção e partículas de poluição urbana (JORDÃO & PESSÔA, 2009).

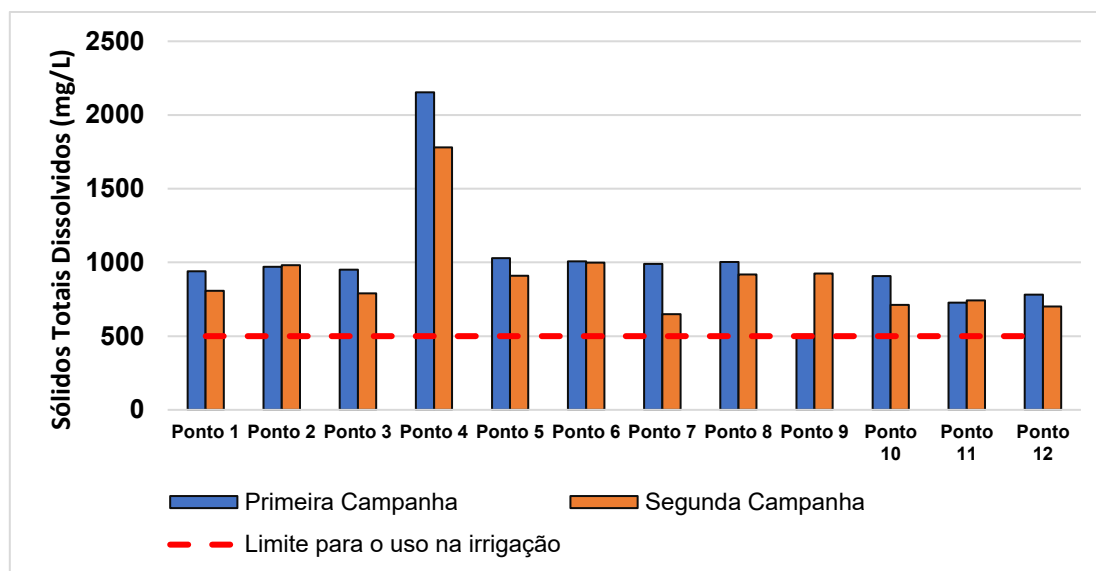


Gráfico 4- Sólidos Totais Dissolvidos por ponto de amostragem.

➤ Oxigênio Dissolvido

As concentrações de Oxigênio dissolvido (OD) variaram significativamente entre os pontos e campanhas. Os menores valores foram observados no bairro da Mafalala (Ponto 4) e no bairro de Xipamanine (Ponto 9), com registros de 0 mg/L e 0,004 mg/L na primeira campanha, e 0 mg/L e 0,007 mg/L na segunda. No bairro da Mafalala (Ponto 4), a água estava estagnada inicialmente devido ao bloqueio da via por resíduos sólidos, impedindo a reaeração. Na segunda campanha, ainda que estagnada, o fluxo lento promovido pelas chuvas favoreceu leve aumento no OD. Já no bairro de Xipamanine (Ponto 9), a presença possível de substâncias como óleos e detergentes, comuns em áreas urbanas, pode ter reduzido a solubilidade do oxigênio, formando barreiras superficiais e dificultando a troca gasosa (SALLES, 2014).

Por outro lado, o Vale do Infulene (Ponto 11) e o Descarregador (Ponto 12) apresentaram os maiores valores de OD, acima de 6 mg/L em ambas as campanhas,

possivelmente devido à reaeração natural promovida por quedas de água nos trechos finais da vala, que aumentam a turbulência e facilitam a dissolução de oxigênio.

De modo geral, observa-se um padrão em que os níveis de OD tendem a ser mais baixos a montante, onde recebe contribuição dos bairros, que correspondem a valas secundárias, e aumentam a jusante, já na vala principal, no do Vale do Infulene (Ponto 11) e Descarregador (Ponto 12), onde o fluxo é mais livre e turbulento. As diferenças entre as campanhas refletem ainda a influência das chuvas, que favorecem o fluxo, diluição de poluentes e reaeração natural, elevando os níveis de OD (BARBOSA, 2018).

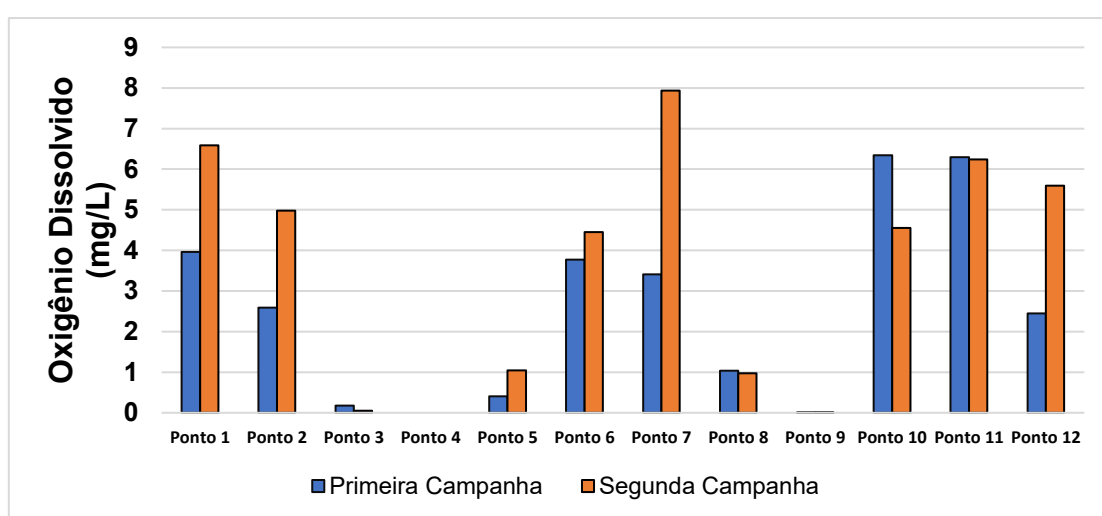


Gráfico 5- Oxigênio Dissolvido por ponto de amostragem.

➤ Nutrientes (Fosfatos e Nitratos)

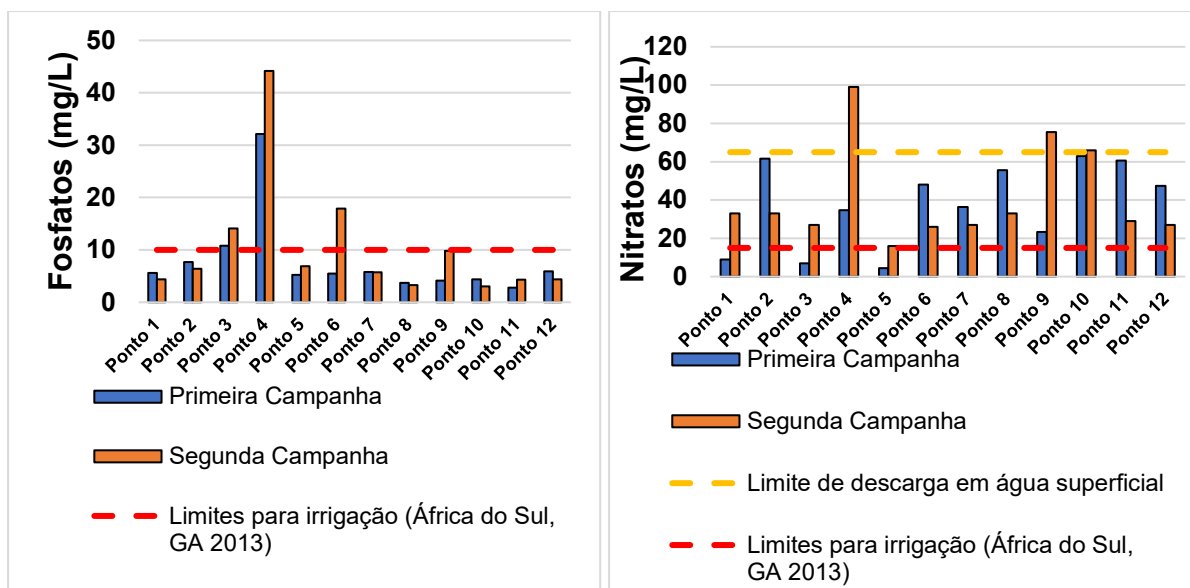
As concentrações de fosfatos e nitratos nos pontos amostrados apresentaram variações significativas entre as duas campanhas de monitoramento. Na primeira campanha, as concentrações de fosfatos variaram de 2,8 mg/L no bairro do Vale do Infulene (Ponto 11) a 32,1 mg/L no bairro da Mafalala (Ponto 4). Na segunda campanha, os valores oscilaram entre 3 mg/L no bairro do Jardim (Ponto 10) e 44,2 mg/L no bairro da Mafalala (Ponto 4). Observou-se um aumento expressivo no bairro da Mafalala (Ponto 4), passando de 32,1 mg/L para 44,2 mg/L. Comparando com o limite de 10 mg/L para fosfatos estabelecido para uso em irrigação na África do Sul, conforme a Revisão das Autorizações Gerais (Aviso do Governo 665, de 2013), a maioria dos pontos e campanhas excedeu este valor de referência. Esses níveis

elevados de fósforo podem estar associados ao lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais sem tratamento adequado, além do uso de detergentes e saponáceos que contêm fósforo. Esses fatores são comuns em áreas urbanas e contribuem para a eutrofização das águas, processo que leva à proliferação excessiva de algas e à degradação da qualidade da água.

As concentrações de nitratos variaram significativamente entre as campanhas. Na primeira, os valores oscilaram entre 4,4 mg/L no bairro de Minkadjuine e Munhuana (Ponto 5) e 93,17 mg/L no bairro de Malhangalene (Ponto 3). Na segunda, variaram de 16,0 mg/L no bairro de Minkadjuine e Munhuana (Ponto 5) a 99,0 mg/L no bairro da Mafalala (Ponto 4). Houve aumentos expressivos em pontos chave: no bairro de Xipamanine (Ponto 9), de 23,33 mg/L para 75,54 mg/L; e no bairro da Mafalala (Ponto 4), de 34,67 mg/L para 99,0 mg/L.

Com base no limite de 50 mg/L para nitratos do Decreto n.º 52/2003, vários pontos excederam este valor em ambas as campanhas. Na primeira, o bairro de Maxaquene (Ponto 2) (61,67 mg/L), o bairro de Xipamanine: Canal principal (Ponto 8) (55,67 mg/L), o bairro do Jardim (Ponto 10) (63 mg/L), e o Vale do Infulene (Ponto 11) (60,67 mg/L) estiveram acima. Na segunda, o bairro da Mafalala (Ponto 4) (99 mg/L), o bairro de Xipamanine (Ponto 9) (75,54 mg/L), e o bairro do Jardim (Ponto 10) (66 mg/L) também excederam. Adicionalmente, considerando o limite mais restritivo de 15 mg/L para irrigação na África do Sul (Revisão das Autorizações Gerais, Aviso do Governo 665, de 2013), a maioria dos pontos, incluindo o Vale do Infulene (Ponto 11) e o Descarregador (Ponto 12) (onde há prática agrícola), apresentou concentrações significativamente acima deste valor em ambas as campanhas.

Dado que a maioria dos pontos de amostragem está localizada em áreas urbanas residenciais sem prática de actividade agrícola, com exceção do Vale do Infulene (Ponto 11) e do Descarregador (Ponto 12), o aumento das concentrações de nitratos nos demais pontos pode estar associado a factores urbanos como o lançamento de efluentes domésticos sem tratamento adequado.



(a)

(b)

Gráfico 6- Fosfatos (a) e Nitratos (b) por Ponto de Amostragem.

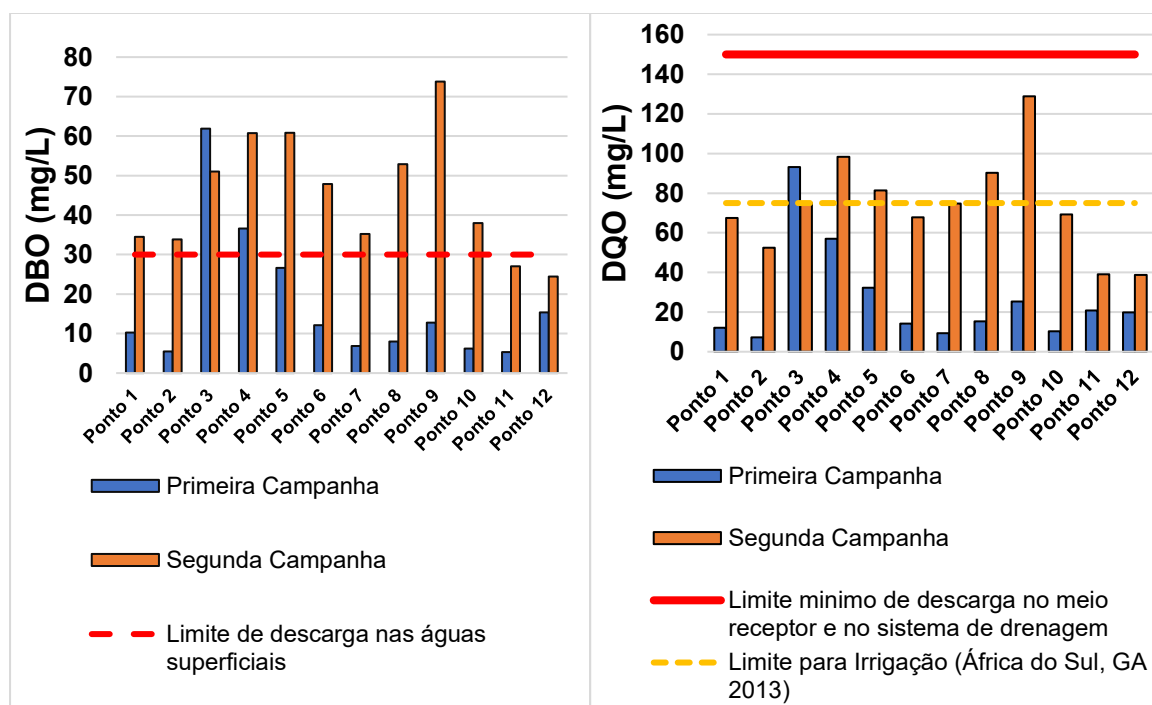
➤ Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) são parâmetros cruciais para avaliar a carga de matéria orgânica e substâncias oxidáveis na água, refletindo seu impacto nos corpos hídricos.

Os resultados da DBO evidenciaram variações significativas entre as campanhas seca e húmida. A maioria dos pontos excedeu o limite de 30 mg/L para descarga de águas superficiais do Decreto n.º 52/2003. Na época seca, os valores oscilaram entre 5,3 mg/L no bairro do Vale do Infulene (Ponto 11) e 61,9 mg/L no bairro de Malhangalene (Ponto 3). Na época húmida, variaram de 24,46 mg/L no bairro Descarregador (Ponto 12) a 73,77 mg/L no bairro de Xipamanine (Ponto 9). Pontos como o bairro de Malhangalene (Ponto 3) e o bairro da Mafalala (Ponto 4) já excediam o limite na época seca, com a situação a agravar-se na húmida, onde Malhangalene (Ponto 3), Mafalala (Ponto 4), Minkadjuine e Munhuana (Ponto 5) e Xipamanine (Ponto 9) apresentaram valores bem acima do permitido, indicando aumento da carga orgânica. Este aumento generalizado durante o período chuvoso é atribuído ao escoamento superficial que arrasta matéria orgânica e poluentes acumulados,

evidenciado nos bairros da Mafalala (Ponto 4) e Minkadjuine e Munhuana (Ponto 5). Extravasamentos de esgoto também contribuem, justificando o aumento acentuado no bairro de Xipamanine (Ponto 9) e as concentrações elevadas no bairro de Malhangalene (Ponto 3).

A avaliação da DQO revelou um aumento expressivo dos seus valores na segunda campanha (época húmida). Na primeira campanha, variaram entre 7,17 mg/L no bairro de Maxaquene (Ponto 2) e 93,17 mg/L no bairro de Malhangalene (Ponto 3). Na segunda, oscilaram entre 38,76 mg/L no bairro Descarregador (Ponto 12) e 128,94 mg/L no bairro de Xipamanine (Ponto 9). Este acréscimo é similarmente ligado ao escoamento superficial e ao arrastamento de poluentes. Em comparação com o limite de 75 mg/L para irrigação na África do Sul, vários pontos excederam este valor, embora o Vale do Infulene (Ponto 11) e o Descarregador (Ponto 12), onde ocorre agricultura, mantiveram-se dentro do limite. Segundo o Decreto nº 30/2003, os padrões de descarga no meio receptor são de 150 mg/L, e para sistemas de drenagem, 2000 mg/L. Embora todos os valores registrados estejam abaixo desses limites legais de descarga, o aumento em pontos como o bairro de Xipamanine (Ponto 9) (acima de 120 mg/L) indica risco em cenários de lançamento contínuo ou sem tratamento.



(a) (b)

Gráfico 7- (a) DBO e (b) DQO por ponto de amostragem.

5.2. Parâmetros Microbiológicos

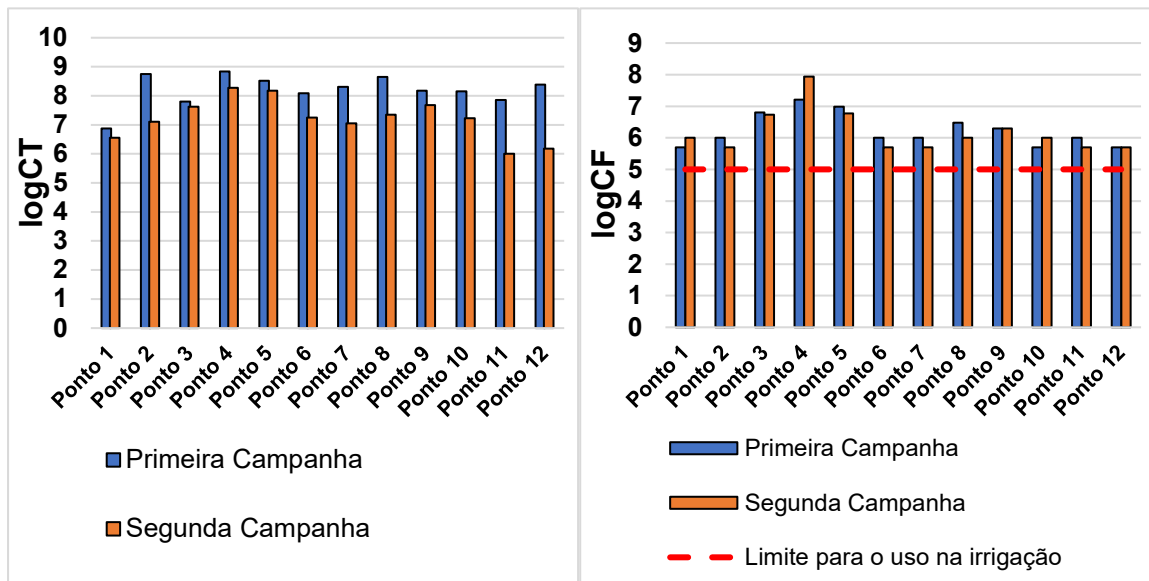
➤ Coliformes Totais (CT) e Coliformes Fecais (CF)

A presença de coliformes totais e fecais é um indicador crucial da contaminação microbiológica da água, sinalizando a possível existência de matéria orgânica de origem fecal e, consequentemente, riscos à saúde pública devido à presença de patógenos.

No sistema de drenagem, foram identificadas concentrações elevadas de coliformes totais (CT), com valores mais expressivos durante a primeira campanha. Pontos em áreas densamente povoadas e com saneamento precário, como o bairro da Mafalala (Ponto 4) (6,87E+08 NMP/100 mL), o bairro de Minkadjuine e Munhuana (Ponto 5) (3,26E+08 NMP/100 mL) e o bairro de Xipamanine: Canal principal (Ponto 8) (4,50E+08 NMP/100 mL) na primeira campanha, destacaram-se pelas suas altas cargas microbiológicas. Na segunda campanha, observou-se uma redução generalizada das concentrações de CT em todos os pontos, atribuída ao aumento do volume de água e à diluição causada pelas chuvas. Contudo, o escoamento superficial ainda transporta contaminantes, mantendo a poluição microbiológica. A persistência de CT em altos níveis, mesmo com diluição, indica fontes contínuas de contaminação por efluentes sem tratamento adequado, representando um risco significativo à saúde pública. Mesmo reduzidos, pontos como o bairro da Mafalala (Ponto 4) (1,86E+08 NMP/100 mL) e o bairro de Minkadjuine e Munhuana (Ponto 5) (1,48E+08 NMP/100 mL) ainda registraram concentrações elevadas na segunda campanha (Mapa 6).

A análise das concentrações de coliformes fecais (*Escherichia coli*) indicou que todos os pontos de amostragem excederam significativamente o limite de 100.000 NMP/100 mL estabelecido para uso em irrigação pelo Decreto nº 18/2004 de Moçambique, em ambas as campanhas. Durante a primeira campanha, pontos como o bairro da Mafalala (Ponto 4) (1,60E+07 NMP/100 mL), o bairro de Minkadjuine e Munhuana (Ponto 5) (9,70E+06 NMP/100 mL) e o bairro de Xipamanine: Canal principal (Ponto 8) (3,00E+06 NMP/100 mL) apresentaram as concentrações mais elevadas (Mapa 7). A variação sazonal, com menor diluição na época seca e arrastamento de resíduos fecais na época chuvosa, contribuiu para a poluição. Os pontos Vale do Infulene (Ponto 11) e Descarregador (Ponto 12), utilizados para irrigação, registraram, por

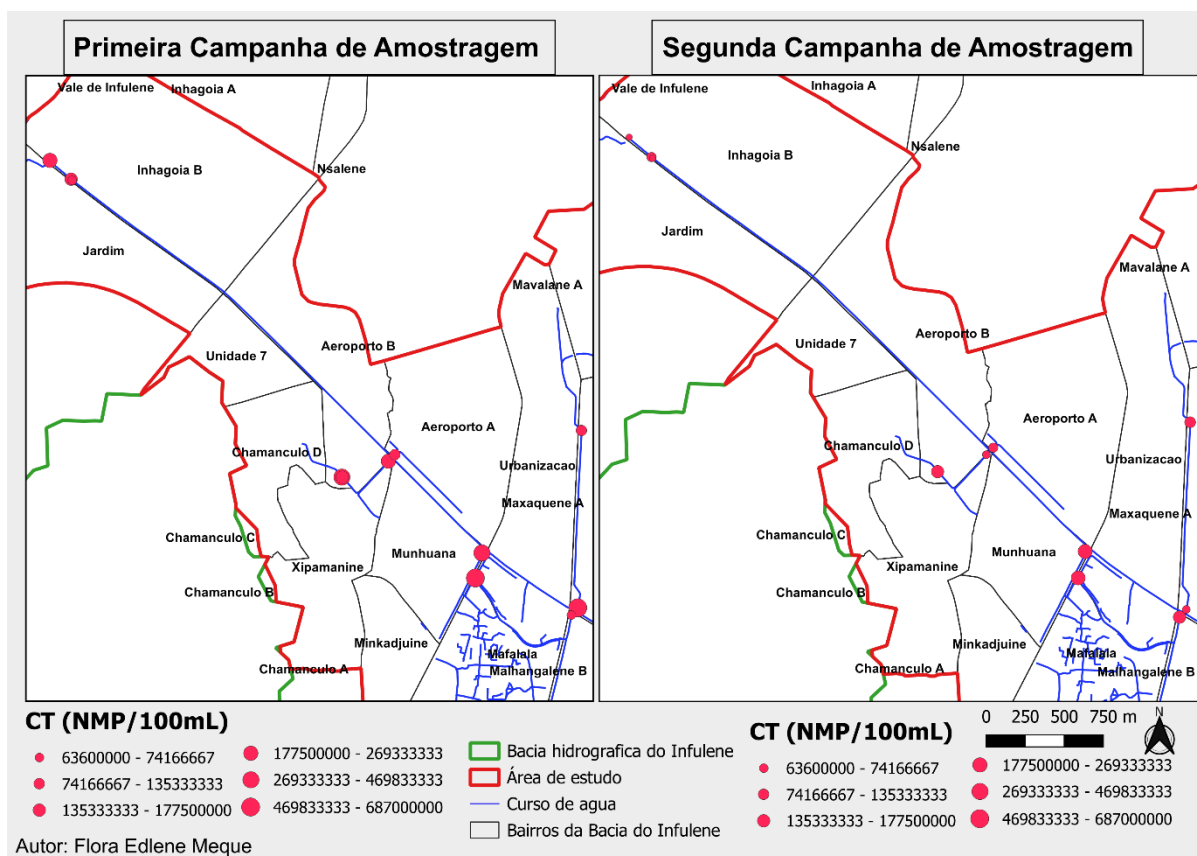
exemplo, 1,00E+06 NMP/100 mL e 5,00E+05 NMP/100 mL, respectivamente, na primeira campanha, e 5,00E+05 NMP/100 mL para ambos na segunda. Esses valores estão muito acima do limite legal, o que é preocupante. A utilização de água com elevadas concentrações de *E. coli* na irrigação de hortícolas consumidas cruas pode veicular patógenos e levar a doenças como diarreia e gastroenterite, representando um risco direto à saúde pública.



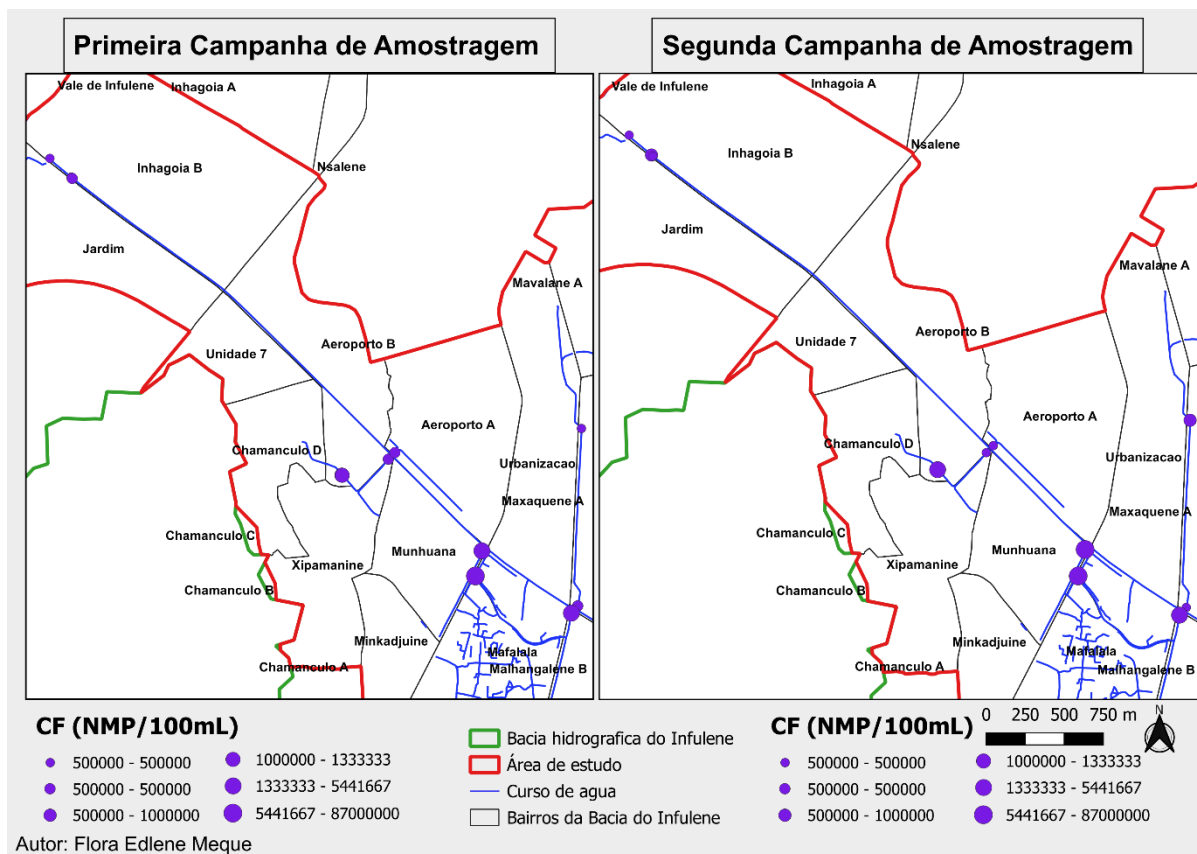
(a)

(b)

Gráfico 8- (a) CT e (b) CF por ponto de amostragem.



Mapa 6- Distribuição espacial de resultados de CT.



Mapa 7- Distribuição espacial de resultados de CF.

➤ Resistência a Antibióticos

A presença de bactérias resistentes a antibióticos (BRA), especialmente aquelas produtoras de β -lactamases de espectro estendido (ESBL), em águas residuais representa uma crescente preocupação para a saúde pública e o meio ambiente.

Os resultados obtidos demonstram uma variação significativa entre as duas campanhas de amostragem. Durante a primeira campanha, realizada na época seca, apenas o bairro de Minkadjuine e Munhuana (Ponto 5) apresentou uma concentração detectável de *E. coli* produtora de ESBL (2000 UFC/mL). Já na segunda campanha, realizada na época chuvosa, houve um aumento expressivo das contagens em todos os bairros amostrados, com destaque para Mafalala (Ponto 4), que apresentou a concentração mais elevada (300.000 UFC/mL), seguido de Maxaquene (Ponto 2) com 220.000 UFC/mL e novamente Maxaquene (Ponto 1) com 180.000 UFC/mL.

Esse aumento observado na época chuvosa pode estar relacionado a uma combinação de factores ambientais e microbiológicos, como o maior escoamento superficial durante as chuvas, que transporta resíduos contendo antibióticos e microrganismos resistentes das áreas urbanas, industriais e hospitalares para os sistemas de drenagem. A chuva, ao percolar o solo e atingir a rede de drenagem, atua possivelmente como um vector de redistribuição dos contaminantes microbiológicos, incluindo BRA. Além disso, o ambiente aquático durante o período chuvoso pode se tornar mais propício à multiplicação bacteriana devido à entrada de matéria orgânica e nutrientes, o que reduz a competição entre microrganismos e favorece o crescimento de bactérias resistentes.

Outro factor que pode contribuir é a possível intensificação da transferência horizontal de genes de resistência entre bactérias em ambientes aquáticos enriquecidos com matéria orgânica e contaminantes. Este processo permite que genes como os que codificam ESBL se disseminem rapidamente entre diferentes espécies bacterianas, favorecendo a expansão das BRA no meio ambiente.

A detecção de *E. coli* ESBL nos pontos utilizados para irrigação, nomeadamente o Vale do Infulene (Ponto 11) e o descarregador do Vale do Infulene (Ponto 12), ambos com concentrações de 20.000 UFC/mL na segunda campanha, levanta preocupações quanto à possibilidade de transferência de genes de resistência para o solo agrícola,

plantas e, eventualmente, seres humanos por meio da cadeia alimentar. Como mostram estudos, a irrigação com água contaminada pode ser um vector significativo de disseminação da resistência antimicrobiana (MCKENNA, 2019).

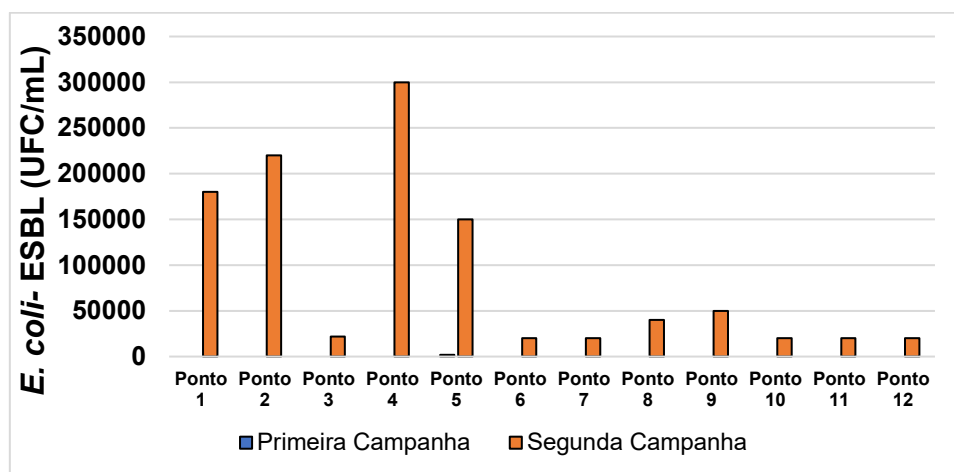
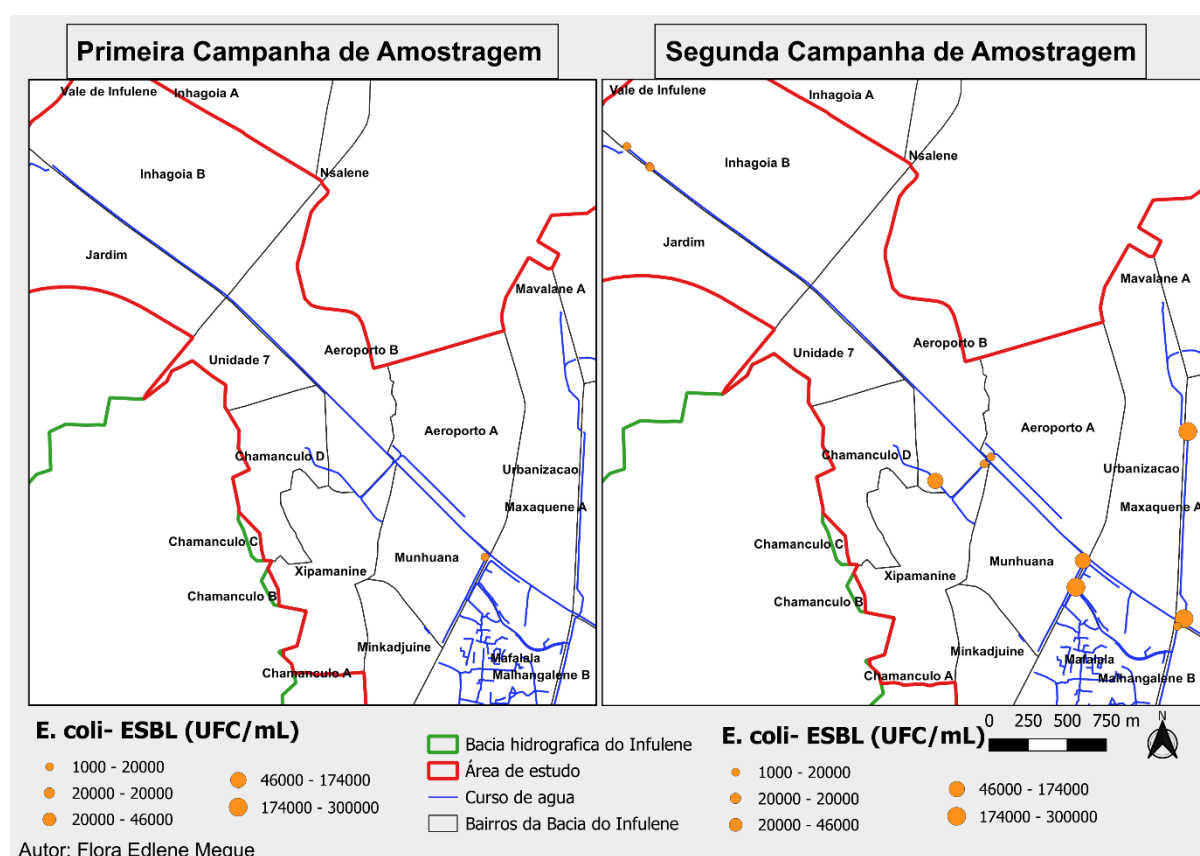


Gráfico 9- Resistência a Antibióticos por Ponto de Amostragem



Mapa 8- Distribuição espacial de resultados de BRA (E. coli-ESBL).

6. CONCLUSÃO

Com base nas análises realizadas ao longo da vala de drenagem da Avenida Joaquim Chissano, conclui-se que a qualidade da água do sistema de drenagem está significativamente comprometida, tanto do ponto de vista físico-químico como microbiológico. Os resultados obtidos ao longo das duas campanhas de amostragem, realizadas nas épocas seca e húmida, evidenciam que a drenagem urbana que percorre diversos bairros da cidade de Maputo contribui para a introdução de poluentes e microrganismos patogénicos no Rio Infulene, representando um risco para a saúde pública e para o meio ambiente.

As análises realizadas confirmam a ocorrência de parâmetros críticos em vários pontos do sistema, especialmente em zonas densamente povoadas e desprovidas de rede de esgoto. Por exemplo, os valores de DQO variaram entre 92 e 132 mg/L em alguns pontos, excedendo significativamente o limite de 75 mg/L definido para irrigação pela Revisão das Autorizações Gerais da África do Sul (GA 665/2013) e o valor de 150 mg/L para descargas no meio receptor (Decreto nº 52/2023). Parâmetros como condutividade eléctrica, sólidos totais dissolvidos e nutrientes (nitratos e fosfatos) também apresentaram concentrações elevadas, acima dos limites recomendados, especialmente em pontos localizados em áreas densamente povoadas e sem cobertura de rede de esgoto. Por exemplo, a concentração de sólidos totais dissolvidos chegou a ultrapassar os 2000 mg/L em alguns pontos (limite máximo admissível: 500 mg/L, Decreto nº 18/2004).

Esses resultados indicam a presença de fontes contínuas de poluição ao longo da bacia, associadas principalmente ao descarte direto de águas residuais domésticas em valas de drenagem, agravado pela ocorrência de chuvas que favorecem o arraste de contaminantes para o sistema.

Além disso, os baixos níveis de oxigénio dissolvido observados, especialmente a montante, são indicativos de elevada carga orgânica e de processos intensivos de degradação da matéria orgânica, o que compromete a renovação natural de oxigénio nos corpos hídricos receptores. Os níveis reduzidos de oxigénio dissolvido, particularmente a montante, indicam a presença de matéria orgânica e processos de degradação, com baixa renovação do oxigénio na água.

Os resultados das análises também mostraram níveis preocupantes de coliformes totais e fecais. As concentrações de coliformes totais variaram de $7,45 \times 10^6$ NMP/100 mL no bairro de Maxaquene a $6,87 \times 10^8$ NMP/100 mL no bairro de Mafalala na primeira campanha, e de $1,00 \times 10^6$ NMP/100 mL no Vale de Infulene a $1,86 \times 10^8$ NMP/100 mL no bairro de Mafalala na segunda. Já os coliformes fecais oscilaram entre $5,00 \times 10^5$ e $1,60 \times 10^7$ NMP/100 mL na época seca, com todos os pontos excedendo os limites estabelecidos para águas utilizadas na irrigação (100.000 NMP/100 mL), e mantiveram-se elevados na época húmida. A contaminação foi mais acentuada durante a época seca, devido à menor diluição dos poluentes, mas persistiu também na época húmida, revelando fontes de contaminação contínuas.

A detecção de BRA, como *E. coli* produtora de β -lactamases de espectro estendido (ESBL), em todos os pontos de amostragem durante a época húmida, evidencia o potencial do sistema de drenagem urbana como uma via de disseminação da resistência antimicrobiana para o ambiente. A concentração mais elevada foi identificada no bairro da Mafalala, com 300 000 UFC/100 mL (Segunda Campanha), seguido por Maxaquene (220 000 UFC/100 mL) e Minkadjuine (150 000 UFC/100 mL). A detecção dessas bactérias em pontos utilizados para irrigação revela o potencial de exposição da população a microrganismos resistentes a antibióticos.

Este estudo permitiu, confirmar que o sistema de drenagem urbana analisado não apenas acumula e transporta contaminantes de origem doméstica, como também actua como vector de distribuição de poluentes e bactérias resistentes a antibióticos ao longo da Bacia do Rio Infulene. Esse cenário compromete a qualidade da água, prejudica os ecossistemas e representa riscos para a irrigação e a saúde das populações locais, por favorecer a propagação de doenças e dificultar o tratamento de infecções.

6.1. Recomendações

Após a realização do trabalho, recomenda-se:

- Realizar estudos laboratoriais de susceptibilidade a antimicrobianos para determinar o perfil de resistência das bactérias isoladas a diferentes classes de antibióticos;

- Melhorar a gestão das águas residuais nas zonas críticas, incentivando soluções práticas como a construção de fossas ou sumidouros para águas cinzentas, especialmente em áreas que não possuem acesso à rede de esgoto;
- Reforçar a fiscalização e controlo das ligações clandestinas de esgotos domésticos às valas de drenagem pluvial, por meio de inspeções regulares coordenadas pelo Sector de Saneamento da Direcção Municipal de Infra-Estruturas Urbanas do Conselho Municipal de Maputo;
- Promover a manutenção periódica das valas de drenagem, incluindo limpezas preventivas e ações de desassoreamento, especialmente antes e durante a época chuvosa, para garantir o livre escoamento das águas e reduzir a estagnação;
- Desenvolver campanhas comunitárias de educação ambiental com foco na sensibilização das famílias sobre os riscos associados ao descarte inadequado de águas residuais, ao acúmulo de resíduos sólidos nas valas e ao uso indiscriminado de antibióticos;
- Realizar campanhas de monitoramento contínuo da qualidade da água, com foco especial nos pontos de uso agrícola, avaliando parâmetros físico-químicos, microbiológicos e a presença de bactérias resistentes a antibióticos;

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, R. F. (29 de March de 2017). Biological Wastewater Treatment and Resource Recovery. Obtido de <https://www.intechopen.com/chapters/53627>
- ANA, A. N. (s.d.). *PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS*. Obtido de Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA): <https://www.ana.gov.br/portaIpnqa/indicadores-indice-aguas.aspx?utm>
- Áreas urbanas contribuem para presença de fósforo nas águas*. (10 de Marco de 2010). Obtido de EcoDebate: <https://www.ecodebate.com.br/2010/03/10/areas-urbanas-contribuem-para-presenca-de-fosforo-nas-aguas/?utm>
- ARMAZENO, T. P., & CHIBITE, E. E. (2021). AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICO E MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DOS POÇOS RASOSUSADA PARA O CONSUMO HUMANO APÓS TRATADA POR SEMENTES DE *Moringa oleifera*-LOCALIDADE DA MADAL (MOÇAMBIQUE). Obtido de <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/educamazonia/article/view/9102>
- Até que ponto o tratamento das águas residuais urbanas é eficaz para reduzir a poluição da água?*. . (2025). Obtido de Agência Europeia do Ambiente: <https://www.eea.europa.eu/pt/help/perguntas-frequentes/ate-que-ponto-o-tratamento>
- BALCAZAR, J. L. (31 de Julho de 2014). Bacteriophages as Vehicles for Antibiotic Resistance Genes in the Environment. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004219>
- BAQUERO, F., & BLÁSQUEZ, J. (2008). *Evolution of antibiotic resistance - reviews*. TREE.
- BARBOSA, A. C. (2018). *MONITORAMENTO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO SERGIPE UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES*. São Cristóvão.

- BERENDONK, T. U., MANAIA, C. M., & MERLIN, C. (Abril de 2015). Tackling antibiotic resistance: the environmental framework. doi:<http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro3439>
- BITTAR, M. L. (2015). *Drenagem Urbana: Aspectos Técnicos e Ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos.
- BRANCO, J. H. (2022). *REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS – BACIAS DE RETENÇÃO – MODELAÇÃO DE UM CASO DE ESTUDO*. Porto.
- BUSH, K., & BRADFORD, P. (2016). *β -Lactams and β -lactamase inhibitors: An overview*. Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine.
- CHAHAL, C., VAN DEN AKKER, B., YOUNG, F., FRANCO, C., BLACKBEARD, J., & MONIS, P. (2016). Pathogen and Particle Associations in Wastewater. Obtido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065216416300971?via%3Dihub>
- CHEROBIM, A. L. (2017). *MULTIRRESISTÊNCIA DE Escherichia coli A ANTIBIÓTICOS: UMA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS URBANOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA*. CURITIBA.
- CHEROBIM, A. L. (2017). *MULTIRRESISTÊNCIA DE Escherichia coli A ANTIBIÓTICOS: UMA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS URBANOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA*. CURITIBA.
- Climate Adaptation and Stormwater Runoff*. (31 de Janeiro de 2024). Obtido de EPA: <https://www.epa.gov/arc-x/climate-adaptation-and-stormwater-runoff>
- COLIN, J. (2002). *Programa de Águas e Saneamento*.
- CONSTRUÇÃO DE SARJETA. (2024). Obtido de GRUPO PAVERS: <https://grupopavers.com.br/servicos/sarjeta>

- COSME, A. L. (26 de Março de 2025). *Poluição da Água: causas, consequências e soluções*. Obtido de 123Ecos: <https://123ecos.com.br/docs/poluicao-da-agua/>
- CUNHA, R. T. (2023). *ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DE UM LOTEAMENTO NA CIDADE DE UBERLÂNDIA COM USO DO PROGRAMA SWMM*. Uberlândia.
- DEURENBERG, R. H., & STOBBERINGH, E. E. (2008). *The evolution of Staphylococcus aureus. Infection, genetics and evolution : journal of molecular epidemiology and evolutionary genetics in infectious diseases*.
- Drenagem urbana: impactos causados por sistema de drenagem inadequado ou inexistente*. (20 de Fevereiro de 2002). Obtido de Oficina de Textos: <https://blog.ofitexto.com.br/meio-ambiente-recursos-hidricos/impactos-sistema-drenagem-urbana-ineficaz-inexistente/>
- ENGIDRO, H. A. (2015). *Plano Director de Saneamento e Drenagem da Área Metropolitana de Maputo. Ministério das Obras públicas, Habitação e Recursos Hídricos. AIAS – Administração de Infraestruturas de água e saneamento. Análise da situação existente, Maputo e Marracuene*.
- FIGUEIREIDO, A. L. (2023). *Índice de Contaminação Microbiana e de SARS-CoV-2 em efluentes urbanos e Águas de Recreio na região Algarvia*. Algarve.
- Green Infrastructure: How to Manage Water in a Sustainable Way*. (25 de Julho de 2022). Obtido de NRDC: <https://www.nrdc.org/stories/green-infrastructure-how-manage-water-sustainable-way#whatis>
- HÍDRICOS, S. D. (2002). *MANUAL DE DRENAGEM URBANA*. PARANÁ: CH2MHILL.
- HOW STORMWATER AFFECTS YOUR RIVERS*. (s.d.). Obtido de AMERICAN RIVERS: <https://www.americanrivers.org/threats-solutions/clean-water/stormwater-runoff/>
- INE, I. N. (2020). *Indicadores Básicos do Ambiente - Moçambique*. Moçambique: Instituto Nacional De Estatística.

- JANE, A. F. (2017). *Tratamento de Águas Residuais e Gestão de Lamas Fecais m Moçambique: Ponto de Situação, Desafios e Perspetivas*. Lisboa.
- JORDÃO, E. P., & PESSÔA, C. A. (2009). *Tratamento de esgotos domésticos*. Rio de Janeiro.
- KRONEMBERGER, D. M., & JUNIOR, J. C. (2012). *Impactos na saúde humana da contaminação por águas residuais urbanas*. Instituto Trata Brasil.
- KÜMMERER, K. (2 de Agosto de 2004). Resistance in the environment. doi:<https://doi.org/10.1093/jac/dkh325>
- LANGA, J. S. (2022). *AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO NA REGIÃO DA BACIA DO RIO INFULENE*. Maputo: UEM.
- LERMEN, A., CLERICI, N., SCHEIN, D., FRONZA, C., & FRONZA, M. (2020). *CONSEQUÊNCIAS DA INEFICIÊNCIA DOS PROJETOS DE DRENAGEM URBANA: UM DIAGNÓSTICO DO CARREGAMENTO DE SEDIMENTOS CAUSADORES DE MALEFÍCIOS À SAÚDE HUMANA*. Campinas.
- LOURENCO, R. (2014). *Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis*. Coimbra: Instituto Politécnico de Coimbra.
- MA, X., LI, N., YANG, H., & LI, Y. (2022). Exploring the relationship between urbanization and water environment based on coupling analysis in Nanjing, East China. Nanjing.
- MAPUTO, C. M. (2021). *Componente 1: Melhoria Integrada dos Assentamentos Informais*.
- MAPUTO, M. D. (2021). *PROJECTO DE TRANSFORMAÇÃO URBANA DE MAPUTO (PTUM P171449)*. Maputo: CONSELHO MUNICIPAL DE MAPUTO.
- MCKENNA, M. (19 de Junho de 2019). *The Science Is Clear: Dirty Farm Water Is Making Us Sick*. Obtido de Wired: <https://www.wired.com/story/the-science-is-clear-dirty-farm-water-is-making-us-sick>

Mecanismos comuns da resistência a antibióticos. (s.d.). Obtido de MANUAL MSD:
<https://www.msdmanuals.com/pt/profissional/multimedia/table/mecanismos-comuns-da-resist%C3%Aancia-a-antibi%C3%B3ticos?utm>

Mechanisms of antibiotic resistance. (2025). Obtido de DREAMSTIME:
<https://es.dreamstime.com/diagrama-de-esquema-resistencia-antibi%C3%B3tica-mecanismo-ilustrado-en-c%C3%A9lulas-bacterianas-ejemplos-ilustrados-del-esquemas-los-image231919386>

MIYAK, D., KASAHARA, Y., & MORISAKI, H. (2003). *Distribution and Characterization of Antibiotic Resistant Bacteria in the Sediment of Southern Basin of Lake Biwa.*

MONTERO, T., ALVES, M., & GUEDES, V. (2016). *CICLO HIDROLÓGICO EM ÁREAS URBANAS.* Campo Rio Claro.

NAGHAVI, M., VOLLSET, S. E., S., I. K., R., S. L., P., G. A., E., W. E., & MURRAY, C. (September de 2024). Global burden of bacterial antimicrobial resistance.

NASCIMENTO, E. D. (2016). *RESISTÊNCIA BACTERIANA EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: CARACTERIZAÇÃO, AÇÕES PARA VIGILÂNCIA AMBIENTAL, PREVENÇÃO E EDUCAÇÃO EM SAÚDE.* Natal – RN.

NHANTUMBO, C., VAZ, N., RODRIGUES, M., MANUEL, C., RAPULUA, S., LANGA, J., . . . DINIS, J. (2 de Janeiro de 2023). Assessment of Microbial Contamination in the Infulene River Basin, Mozambique.
doi:<https://doi.org/10.3390/w15020219>

NHAMTUMBO, H. F. (2022). *AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO SISTEMA DE DRENAGEM NA REGIÃO DA BACIA DO RIO INFULENE.* Maputo.

Odebrecht Ambiental inicia a implantação de 800m da linha de recalque de esgoto na área da FEPASA. (17 de Outubro de 2014). Obtido de Porto Ferreira Hoje:
<https://www.portoferreirahoje.com.br/noticia/2014/10/17/odebrecht-ambiental->

inicia-a-implantacao-de-800m-da-linha-de-recalque-de-esgoto-na-area-da-fepasa/

OLIVEIRA, N. d. (2014). *Saneamento ambiental no estado do Amapá e a ocorrência de doenças*. Amapá: UNIFAP - Universidade Federal do Amapá.

Pereira, M. A., Palmeira, J. D., & Ferreira, H. (29 de September de 2023). Contamination of a Water Stream and Water Drainage Reaching Matosinhos Beach by Antibiotic-Resistant Bacteria. Obtido de <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/12/2833>

PESCADINHA, N. P., & FARIA, B. M. (2021). *IMPACTOS DA DRENAGEM URBANA INEFICIENTE. ESTUDO DE CENÁRIO: CIDADE DE NILÓPOLIS*. Estácio de Sá.

POERSCH, A. C., SEBASTIEN, N. Y., TABORDA, J., NETO, J. C., CAO VILLA, M. M., & FONSECA, C. A. (2019). *A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e possíveis fatores de influência nos processos em águas superficiais do Rio São Francisco Verdadeiro –Paraná*. Paraná.

PRUDEN, A., LARSSON, D. J., AMEZQUITA, A., COLLIGNON, P., BRANDT, K. K., GRAHAM, D. W., & LAZORCHAK, J. M. (4 de Junho de 2013). Management Options for Reducing the Release of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes to the Environment. *181*(8), pp. 878-885. doi:<https://doi.org/10.1289/ehp.1206446>

Qualidade da Água. (22 de Setembro de 2015). Obtido de PORTAL TRATAMENTO DE AGUA: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/qualidade-da-agua/>

RAÍ, C. A., & VIAGEM, L. D. (2012). *A QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA CONSUMIDA NOS BAIRROS DA CIDADE DE MONTEPUEZ*. Montuepez: KULAMBELA.

RAPULUA, S. J. (2022). *Avaliação da qualidade da água do Rio Infulene*.

Rio Infulene. (18 de Maio de 2019). Obtido de WIKIPEDIA: https://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Infulene

- RIZZO, L., MANAIA, C., MERLIN, C., SCHWARTZ, T., DAGOT, C., PLAY, M. C., . . .
FATTA-KASSINOS, D. (2013). *Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: A review.*
- RODRIGUES, M. B. (2023). *Evaluation of the Water Quality of the Infulene River Basin.*
- SALLES, C. (7 de Maio de 2014). *Sabões, detergentes e seus impactos no meio ambiente.* Obtido de Jusbrasil: <https://www.jusbrasil.com.br/noticias/saboes-detergentes-e-seus-impactos-no-meio-ambiente/118550867?utm>
- SALVATI, C., & VIDEIRA, N. (29 de Agosto de 2019). *Resistência a antibióticos – um problema ambiental.* Obtido de Profissão Biotec: <https://profissaobiotec.com.br/resistencia-antibioticos-problema-ambiental/>
- SAMROT, V. A., ORCID, W. S., PREETH, R. S., PRAKAH, P., & SATHIYASREE, M. (2023). *Sources of Antibiotic Contamination in Wastewater and Approaches to Their Removal—An Overview.* Obtido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/16/12639>
- SEILER, C., & BERENDONK, T. U. (2012). *Heavy metal driven co-selection of antibiotic resistance in soil and water bodies impacted by agriculture and aquaculture .*
- SILVA, B. L., OLIVEIRA, I. D., BUENO, L. L., SILVA, T. P., SILVA, T. P., PAULO, J. C., & AMARANTE, M. D. (2019). *CONJUNTO DE DRENAGEM URBANA NAS CIDADES E SUA IMPORTÂNCIA NA REDUÇÃO DE INUNDAÇÕES E ENCHENTES .*
- SILVA, J. P. (2007). *Estudos Preliminares para implantação de trincheiras de infiltração.* Brasília: Universidade de Brasília.
- SILVA, K. D., LEAL, T., & LOUREIRO, A. (2023). *PROBLEMAS CAUSADOS POR PLANOS DE DRENAGEM INADEQUADOS DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM ÁREA URBANA.*

Sistema de Saneamento na Cidade de Maputo. (5 de Novembro de 2014). Obtido de Sapo: <https://saneamentonacidadedemaputo.blogs.sapo.pt/sistema-de-saneamento-na-cidade-de-807>

SOSA-HERNANDEZ, J. E., RODAS-ZULUNGA, L. I., LOPEZ-PACHECO, I. Y., MELCHOR-MARTINEZ, E. M., AGHALARI, Z., LIMON, D. S., . . . PARRA-SALDIVAR, R. (30 de Agosto de 2021). Sources of antibiotics pollutants in the aquatic environment under SARS-CoV-2 pandemic situation. doi:: 10.1016/j.cscee.2021.100127

THE IMPACT OF URBANIZATION ON SOURCE WATER QUALITY: A CLOSER LOOK AT STORMWATER RUNOFF. (s.d.). Obtido de SCHWARZE INDUSTRIES: <https://schwarze.com/en/the-impact-of-urbanization-on-source-water-quality-a-closer-look-at-stormwater-runoff/>

TOMO, S. X. (2018). *Impactos Sócio-ambientais da Ocupação Espontânea do Vale do Infulene "A" no Município da Matola (2000 – 2018)* . Maputo.

TUCCI, C. E. (2002). *Gerenciamento da Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TUCCI, C. E. (2008). Águas urbanas. Estudos Avançados.

Urban Water Pollution. (s.d.). Obtido de Urban Watersheds: <https://www.gdrc.org/uem/water/watershed/urban-water-pollution.html>

Waturangi, D. E. (16 de November de 2023). Enumeration of Bacteriophages by Plaque Assay.

ZAGONEL, J., ZANGONEL, E. F., & OGLIARI, N. F. (2021). *RESISTÊNCIA BACTERIANA A ANTIBIÓTICOS: UMA BREVE REVISÃO*. Santa Catarina.

ANEXOS

A. Anexo 1: Procedimentos experimentais

A - 1: Fosfatos (PO_4^{3-})

Materiais

- Espectrofotômetro (Hach DR3900): para a leitura de fosfato;
- Temporizador: para melhor controle do tempo necessário para a reação ocorrer;
- Cubetas: marcados com volume de 10 mL;
- Pipetas graduadas de 5 mL;
- Tubos de ensaio;
- Proveta graduada.

Reagentes

Para este experimento foram usados reagentes de fosfatos da marca Hash PhosVer 3 para 10 mL de amostra.

Procedimentos

- a) Tirou-se a amostra da geleira um tempo antes de iniciar a experiência, pois para que se obtenha melhor resultado é importante que a amostra esteja à temperatura ambiente.
- b) Ligou-se o Espectrofotômetro (Hach DR3900) e recorreu-se ao programa armazenado (P react Pv 2,50 mg/L).
- c) Numa grelha de tubos de ensaio, colocaram-se tubos de ensaio para a realização da experiência e foram rotulados para melhor identificação. Depois disso, mediu-se 10 mL da amostra em uma proveta e transferiu-se para o devido tubo de ensaio. Nesta fase preparou-se também o “branco” para cada ponto de amostragem, colocando-se 10 mL da amostra na cubeta (10mL) que será usada para zerar antes da medição do fosfato.

- d) Em seguida, adicionou-se uma saqueta do reagente PhosVer 3 no tubo de ensaio, tendo sido notado uma coloração azul nas amostras que possuíam fosforo após adição do reagente. Em seguida fechou-se o tubo de ensaio imediatamente e agitou-se, no sentido de cima para baixo, na vertical, por 20-30 segundos. Depois da agitação colocou-se o tubo de ensaio na grelha, onde deixou por 2 minutos (tempo necessário para que a reação possa ocorrer).
- e) Cessado os 2 minutos marcados na etapa anterior, introduziu-se a solução (reagente + amostra) na segunda cubeta (10mL). Com o espectrofotômetro ligado e calibrado, introduziu-se primeiro o “branco” para zerar e de seguida colocou-se a cubeta com a solução (reagente + amostra) a para leitura da concentração do fosforo. Importa frisar que a cada introdução da cubeta no espectrofotômetro, o recipiente era limpado com um papel de laboratório

A - 2: Nitratos (NO_3^-)

Materiais

- Espectrofotômetro (Hach DR3900): para a leitura de nitratos;
- Temporizador: para melhor controle do tempo necessário para a reação ocorrer;
- Cubetas: marcados com volume de 10 mL;
- Pipetas graduadas de 5 mL;
- Tubos de ensaio:
- Proveta graduada.

Reagentes

Para este experimento foram usados reagentes de nitratos da marca Hash NitraVer 5 para 10 mL de amostra

Procedimentos

- a) Tirou-se a amostra da geleira um tempo antes de iniciar a experiência, pois para melhor resultado é importante que a amostra esteja à temperatura ambiente.
- b) Ligou-se o Espectrofotômetro (Hach DR3900) e recorreu-se ao programa armazenado (361N Nitratos HR AV).
- c) Numa grelha de tubos de ensaio, colocaram-se tubos de ensaio para a realização da experiência e foram rotulados para melhor identificação. Depois disso, mediu-se 10 mL da amostra em uma proveta e transferiu-se para o devido tubo de ensaio. Nesta fase preparou-se também o “branco” para cada ponto de amostragem, colocando-se 10 mL da amostra na cubeta (10mL) que será usada para zerar antes da medição do nitrato.
- d) Adicionou-se uma saqueta do reagente NitraVer 5 no tubo de ensaio. Em seguida fechou-se o tubo de ensaio imediatamente e agitou-se, no sentido de cima para baixo, na vertical, por 20-30 segundos. Depois da agitação colocou-se o tubo de ensaio na grelha, onde deixou por 5 minutos (tempo necessário para que a reação possa ocorrer).
- e) Cessado os 5 minutos marcados na etapa anterior, introduziu-se a solução (reagente + amostra) na segunda cubeta (10mL). Com o espectrofotômetro ligado e calibrado, introduziu-se primeiro o “branco” para zerar e em seguida colocou-se a cubeta com a solução (reagente + amostra) para leitura da concentração do fósforo. Importa frisar que a cada introdução da cubeta no espectrofotômetro, o recipiente era antes limpo com um papel de laboratório.

A - 3: Demanda química de oxigênio (DQO)

Material

- Espectrofotômetro (Hach DR3900): para a leitura de DQO;
- Temporizador: para melhor controle do tempo necessário para a reação ocorrer;

- Cubetas: marcados com volume de 10 mL;
- Pipetas graduadas de 5 mL;
- Tubos de ensaio;
- Proveta graduada;
- Bloco de gestão ou reactor (Stuart SBH200D Block Heater).

Reagentes

Para este experimento foram usados reagentes da marca Hash, com solução de digestão para DQO.

Procedimentos

- a) Tirou-se a amostra da geleira um tempo antes de começar a experiência, uma vez que, para obter um melhor resultado é importante que a amostra esteja à temperatura ambiente.
- b) Antes de dar início a experiência, ligou-se o bloco de digestão e programou-se para atingir a temperatura de 150 °C (temperatura necessária para a reação ocorrer).
- c) Em uma grelha de tubos de ensaio, colocaram-se os tubos que continha a solução de digestão para DQO para a realização da experiência e rotulam-se para melhor controle.
- d) Em seguida preparou-se o “branco”, introduzindo-se por meio de uma pipeta 5 mL de água destilada na solução de digestão para DQO. O “branco” foi o mesmo para todos experimentos, já que se tratava do uso da água destilada para o preparo do mesmo.
- e) Depois disso, pipetou-se à um ângulo de aproximadamente 45°, 5 mL de cada amostra no devido tubo de ensaio. Agitou-se, na horizontal, de um lado para o outro formando uma semicircunferência. A agitação só cessava após redução

da temperatura, uma vez que com a introdução da amostra na solução a temperatura aumenta rapidamente.

- f) Colocaram-se os tubos no reactor, já ligado e à temperatura prescrita no bloco de gestão, onde deixou-se por 2 horas (tempo necessário para a reação ocorrer).
- g) Após o termino do tempo marcado, desligou-se o reactor e cronometrou-se 20 minutos sem tirar os tubos no reactor, para que atingisse uma temperatura aproximada de 120 °C.
- h) Com os tubos já arrefecidos, prosseguiu-se com a leitura. Tendo primeiramente transferido as soluções para as cubetas usadas no espectrofotômetro. Para efectuar a leitura, primeiro introduziu se o “branco” no espectrofotômetro para zerar e em seguida introduzia-se a solução (reagente + amostra) para fazer a leitura de DQO. A cada introdução da cubeta no espectrofotômetro, o recipiente era antes limpo com um papel de laboratório.

A - 4: Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Material

- Garrafas de incubação: 250-300ml de capacidade, com tampa esmerilada. Limpe as garrafas com detergente, enxaguar bem, e drenar antes da utilização. Como precaução contra a tiragem de ar no frasco de diluição durante a incubação, usar selo de água.
- Incubadora de ar ou banho de água: programou-se a 20 ± 1 graus Celcius. Excluir toda a luz para evitar a possibilidade de produção de fotossintética de OD.
- Uma sonda Trace 2O-AQUAMETER: para medir o oxigênio dissolvido no primeiro e no quinto dia.

Reagentes

- Solução tampão de fosfato: dissolveu-se 8.5 g de KH_2PO_4 , 21,75 g de K_2HPO_4 , 33,4g de $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$, 1.7g de NH_4Cl e, em cerca de 500ml de água destilada e dilui-se a 1L. o pH deverá ser de 7,2 sem ajustamento adicional. Descarta reagente (ou quaisquer seguintes reagentes) se não houver quaisquer sinais de crescimento biológico na garrafa de reserva.
- Solução de sulfato de magnésio: dissolveu-se 22,5g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ em água destilada e diluiu-se a 1L.
- Solução de cloreto de cálcio: dissolveu-se 22,5 g de $CaCl_2$ em água destilada e diluiu-se em 1L.
- Solução de cloreto de ferro: dissolveu-se 0,25g de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ em água destilada e diluiu-se em 1L.

Procedimento

- a) Ajuste de temperatura das amostras e do ambiente: antes de iniciar a experiência, é importante assegurar que tanto as amostras assim como o ambiente estejam uma temperatura de 20 ± 1 °C portanto, tirou-se as amostras da incubação e condicionou-se o ambiente à temperatura desejada. O controle da temperatura foi feito com ajuda de um termômetro.
- b) Preparação da água de diluição: adicionou-se no frasco adequado 1 L e adicionou-se 1ml de cada solução tampão de fosfatos, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaCl_2$ e solução de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$.
- c) Com base na correlação entre DBO e DQO (Equação 1), determinou-se o Volume da amostra (V_a) através da equação 2.
- d) Determinado o volume da amostra, preparou-se diluições diretamente em garrafas de DBO, tendo adicionado o volume de amostra desejada à garrafas individuais de DBO de capacidade conhecida através de uma pipeta volumétrica de ponta larga. Encheu-se a garrafa com água de diluição suficiente, e por meio da sonda Trace 20-AQUAMETER mediu-se o OD inicial (OD_i) em uma garrafa. Em seguida fechou-se a garrafa e colocou-se na incubadora durante 5 dias a 20 ± 1 graus celcius °C.

e) Após 5 dias de incubação foi medido o OD final com recurso a sonda Trace 2O-AQUAMETER. Em seguida determinou-se o DBO com recurso a equação 3.

$$\frac{DBO}{DQO} \cong 0.7 \quad (\text{Equação 1})$$

$$V_{amostra} = \frac{\Delta OD \times V_{frasco}}{DBO} \quad (\text{Equação 2})$$

$$DBO_5 = (OD_i - OD_5) \times \frac{V_{frasco}}{V_{amostra}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

DBO₅ – Demanda bioquímica de oxigênio.

DQO – Demanda química de oxigênio.

V_{amostra} – Volume da amostra.

V_{frasco} – Volume do frasco.

ΔOD = 4 mg/L

OD_i – Oxigênio dissolvido no primeiro dia.

OD₅ – Oxigênio dissolvido no quinto dia.

A - 5: Coliformes Totais e Fecais

Materiais

- Incubadora: para este procedimento, ligou-se a incubadora e colocou-se a temperatura de 35°C;
- Quanti-Tray Sealer PLUS – IDEXX: para selagem das cartelas;
- Um banho Maria: para melhor nitidez da coloração positiva nas cartelas;

- Pipetas graduadas de 1 mL;
- Cartela para inoculação;
- Frascos de diluição (100 mL)
- Luz ultravioleta (UV)

Reagentes

Para este experimento foram usadas reagentes Colilert* 18 para 100 mL de amostra, e água destilada.

Procedimentos

- a) Tirou-se a amostra da geleira um tempo antes de iniciar a experiência, pois para obter melhor resultado é importante que a amostra esteja à temperatura ambiente.
- b) Esterilizou-se o balcão com álcool à 70%, colocou-se as placas (cartelas) de contagem de E. coli/ coliformes e rotulou-se para melhor identificação dos mesmos.
- c) Para cada ensaio era feito uma diluição que estava entre $1:10^3$ a $1:10^6$. Após a diluição, adicionava-se o substrato Colilert* 18 e deixa-se até o reagente dissolver por completo.
- d) Depois do reagente ter sido dissolvido, colocou-se a solução (100 mL) delicadamente na placa/cartela para evitar a formação de bolhas de ar. E em seguida colocou-se a placa no Quanti-Tray Sealer PLUS – IDEXX para selagem.
- e) Levou-se a placa já selada para o banho Maria, onde foi colocado a uma temperatura de 45°C durante 10 minutos.
- f) Cessado os 10 minutos, levou-se a placa para incubar à uma temperatura de 35°C durante um intervalo de 18 a 22 hora. E após esse tempo fez-se a leitura dos coliformes totais e E. coli.

- g) Para a leitura, dispôs-se as placas no balcão esterilizados e a contagem foi feita minuciosamente. Para a contagem, considerou-se a coloração amarela que indicam coliformes totais. E no caso de coliformes fecais (E. Coli) foram contados na presença da luz ultravioleta, onde refletia uma luz brilhante indicando presença de E.coli, embora só tenha sido considerado os deram positivo para coliformes totais. A equação abaixo mostra o cálculo aplicado para obter os valores.

$$\text{Coliformes Totais(NMP)} = \text{Valor TAB} \times \text{fator diluição}$$

$$\text{E. Coli(NMP)} = \text{Valor TAB} \times \text{fator diluição}$$

Valor TAB = Contagem do número de cavidades grandes e pequenas

Fator de diluição = Diluição usada para a incubação da amostra

A – 6: Quantificação de *E. coli* produtoras de ESBL

Materiais e Equipamentos

- Estufa de incubação com controle de temperatura;
- Contador manual ou contador, eletrônico de colônias;
- Pipetas estéreis de vidro ou plástico, de volume adequado;
- Recipiente para pipetas de vidro (aço inoxidável, alumínio ou vidro borossilicato);
- Cilindros graduados estéreis (100–1000 mL), cobertos com papel alumínio ou papel kraft;
- Unidades de filtração por membrana estéreis (base e funil), de vidro, plástico ou aço inoxidável;
- Fonte de vácuo (bomba elétrica, linha de vácuo, aspirador ou bomba manual);
- Frascos de filtração a vácuo (1 L), com mangueira apropriada;

- Colector de filtros (opcional);
- Frasco de segurança entre o frasco de filtração e a fonte de vácuo;
- Pinça recta ou curva com pontas lisas para manipulação dos filtros;
- Álcool (etanol, metanol ou isopropanol) para esterilização das pinças;
- Bico de Bunsen, incinerador elétrico ou similar;
- Placas de Petri estéreis (plástico, 9 × 50 mm e 15 × 100 mm);
- Filtros de membrana estéreis, brancos, com marcação em grade (47 mm de diâmetro, 0,45 µm de porosidade);
- Alças de inoculação de fio de platina (3 mm de diâmetro) ou alças plásticas estéreis;
- Banho-maria;
- Autoclave;
- Unidade de radiação UV para sanitização do funil de filtração (opcional);

Reagentes e Meios de Cultura

- Placas CHROMagar™ ESB (prontas ou preparadas conforme instruções do fabricante):
 - Para o preparo do meio de cultura CHROMagar™ ESB, deve-se dissolver lentamente 33 g do meio em pó em 1 litro de água purificada, aquecendo a mistura até a fervura (100 °C) e mexendo regularmente. Em seguida, o meio deve ser autoclavado a 121 °C por 15 minutos. Após a esterilização, resfria-se em banho-maria até atingir a temperatura de 45–50 °C. Paralelamente, dissolve-se 570 mg do suplemento necessário em 10 mL de água purificada estéril, homogeneizando bem até obter uma aparência opaca e amarelada. O suplemento deve então ser adicionado ao CHROMagar™ fundido e resfriado, com nova homogeneização da mistura. Por fim, a preparação é vertida em placas de Petri estéreis, deixadas para solidificar e secar. As placas devem ser armazenadas no escuro até o momento do uso, podendo ser mantidas por até

um dia em temperatura ambiente ou por até um mês sob refrigeração, entre 2 e 8 °C.

Procedimentos

- a) Agitar bem o frasco da amostra antes de cada análise.
- b) Filtrar 10 mL da amostra usando membranas de 0,45 µm. A membrana deve ser colocada cuidadosamente sobre a superfície da placa de CHROMagar™ ESBL, evitando bolhas de ar.
- c) As placas são incubadas a 42 ± 1 °C, por 24 ± 3 horas, em condições aeróbicas.
- d) Após a incubação, observa-se a coloração das colônias. As colônias com coloração violeta são indicativas de *Escherichia coli* produtoras de ESBL.

B. Anexo 2: Tabela de resultados das amostras coletadas

Tabela B2-1: Primeira Campanha (07/07/2024)

Pontos de amostragem	Data	Parâmetros de Campo					Parâmetros Laboratorias						
		T (°C)	pH	EC (µS/cm)	DO (mg/L)	TDS (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	CT (NMP/100ml)	CF (NMP/100ml)	BRA (UFC/ml)
P1 (Av. Acordos de luzaka/ Av. J. Chissano)	07/07/2024	25.63 3	7.493 33	1325.3 33	3.96	940	5.6	9	10.25	12.08	7450000	500000	0
P2 (Av. Acordos de luzaka/ Av. J. Chissano)		27.6	7.31	1358.6 66	2.586 66	970	7.7	61.666	5.5	7.166	568600000	1000000	0
P3 (Exutório do bairro Maxaquene)		25.76 6	7.47	1339.3 33	0.176 66	950.3 3	10.8	6.9	61.9	93.16	63600000	6350000	0
P4 (Av. Angola/ Av. J. Chissano)		23.9	8.123	3040	0	2153. 33	32.1	34.666	36.6	56.98	686700000	16000000	0
P5 (Av. Angola/ Mafalala)		24.7	7.32	1455	0.403 3	1030	5.2	4.4	26.6	32.33	325500000	9700000	2000
P6 (Exutório xipamanine/ Hospital)		25	7.26	1515	3.773	1007	5.5	48	12.1	14.16	122150000	1000000	0
P7 (Aeroporto A e B)		24.6	7.463	1396.3 3	3.41	990	5.8	36.333	6.85	9.416	202850000	1000000	0
P8 (conduta xipamanine)		24.5	7.153	1451.6 66	1.036	1004	3.7	55.666	8	15.33	449500000	3000000	0
P9 (Vala xipamanine/cha manculo)		26.06 66	8.28	718.33 33	0.004 35	510.3 33	4.1	23.33	12.8	25.33	151500000	2000000	0

P10 (vala do infulene)		24.06 66	7.976	1279	6.34	908	4.4	63	6.175	10.29	142100000	500000	0
P11 (Exutório jardim)		24.56 66	7.35	1023	6.293	728	2.8	60.666	5.3	20.83	72500000	1000000	0
P12 (Descarregador)		24.86 6	7.44	1098.6 66	2.45	781	5.9	47.333	15.4	19.8	241150000	500000	0
	Média	25.105	7.553	1416.6 94	2.536	997.6 66	7.8	34.164	17.289	12.08	252800000	3545834.167	166.6666 667
	Desvio	1.06	0.34	543.43	2.15	422.7 9	7.24	23.39	17.04	24.41	231371813.9	4837091.99	577.35

Tabela B2-2: Segunda Campanha (18/10/24)

Pontos de amostragem	Data	Parâmetros de Campo					Parâmetros Laboratorias						
		T (°C)	pH	EC (µS/cm)	DO (mg/L)	TDS (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	CT (NMP/100ml)	CF (NMP/100ml)	BRA (UFC/ml)
P1 (Av. Acordos de luzaka/ Av. J. Chissano)	18/10/2024	24.4	7.23	1128.3 33	6.59	807.3 33	4.4	33	34.53 33	67.55	3.60E+06	1.00E+06	180000
P2 (Av. Acordos de luzaka/ Av. J. Chissano)		24.5	7.31	1386.3 33	4.98	982	6.4	33	33.88	52.46	1.27E+07	5.00E+05	30000
P3 (Exutório do bairro Maxaquene)		23.83 3	7.503 3	1111.3 33	0.053 3	790	14.1	27	51.03 33	75.05 556	4.17E+07	5.35E+06	220000
P4 (Av. Angola/ Av. J. Chissano)		21.65 5	7.64	2510	0	1780	44.2	99	60.76 66	98.27 778	1.86E+08	8.70E+07	300000

P5 (Av. Angola/ Mafalala)		23.07	7.32	1276	1.046 6	910	6.9	16	60.86 66	81.44	1.48E+08	5.90E+06	150000
P6 (Exutório xipamanine/ Hospital)		23.93 3	7.356 6	1400	4.446 6	999.3 33	17.9	26	47.88	67.8	1.80E+07	5.00E+05	50000
P7 (Aeroporto A e B)		24.36 6	7.92	912	7.933 33	650	5.7	27	35.23 66	74.72 778	1.13E+07	5.00E+05	20000
P8 (conduta xipamanine)		24.23 3	7.26	1294.3 33	0.973 33	918	3.3	33	52.93 33	90.22	2.22E+07	1.00E+06	40000
P9 (Vala xipamanine/cha manculo)		24.43 3	8.076 6	1294.3 33	0.006 66	924.3 33	9.8	75.54	73.76 66	128.9	4.76E+07	2.00E+06	50000
P10 (vala do infulene)		24.00 5	7.396 6	999.66 66	4.553 33	711.6 66	3	66	38	69.33	1.69E+07	1.00E+06	20000
P11 (Exutório jardim)		24.36 6	7.896 6	1034.3 33	6.236 66	743.3 33	4.3	29	27.00 33	39.00 556	1.00E+06	5.00E+05	20000
P12 (Descarregador)		24.23 3	7.396	976.33 33	5.59	702	4.4	27	24.45 89	38.76 483	1.50E+06	5.00E+05	20000
	Média	23.92	7.525	1276.9 16	3.534	909.8 33	10.366	43.25	45.02 9	73.63	4.26E+07	8.81E+06	5.07E+04
	Desvio	0.718	0.259	432.77 4	2.644	309.7 23	11.899	24.004	15.29 1	24.31 6	5.26E+07	2.39E+07	8926.196

C. Anexo 3: Padrões de emissão de efluentes

Tabela C3 - 1: Padrões de emissão de efluentes domésticos e industriais em sistemas de drenagem estabelecido pelo regulamento dos sistemas públicos de distribuição de água e de Drenagem de Águas residuais (Decreto nº 30/2003 de 1 de Julho).

Parâmetro ⁽¹⁾	Valor máximo admissível ⁽¹⁾	Unidades	Obs.
Temperatura	45	°C	
pH, 25°C	6,0 - 10,0	Escala de Sorensen	
Sólidos suspensos totais (SST)	1000	mg/l	
Carência química de oxigénio (CQO)	2000	mg/l O ₂	
Óleos e gorduras	100	mg/l	

Tabela C3 - 2: Padrões gerais de descarga de águas residuais domésticas e industriais no meio receptor estabelecido pelo regulamento dos sistemas públicos de distribuição de água e de Drenagem de Águas residuais (Decreto nº 30/2003 de 1 de Julho).

Parâmetro ⁽¹⁾	Valor máximo admissível	Unidades	Observações
Cor	diluição 1:20	Presença/ausência	
Cheiro	diluição 1:20	Presença/ausência	
pH, 25°C	6,0-9,0	Escala de Sorensen	
Temperatura	35 ⁽²⁾	°C	Aumento no meio receptor
Carência química de oxigénio (CQO)	150,0	mg/l O ₂	
Sólidos suspensos totais (SST)	60,0	mg/l	
Fósforo total	10,0	mg/l	3 mg/l em zonas sensíveis
Azoto total	15,0	mg/l	

Tabela C3 - 3: Classificação, quantificação e interpretação de análises laboratoriais de Água para condutividade eléctrica (CE)

Tabela 1.1. CE água mS/cm				
Min	Max	Classificação	Qualificação	Interpretação
0.10	0.25	Muito baixo	Não salgada	Sem restrições para rega
0.26	0.75	Baixo	Pouco salgada	Pouco risco para rega com lavagem moderada
0.76	2.25	Médio	Salgada	Risco para rega: utilizar água sobre solos moderadamente a mal permeáveis e culturas com média a boa tolerância a salinidade: lavagem é necessária
2.26	4.00	alto	Altamente salgada	Riscos altos para a rega: utilizar água sobre solos bem permeáveis e culturas tolerantes a salinidade, "condições especiais de lavagem necessárias"
4.01	6.00	Muito alto	Extremamente salgada	Rega não desejável: apenas sobre solos altamente permeáveis e culturas altamente tolerantes a salinidade
> 6.00		Extremamente alto	Excessivamente salgada	Água não apta para rega, somente em condições muito especiais

Qualidade da água para fins de irrigação (regulamento sobre padrões de qualidade Ambiental e de Emissão de Efluentes), Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho.

Irrigação:

- Total de sólidos dissolvidos < 500 mg/L.
- Total de bactérias < ou = 100000/100ml.
- Salinidade: media através da condutividade eléctrica da água (CE água, mS/Cm).
- Níveis de absorção de sólidos (SAR) da água de rega.

Tabela C3- 4: Padrões gerais de descarga de águas residuais domésticas e industriais nas águas superficiais e subterrâneas estabelecido pelo Regulamento de Padrões de Qualidade de Água Bruta e de Descarga de Efluentes Líquidos e Sólidos (Decreto nº 52/2023 de 30 de Agosto)

Grupo	Parâmetro	Unidade	Limite Admissível	Proposta de Taxa em Metacais (Sector)		
				Indústria/Mineração	Agricultura	Doméstico
Tóxicos	Cádmio	mg/L	0.005	4.31	0.35	4.31
	Chumbo	Mg/L	0.01	4.31	0.35	4.31
	Cromo	mg/L	0.05	4.31	0.35	4.31
	Níquel	mg/L	0.02	4.31	0.35	4.31
	Mercúrio	mg/L	0.001	4.31	0.35	4.31
	PPTHM4/Potencial de Formação de Trihalometanos	µg/L	373	4.31	0.35	4.31
	Cianetos	mg/L	5.0	4.31	0.35	4.31
Metais	Alumínio	mg/L	0.2	3.75	0.25	3.75
	Cobre	mg/L	2	3.75	0.25	3.75
	Ferro	mg/L	0.3	3.75	0.25	3.75
	Manganês	mg/L	0.1	3.75	0.25	3.75
	Zinco	mg/L	5	3.75	0.25	3.75
Outros parâmetros	PH (Potencial de Hidrogénio)	-	6-9	0.7	0.10	0.083
	Amónia (Livre)	mg/L	0.6	0.7	0.10	0.083
	Pesticidas (Total)	mg/L	<0.1	0.7	0.10	0.083
	SST (Sólidos Suspensos Totais)	mg/L	50	0.7	0.10	0.083
	Amónia Livre (NH4+)	mg/L	0.1	0.7	0.10	0.083
	Aumento de Temperatura	°C	±3	0.7	0.10	0.083
	Aréno	mg/L	0.1	0.7	0.10	0.083
	Fenol	mg/L	0.5	0.7	0.10	0.083
	DQO (Demanda Química de Oxigénio)	mg/L	150	0.7	0.10	0.083
Outros parâmetros	DBO5 (Demanda Biológica de Oxigénio)	mg/L	30	0.7	0.10	0.083
	Óleo e gorduras	mg/L	10	0.7	0.10	0.083
	Cloro	mg/L	20	0.7	0.10	0.083
	Azoto (NH4)	mg/L	10	0.7	0.10	0.083
	Benzeno	mg/L	0.05	0.7	0.10	0.083
	Fluor	mg/L	20	0.7	0.10	0.083
	Fósforo	mg/L	5	0.7	0.10	0.083
	Estanho	mg/L	2	0.7	0.10	0.083
	Hidocarbonatos	mg/L	0.5	0.7	0.10	0.083
	Tricloroetileno	mg/L	0.5	0.7	0.10	0.083
	Tetracloreto	mg/L	0.5	0.7	0.10	0.083
	Coliformes (móveis/100mL)		400	0.7	0.10	0.083
	Nitratos	mg/L	50	0.7	0.10	0.083
	Nitritos	mg/L	3	0.7	0.10	0.083
	Cloratos	mg/L	250	0.7	0.10	0.083
	Dureza Total	mg/L	500	0.7	0.10	0.083

Tabela C3- 5: Limites para Irrigação - Revisão das Autorizações Gerais (África do Sul, Aviso do Governo 665, 2013).

Page 7 of 42

- (i) irrigate up to 2000 cubic metres of domestic and biodegradable industrial waste water on any given day as set out in Table 1.1:

Table 1.1: Wastewater limit values applicable to the irrigation of any land or property

Variables	Limits
pH	not less than 5,5 or more than 9,5 pH units
Electrical Conductivity	does not exceed 70 milliSiemens above intake to a maximum of 150 milliSiemens per metre (mS/m)
Suspended Solids	does not exceed 25 mg/l
Chloride as Free Chlorine	does not exceed 0,25 mg/l
Fluoride	does not exceed 1 mg/l
Soap, Oil and Grease	does not exceed 2,5 mg/l
Chemical Oxygen Demand	does not exceed 75 mg/l
Faecal coliforms	do not exceed 1000 per 100 ml
Ammonia (ionised and un-ionised) as Nitrogen	does not exceed 3mg/l
Nitrate/Nitrite as Nitrogen	does not exceed 15 mg/l
Ortho-Phosphate as phosphorous	does not exceed 10 mg/l