



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

**AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE COLIFORMES E
RESISTÊNCIA A ANTIBIÓTICOS NA BACIA DO RIO INFULENE**

Autora:

Milene Ancha Charifo

Supervisora:

Prof^a. Doutora Maria Eduardo, Eng^a

Co-supervisor:

Lic. Michaque Dosse, Eng^o

Maputo, Agosto de 2025

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

RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE COLIFORMES E RESISTÊNCIA A ANTIBIÓTICOS NA BACIA DO RIO INFULENE

Trabalho de Licenciatura apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Faculdade de Engenharia na Universidade
Eduardo Mondlane, como requisito parcial
para obtenção do grau de Licenciatura
em Engenharia do Ambiente.

Autora:

Milene Ancha Charifo

Supervisora:

Prof^a. Doutora Maria Eduardo, Eng^a

Co-supervisor:

Lic. Michaque Dosse, Eng^o

Maputo, Agosto de 2025



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

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

Intitulado: **Avaliação Da Ocorrência De Coliformes E Resistência A Antibióticos Na
Bacia Do Rio Infulene**

Maputo, ____ de _____ de 20____

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Milene Ancha Charifo, declaro por minha honra que o presente trabalho constitui o resultado da minha investigação, sendo que toda fonte bibliográfica utilizada se encontra devidamente referenciada e os resultados apresentados correspondem àqueles obtidos em medições e análises. Acrescento, igualmente, que o mesmo nunca foi apresentado em fórum algum, tendo sido elaborado essencialmente para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia do Ambiente.

Maputo, ____ de _____ de 20____

(Milene Ancha Charifo)

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha mãe
por fazer de mim o seu maior investimento,
e espero com a conclusão desta etapa,
conseguir honrá-la e retribuir um pouco.*

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento vai à Deus, que me concedeu saúde e vida até aos dias de hoje, que me dotou e iluminou com as melhores habilidades, e igualmente, garantiu direcção e protecção em tudo o quanto eu fizesse.

À minha mãe Maria de Lurdes Munguambe, agradeço pelo seu amor incondicional, por todo esforço para que nada faltasse, desde que me trouxe ao mundo e pela dedicação para me tornar uma pessoa com princípios, valores e, acima de tudo, justa. Agradeço aos meus familiares, especialmente à minha tia Felismina Munguambe, por todo o apoio, carinho e vibrações positivas ao longo desta caminhada e à minha prima Melayd Sitói que me acalmou com o seu abraço ternurento e me encorajava sempre que precisasse.

Aos meus supervisores, Prof. Doutora Maria Eduardo, Eng^a e Lic. Michaque Dosse, Eng^o, agradeço pela oportunidade de realizar esta pesquisa, por toda orientação e ensinamentos transmitidos, e principalmente, pela paciência e consideração para comigo durante todas as etapas da realização deste trabalho.

Agradeço especialmente ao professor Lic. Dominic Joaquim, Eng^o e ao colega Chris Mongo, pela imensa ponderação, incentivo e disponibilidade, para tornar possível a realização dos trabalhos de campo. O meu muito obrigada vai à Eng^a Virgínia Gongole e Dona Maria das Dores Tavares, pelo acolhimento e assistência durante a execução da parte experimental e é extensivo às colegas Agar Matsinhe, Dulce Salomão e Eugénia Zacarias por não medir esforços em ajudar, desde o início do dia até ao fim do horário pós-laboral e ter partilhado conhecimentos valiosos sobre técnicas laboratoriais.

Às minhas pessoas Jemima Guambe e Neidy Mucaúque, que são o sentido literal de “estou aqui para ti”, agradeço por partilhar esta caminhada comigo e sempre ser o suporte emocional durante à formação e não só. Quero usar este meio para endereçar um pedido de desculpas à Joyce Camilo que sempre pediu que este trabalho fosse entregue à tempo e também agradecer por todo o apoio e confiança depositadas em mim, mesmo com todos os meus defeitos e tropeços.

Outro agradecimento especial vai à Faculdade de Engenharia e à empresa MOZAL, S.A., pela bolsa de estudos e muita gratidão à pessoa do Sr. Dias Bande por todo suporte e motivação ao longo destes anos que através do seu projecto pôde alavancar mais raparigas, assim como eu, no ramo das CTEM.

Aos estimados colegas de curso que formam a La Família Real: André, Cláudia, Dânio, Da Silva, Dinho, Eive, Irakiza, Isabel, Jemima, Macuácuá, Magulanhane, Neidy, Nicole, Nhuana, Osvaldo e Zubaida, agradeço pela troca de conhecimentos, rede de apoio, risadas, lições, e principalmente, pelas melhores memórias que guardo comigo.

Aos docentes, investigadores e funcionários do departamento de Engenharia Química, sem excluir aos demais colegas e pessoas da universidade que cruzaram o meu caminho, muito obrigada por “apetrechar” a minha vida académica, e, directa ou indirectamente, contribuírem para que eu chegasse até aqui.

Aos que usam da ciência para solucionar os problemas da humanidade e promovem o desenvolvimento a vários níveis agradeço por toda a inspiração.

Por fim, agradeço a mim mesma por fazer-me presente, independentemente das circunstâncias, ter me desafiado a concluir o curso e, durante o processo, ter me nutrido de coragem, resiliência e perseverança diante das adversidades – princípios que pretendo sempre agregar em todos os meus próximos passos.

“Aqueles que semeiam com lágrimas, com cantos de alegria colherão.”

- Salmos 126:5

RESUMO

A bacia hidrográfica do Rio Infulene, que se localiza em áreas urbanas entre os municípios de Maputo e Matola, recebe ao longo do seu curso, descargas de efluentes sobretudo oriundos das indústrias, estação de tratamento de águas residuais e actividade agrícola que influenciam directamente na qualidade da sua água. O problema da poluição pode aumentar a resistência antimicrobiana que é, desde a última década, uma emergência de saúde global visto que os microorganismos tendem a persistir cada vez mais no ambiente aquático, dificultando assim, o tratamento das infecções que afectam à população que utiliza a água do rio nas suas actividades. O presente trabalho avaliou a ocorrência de coliformes e resistência antimicrobiana na bacia do Rio Infulene. A metodologia consistiu na análise espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em catorze pontos, durante três campanhas realizadas em Julho, Agosto e Outubro de 2023, tanto no campo como no laboratório. Os parâmetros avaliados foram temperatura, pH, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxigénio, coliformes totais, *Escherichia coli* (*E. coli*) e *E. coli* produtora da enzima β -lactamase de espectro estendido (ESBL *E. coli*). Os resultados obtidos evidenciaram a existência de pontos com concentrações acima dos valores estabelecidos pela legislação vigente no país (Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho e Decreto nº 52/2023 de 30 de Agosto). Em praticamente todos os pontos foi detectada a presença de coliformes, tanto totais quanto *E. coli*, cujos valores variaram entre 3.4×10^3 - 9.4×10^7 NMP/100 mL e 100 - 9.6×10^6 NMP/100 mL, respectivamente, e, a contagem de ESBL *E. coli* teve o máximo de 5.9×10^5 UFC/100 mL, o que configura que o rio se encontra sob contaminação fecal e presença de resistência antimicrobiana. Através destes resultados, o estudo aponta para a necessidade de intervenção com vista a melhorar a qualidade de água e saneamento básico, podendo assim, contribuir para o controlo de propagação dos microorganismos causadores de doenças.

Palavras-chave: Rio Infulene, Coliformes totais, *E. coli*, Resistência a antibióticos, Qualidade de água.

ABSTRACT

The Infulene River basin, located in urban areas between the municipalities of Maputo and Matola, receives along its course effluent discharges mainly from industries, the wastewater treatment plant, and agricultural activities, which directly affect water quality. Pollution poses an additional risk as it may promote antimicrobial resistance, which over the past decade has become a global public health emergency, since resistant microorganisms tend to persist in aquatic environments, making the treatment of infections more difficult for populations using the river water in their daily activities. This study assessed the occurrence of coliforms and antimicrobial resistance in the Infulene River basin. The methodology included spatio-temporal analysis of physicochemical and microbiological parameters at fourteen sampling points during three campaigns conducted in July, August, and October 2023, both in the field and in the laboratory. The parameters analyzed were: temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, nitrates, phosphates, biochemical oxygen demand, total coliforms, *Escherichia coli* (*E. coli*), and extended-spectrum β -lactamase producing *E. coli* (ESBL *E. coli*). The results revealed concentrations above the limits established by national legislation (Decree No. 18/2004 of June 2 and Decree No. 52/2023 of August 30). Total coliforms and *E. coli* were detected in almost all sampling points, ranging from 3.4×10^3 – 9.4×10^7 MPN/100 mL and 100 – 9.6×10^6 MPN/100 mL, respectively. ESBL *E. coli* counts reached a maximum of 5.9×10^5 CFU/100 mL, confirming fecal contamination and the presence of antimicrobial resistance.

These findings highlight the urgent need for intervention measures to improve water quality and basic sanitation, thus contributing to controlling the spread of pathogenic and antibiotic-resistant microorganisms.

Keywords: Infulene River, Total coliforms, *E. coli*, Antimicrobial resistance, Water quality.

ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Objectivos.....	2
1.2.1. Objectivo geral	2
1.2.2. Objectivos específicos.....	2
1.3. Metodologia.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Poluição da água.....	5
2.2. Ocorrência de microorganismos em ambientes aquáticos	7
2.2.1. Ocorrência de coliformes nos rios	8
2.3. Resistência antimicrobiana.....	9
2.4. Parâmetros de qualidade de água	11
2.4.1. Temperatura.....	11
2.4.2. Oxigénio dissolvido	12
2.4.3. Conductividade eléctrica	12
2.4.4. pH.....	13
2.4.5. Nitratos.....	13
2.4.6. Fosfatos	13
2.4.7. Demanda bioquímica de oxigénio	14
2.4.8. Coliformes	14
2.5. Monitoria de qualidade de água	15

3. ÁREA DE ESTUDO	19
3.1. Localização da área de estudo.....	19
3.2. Clima	20
4. PARTE EXPERIMENTAL	21
4.1. Amostragem	21
4.2. Trabalho de Campo.....	23
4.3. Análise laboratorial	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1. Parâmetros físico-químicos	24
5.1.1. Temperatura.....	24
5.1.2. Oxigénio dissolvido	25
5.1.3. Conductividade eléctrica	26
5.1.4. pH.....	27
5.1.5. Nitratos	29
5.1.6. Fosfatos	30
5.1.7. Demanda bioquímica de oxigénio	31
5.2. Parâmetros microbiológicos	33
5.2.1. Coliformes totais e <i>E. coli</i>	33
5.2.2. ESBL <i>E. coli</i>	34
5.3. Análise espaço-temporal dos parâmetros microbiológicos.....	35
5.3.1. Análise espaço-temporal de coliformes totais	35
5.3.2. Análise espaço-temporal da <i>E. coli</i>	36
5.4. Considerações sobre a ocorrência de coliformes e resistência a antibióticos na bacia do Rio Infulene	37
6. CONCLUSÕES	41
6.1. Recomendações	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXOS.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$\mu\text{S/cm}$ – Microsiemens por centímetros

CE – Condutividade eléctrica

Cl – Cloro

CT – Coliformes totais

DBO – Demanda bioquímica de oxigénio

E. coli – *Escherichia coli*

ESBL – *Extended-Spectrum Beta-Lactamase* (β -lactamase de espectro estendido)

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

GIS – *Geographic Information System* (Sistema de Informação Geográfica)

L - Litros

mg/L – Miligramas por litro

mL – Mililitros

NMP – Número mais provável

NO_3^- - Ião nitrato

$^{\circ}\text{C}$ – Graus Celsius

OD – Oxigénio dissolvido

OMS – Organização Mundial da Saúde

pH – Potencial de Hidrogénio

PO_4^{3-} - Ião fosfato

SST – Sólidos suspensos totais

UFC – Unidade formadora de colónias

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização e delimitação da área de estudo.....	19
Figura 2 - Identificação dos pontos de amostragem na bacia do Rio Infulene.....	21
Figura 3 – Variação da Temperatura	25
Figura 4 – Variação da concentração de Oxigénio dissolvido	26
Figura 5 - Variação da Conductividade eléctrica	27
Figura 6 - Variação de pH.....	28
Figura 7 - Variação da concentração de Nitratos.....	29
Figura 8 - Variação da concentração de Fosfatos	31
Figura 9 - Variação da concentração de Demanda bioquímica de oxigénio	32
Figura 10 - Variação microbiológica na bacia do Rio Infulene	33
Figura 11 - Variação de ESBL <i>E. coli</i> na bacia do Rio Infulene	34
Figura 12 - Variação espaço-temporal de coliformes totais	35
Figura 13 - Variação espaço-temporal de <i>E. coli</i>	36
Figura 14 - Distribuição da ESBL <i>E. coli</i> ao longo da bacia do Rio Infulene.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potenciais fontes de poluição identificadas na bacia hidrográfica do Rio Infulene.....	7
Tabela 2 - Mecanismos de Resistência antimicrobiana	9
Tabela 3 - Exemplos de fármacos identificados em diversas matrizes ambientais	11
Tabela 4 - Padrões de emissão de efluentes líquidos domésticos.....	16
Tabela 5 - Padrões de emissão de efluentes líquidos pela indústria cervejeira	17
Tabela 6 - Padrões de qualidade da água para rega	17
Tabela 7 - Limites dos padrões de qualidade da água bruta.....	18
Tabela 8 - Descrição dos pontos de amostragem	22
Tabela 9 - Métodos de análise das amostras em laboratório	23

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A água é usada para diversos fins associados à actividade humana (Pfafflin e Ziegler, 2006). É fundamental para a existência e a manutenção da vida e, para isso, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade apropriadas (Braga e Hespanhol, 2005).

Desde as antigas civilizações, o ser humano tende a fixar-se próximo a cursos de água uma vez que esses recursos são fundamentais para diversas actividades. Contudo, ao longo do tempo, assiste-se a uma pressão sobre os rios resultante do aumento populacional e da urbanização sem ordenamento territorial adequado, o que torna difícil o equilíbrio entre a disponibilidade de água para o consumo humano, uso na agricultura e indústrias e preservação da vida aquática presente. No contexto de Moçambique, o cenário não é muito diferente, pois os rios ressentem-se das consequências destas actividades recebendo ao longo do seu curso lançamentos que originam a poluição.

A monitoria da qualidade de água é uma relevante ferramenta de salvaguarda e gestão da sociedade, pois conhecendo todas as características da água pode-se prever os problemas que esta pode originar, bem como tomar decisões para evitar ou atenuar os impactos.

Os factores acima abordados apontam para a necessidade de avaliação de qualidade de águas, em bacias como a do Rio Infulene como forma de conter a contaminação que possa comprometer a utilização das suas águas.

Na bacia do Rio Infulene já se desenvolveram pesquisas relevantes de qualidade de água. Segundo Rapulua (2022), a água do Rio Infulene é classificada como moderada e drasticamente poluída, excepto em alguns pontos da nascente em que tem-se a água classificada como não poluída, chegando esta a ter padrões de qualidade para o consumo humano. Um outro estudo, desenvolvido por Nhantumbo (2022) indicou que a água proveniente do sistema de drenagem na região compromete a qualidade da água do meio receptor e por conseguinte coloca em risco a população. Rodrigues (2023), concluiu que a má qualidade da água do Rio Infulene é explicada pela presença de fontes de poluição difusas e pontuais que incluem descargas de águas residuais domésticas da

ETAR de Zimpeto, águas residuais industriais da fábrica de cerveja, descargas de água do sistema de drenagem de Maputo e escoamento de áreas agrícolas urbanas na zona do rio contaminadas por fertilizantes.

A ocorrência e persistência de doenças de origem hídrica na bacia do Rio Infulene cresce pelo facto da mesma ser utilizada para diversos fins, podendo colocar em causa a saúde pública e qualidade de água. Deste modo, o estudo avalia, em diferentes pontos a ocorrência de coliformes e de espécies resistentes visando compreender a situação da bacia hidrográfica do Rio Infulene, podendo ser útil em pesquisas futuras e na mitigação dos problemas que acometem as suas águas.

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo geral

O presente trabalho tem como objectivo avaliar a ocorrência de coliformes e de resistência antimicrobiana na bacia do Rio Infulene.

1.2.2. Objectivos específicos

- Determinar os parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido, nitratos, fosfatos e demanda bioquímica de oxigénio) e microbiológicos (coliformes totais, *E. coli* e ESBL *E. coli*) na água da bacia do Rio Infulene;
- Avaliar o cenário de qualidade da água do Rio Infulene através de análise espaço-temporal;
- Propor medidas de controlo da resistência antimicrobiana, com o foco na bacia do Rio Infulene.

1.3. Metodologia

A metodologia utilizada para o presente trabalho consistiu nos seguintes passos:

❖ Revisão da Literatura

Consistiu na consulta de informações relacionadas ao tema (qualidade de água de rios), feita em livros, artigos científicos, publicações na *Internet* (Google Académico, Refseek e Oasisbr), resumos e relatórios de investigações, de forma a criar a base teórica que serviu no momento da execução da pesquisa e na análise e discussão dos resultados do presente estudo.

❖ Trabalho de campo

O estudo foi realizado na bacia do Rio Infulene, onde em catorze pontos fez-se a determinação de parâmetros de campo e recolha de amostras para análises laboratoriais no tempos seco e chuvoso (Julho a Outubro de 2023). Os parâmetros medidos no campo foram pH, temperatura, oxigénio dissolvido e condutividade eléctrica com recurso ao equipamento multiparamétrico cujas medições foram processadas a posterior.

❖ Ensaios laboratoriais

Foram feitas análises de amostras de água, provenientes do trabalho de campo feito ao longo do Rio Infulene, nas instalações da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, concretamente no Laboratório de Águas, do departamento de Engenharia Química e Laboratório de Hidráulica Sanitária, pertencente ao departamento de Engenharia Civil. Foram determinados os seguintes parâmetros: nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxigénio, coliformes totais, *E. coli* e ESBL *E. coli*.

❖ Análise espaço-temporal

Foram apresentados os resultados por meio de gráficos, demonstrando a variabilidade dos parâmetros e distribuição dos mesmos na bacia do Rio Infulene, no espaço e no tempo. Foram incluídos os dados do estudo de Rapulua (2022), na mesma área de estudo, com vista a complementar a escala temporal.

❖ Tratamento de dados

Os resultados passaram por tratamento estatístico de dados que se baseia na comparação das médias de três repetições de cada medição (de parâmetro) durante as três campanhas, e, de seguida, foram organizados em gráficos feitos no Microsoft Excel e SciDAVis 2.7 .

❖ Compilação do relatório

Os dados foram previamente processados por meio de computador, com recursos às ferramentas do Microsoft Office e Quantum GIS 3.24.1-Tisler, cujas análises foram apresentados por meio de gráficos, mapas e tabelas, que serviram para a interpretação e discussão de resultados e elaboração de conclusões. De seguida, fez-se a redacção do relatório final, obedecendo às normas para apresentação do relatório na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

❖ Limitações

Durante a determinação de parâmetros microbiológicos (coliformes totais e *E. coli*) da primeira campanha (Julho de 2023), não se obteve valores satisfatórios por conta do factor de diluição utilizado durante os ensaios laboratoriais e não foi possível repetir o ensaio devido a insuficiência das amostras. Em relação à resistência antimicrobiana, não se fez análises laboratoriais em todos os pontos da área de estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Poluição da água

A água é absolutamente essencial para a sobrevivência. Todos os seres vivos precisam de água para o seu metabolismo (Okafor, 2011). É utilizada principalmente para o consumo doméstico, irrigação agrícola, pesca, actividades industriais e transporte.

A demanda por água torna-se cada vez maior, sob o impacto do crescimento da população e do maior consumo imposto pelos padrões da vida moderna. Com isso, a qualidade das águas vem sendo degradada de maneira alarmante, podendo logo ser irreversível, sobretudo nas áreas mais urbanizadas (De Oliveira e Da Silva, 2014).

A poluição de águas nos rios pode ser proveniente de actividades domésticas, agrícolas e industriais que se desenvolvem nas proximidades ou fazem descarga directa no seu curso de resíduos com cargas orgânicas ou produtos químicos nocivos em quantidades elevadas.

Na maioria dos países em desenvolvimento, a poluição de cursos de água por descargas de esgoto não tratado é um problema grave e crescente. Grande parte destes países não tem condições para providenciar condições básicas de saneamento e instalar sistemas de tratamento de água eficientes e não possuem (ou não fiscaliza) leis para controlar a poluição da água (Miller Jr., 2012).

A contaminação fecal é um problema mundial, uma vez que as fezes humanas e animais podem conter agentes causadores de doenças transmitidas pela água, além de disseminar a resistência antimicrobiana (Örn et al., 2019). A resistência antimicrobiana ocorre quando bactérias, vírus, fungos e parasitas não respondem aos medicamentos do grupo dos antibióticos, tornando-os inefectivos e, conseqüentemente, dificultam o processo de tratamento e cura de doenças, aumentando o risco de disseminação, sintomas agudos, ou mesmo a morte. Actualmente, é uma emergência de saúde pública global incrementada pela actividade humana, através do uso incorrecto e exagerado de antibióticos para o tratamento, prevenção ou controlo de infecções em humanos, animais e plantas (Murray et al., 2022).

Os antibióticos estão presentes nos rios, pois a resistência antimicrobiana é confirmada em análises de amostras provenientes de zonas urbanas, onde se avalia a capacidade do microorganismo de crescer na presença de um antimicrobiano. Se o organismo

consegue crescer apesar da presença de uma dose do medicamento que normalmente o mataria ou inibiria, ele é considerado resistente a esse antimicrobiano e conclui-se que as bactérias presentes nas águas dos rios apresentam o risco de propagação de doenças. Uma pesquisa realizada por Murray et al. (2022) estimou que em 2019, a resistência antimicrobiana causou aproximadamente 1.27 milhões de mortes no mundo directamente atribuídas ao uso medicamentos.

O estudo feito por Berthe et al. (2013) concluiu que a *E. coli* apresenta grande diversidade genética o que explica a capacidade de sobrevivência em diversos ambientes aquáticos, com destaque para água doce de locais de clima temperado e tropical. Os resultados foram importantes para fornecer o panorama da persistência de coliformes resistentes e a necessidade de monitoria da resistência aos antibióticos para controlar a disseminação por meio da água.

Os esgotos domésticos representam a principal fonte de microorganismos, pois quando não são adequadamente colectados e tratados, os poluentes permanecem na água, podendo ser reutilizados pelos seres humanos, o que pode aumentar o risco de contaminação.

A poluição em Moçambique é um problema que resulta principalmente das actividades associadas à agricultura, causadas por sedimentação, escoamento de pesticidas e fertilizantes; actividades industriais, como as descargas de efluentes não tratados (metais pesados, hidrocarbonetos, etc.) e esgotos; resíduos domésticos, a maioria dos quais lançados directamente nos rios ou no mar sem qualquer tratamento; a extracção mineira, que provoca erosão e assoreamento; e as operações comerciais nos portos (ASCLME, 2012; Wingqvist, 2011; como citado em Mutatisse et al., 2022).

A bacia hidrográfica do Rio Infulene está situada em uma região de grande importância social, económica e ambiental, por isso a água está sujeita à degradação da sua qualidade à semelhança dos outros rios do país. Ao longo do seu curso, recebe efluentes provenientes de actividades agrícolas, domésticas e industriais que constituem as principais fontes de poluição da água, o que contribui para o crescente problema de escassez de água potável no mundo, além das questões de saúde pública associadas.

No estudo realizado por Rodrigues (2023), foi efectuada uma visita ao longo do rio com a finalidade de identificar as potenciais fontes de poluição do rio que se encontram

descritas na tabela a seguir, que evidenciou a susceptibilidade à contaminação microbiológica associada a essas fontes.

Tabela 1 - Potenciais fontes de poluição identificadas na bacia hidrográfica do Rio Infulene

Potencial fonte de poluição	Tipo de poluente principal
ETAR do Zimpeto	Matéria orgânica, fósforo e nitrogénio
Esgoto doméstico	Matéria orgânica, microorganismos, nitrogénio e fósforo
Indústria cervejeira	Matéria orgânica e sólidos suspensos
ETAR do Infulene	Matéria orgânica, fósforo e nitrogénio
Indústria de cartão e papel	Matéria orgânica, sólidos suspensos e químicos com cloro
Sistema de drenagem	Matéria orgânica, fósforo e nitrogénio
Actividade agrícola	Matéria orgânica, fósforo e nitrogénio

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2023).

2.2. Ocorrência de microorganismos em ambientes aquáticos

Na avaliação da qualidade de água, os microorganismos assumem um papel de maior importância dentre os seres vivos, devido à sua grande predominância em determinados ambientes, à sua actuação nos processos de depuração dos despejos ou à sua associação com as doenças ligadas à água (Von Sperling, 1996). Os principais microorganismos que habitualmente são encontrados no rio são: bactérias, fungos, algas, protozoários e vírus.

Muitos dos microorganismos em águas brutas estão presentes como resultado de contaminação por fezes humanas e de animais (Baird e Cann, 2011). Dentre eles, se encontram bactérias, vírus e protozoários, que quando patogénicos causam desde leves infecções à doenças fatais.

Quando excrementos humanos não tratados são descarregados em rios, estuários, ou águas costeiras, o enriquecimento com compostos orgânicos leva a um crescimento explosivo tanto da comunidade bacteriana nativa como de alguns dos microorganismos presentes nas águas residuais. Os excrementos são também a fonte de múltiplos agentes patogénicos humanos que causam doenças comuns transmitidas pela água (Glazer e Nikaido, 2007).

A avaliação microbiológica da água é realizada por meio de indicadores da presença de material fecal no meio. Os coliformes que são um grupo de bactérias encontradas em grande quantidade nas fezes, tanto de origem humana quanto animal, são os mais utilizados para esse fim.

Água é adequada somente quando coliformes totais, termotolerantes incluindo *E. coli*, estão ausentes, pois a presença destas bactérias na água indica, de forma indirecta, a possível presença de diversos outros agentes patogénicos causadores das doenças debilitantes mais comuns que afligem a população (de Siqueira et al., 2022).

2.2.1. Ocorrência de coliformes nos rios

No contexto de avaliação de qualidade de água, a distribuição dos coliformes envolve fundamentalmente os seguintes aspectos (Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006; Environmental Protection Agency, 2006):

❖ Fonte de poluição

Os coliformes são introduzidos na água predominantemente por meio de descargas de efluentes inadequadamente tratados, que constituem as fontes de poluição. A concentração desses microorganismos especialmente em áreas próximas às fontes, são um importante indicador da presença e intensidade de contaminação.

❖ Crescimento e Propagação

Uma vez presentes na água, os coliformes encontram condições favoráveis e agentes que promovem o seu desenvolvimento e multiplicação. A sua propagação está associada ao movimento da água que ocorre no rio juntamente com a contribuição do sistema de drenagem.

❖ Variação espaço-temporal

A concentração de coliformes pode variar ao longo do tempo e espaço, devido a vários factores. Pode-se destacar dois: a estação do ano, tendo como exemplo o período chuvoso em que o escoamento ao longo do rio intensifica e as actividades humanas, assim como a agricultura que por conta do uso de pesticidas e fertilizantes, aumenta os nutrientes essenciais para a proliferação dessas bactérias.

2.3. Resistência antimicrobiana

Os antibióticos são compostos químicos originados por microrganismos ou análogos sintéticos deles, e possuem capacidade de reduzir ou até mesmo impedir o crescimento microbiano, sendo amplamente utilizados no tratamento de doenças bacterianas (Spinosa et al., 2017). A resistência antimicrobiana ocorre quando um microorganismo adquire a capacidade de suportar os efeitos de medicamentos antimicrobianos aos quais anteriormente era eficaz contra ele (Tortora et al., 2012).

Os microrganismos asseguram a sobrevivência através da multiplicação porque desenvolvem mecanismos de defesa contra a acção dos antibióticos e transferência genética, o que favorece a disseminação dos genes de resistência entre os microrganismos. A tabela abaixo apresenta os principais mecanismos associados à resistência antimicrobiana (Tortora et al., 2012):

Tabela 2 - Mecanismos de Resistência antimicrobiana

Defesa à acção	Transferência genética
Inactivação enzimática: o microorganismo inactiva o antibiótico degradando-o por transferência de grupos químicos por ele produzido.	Vertical: o microorganismo que possui o DNA com gene de resistência, replica-se e os microrganismos da geração seguinte herdam o gene de resistência.
Alteração do local de acção: o microorganismo altera o local onde o antibiótico exerce o seu mecanismo de acção, fazendo com que o antibiótico não altere as funções celulares dele.	Horizontal: o microorganismo partilha material genético trocando genes de resistência com outros microrganismos da mesma geração. Existem três mecanismos principais:
Limitação de permeabilidade: o microorganismo forma uma camada protectora na parede celular que actua como barreira e impede a entrada do antibiótico.	• Transdução: um bacteriófago (vírus) transporta DNA com genes de resistência de um microorganismo e infecta outro. • Conjugação: dois microrganismos unem-se através de uma estrutura temporária, o pili sexual. O microorganismo resistente transfere o
Bomba de efluxo: o microorganismo apresenta proteínas que agem como bombas que percebem a presença do antibiótico como substância tóxica e	

Defesa à acção	Transferência genética
expelem-no antes de fazer efeito sobre si.	DNA com genes de resistência para o outro microorganismo. • Transformação: o microorganismo capaz encontra o DNA com gene de resistência solto proveniente de um microorganismo morto, capta e incorpora no seu DNA.

Actualmente, a resistência antimicrobiana é considerada um problema, que vai além do tratamento de infecções em humanos, isto é, se constitui um problema com maior complexidade, pois abrange diferentes organismos que interagem no ambiente. Muitos dos milhares de medicamentos utilizados durante procedimentos terapêuticos, ou preventivos, na medicina e na medicina veterinária acabam por alcançar os recursos hídricos (Neves e Castro, 2018).

Estudos têm evidenciado que o ambiente actua como um reservatório de bactérias resistentes a antibióticos, especialmente em recursos naturais como a água e o solo, e esta é uma preocupação cada vez mais enfatizada pela Organização Mundial da Saúde, através do conceito *One Health* (saúde única). A saúde única interliga a saúde humana, animal e meio ambiente, reconhecendo a importância de haver esforços colaborativos e integrados para preservar a saúde de todo o ser vivo do planeta (Organização Mundial da Saúde, 2017b).

Há vários anos, que grandes quantidades de antibióticos são lançados ao ambiente sem a devida atenção à existência de substâncias que se tornam persistentes, pois se acumulam e dispersam pela água (Nascimento, 2016). No entanto, foi somente após a publicação de um trabalho mostrando a presença de fármacos em amostras de esgoto e de águas superficiais na Alemanha que a comunidade científica se mostrou preocupada com os potenciais efeitos dos compostos em água, animais e seres humanos (Locatelli, 2011). A tabela a seguir mostra alguns compostos já identificados em diferentes matrizes ambientais de estudos efectuados por outros pesquisadores.

Tabela 3 - Exemplos de fármacos identificados em diversas matrizes ambientais

Classe	Fármaco	Matriz
Analgésico	Codeína	Esgoto hospitalar
Antibióticos	Sulfametazina	Solo
	Norfloxacino	Água de mar
Citostáticos	Ciclofosfamida	Água de rio
Antiepiléptico	Carbamazepina	Água subterrânea
Anti-inflamatório	Diclofenac	Efluente de ETAR
Antilipémico	Atorvastatin	Esgoto bruto
Anti-histamínico	Acrivastina	Efluente de ETAR
Hormona	17-etinilestradiol	Água potável

Fonte: Adaptado de Locatelli (2011).

2.4. Parâmetros de qualidade de água

O termo qualidade de água não se restringe à determinação de certo grau de pureza da água, mas de suas características desejáveis para os diferentes usos. Essas características físicas, químicas e biológicas podem ser alteradas por poluentes de diversas origens sendo que a sobrecarga pode comprometer a disponibilidade e a qualidade da água (Silva, 2015; Oliveira 2016; como citado em Ramos et al., 2019).

Os parâmetros permitem determinar o impacto da poluição e com a monitoria gera-se informações importantes sobre o estado da água que deverão nortear as decisões dos responsáveis pela gestão da mesma. Igualmente, pode servir para indicar a tendência de qualidade de água, cujas informações podem ser transmitidas a grupos interessados (Andrietti et al., 2016).

2.4.1. Temperatura

O parâmetro temperatura é a medida da intensidade de calor e sua alteração se dá por origens naturais, relacionada à transferência de calor por radiação, condução e convecção entre a atmosfera e o solo e, por origens antropogénicas, por efluentes, por águas de torres de arrefecimento industriais, usinas termoelectricas entre outros (Bonifácio e De Nóbrega, 2021). O aumento da temperatura da água eleva a velocidade das reacções químicas e o crescimento de determinadas comunidades aquáticas,

ocasionando um acréscimo no consumo de oxigénio dissolvido, estimula a perda de gases, produzindo odores e desequilíbrio ecológico (Von Sperling, 1996). Para a maioria dos rios, a temperatura da água deve estar no intervalo de 25 a 30 °C, pois temperaturas mais altas podem diminuir o oxigénio dissolvido e afectar o ecossistema aquático (Organização Mundial da Saúde, 2017a).

2.4.2. Oxigénio dissolvido

É um dos parâmetros mais significativos para expressar a qualidade de um ambiente aquático e serve para determinar o impacto dos poluentes sobre os corpos hídricos. As variações nos teores de oxigénio dissolvido estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água (Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006). O consumo de oxigénio dissolvido é dado pela oxidação da matéria orgânica e respiração dos organismos aquáticos. Esse oxigénio é produzido pela reacção da atmosfera (difusão), na fotossíntese e pela entrada no mesmo em tributários e efluentes (Pinto et al., 2010). Portanto, concentrações acima de 10 a 12 mg/L são um indicador de poluição por introdução de matéria orgânica. Outrossim, valores abaixo de 5 mg/L representam perigo para os organismos aquáticos, pois afectam a respiração e outras actividades metabólicas (U.S. Environmental Protection Agency, 2017). Os valores de oxigénio dissolvido abaixo de 1 mg/L não suportam vida aquática, de 1 a 4 mg/L a respiração dos organismos presentes é limitada, os valores de 5 a 7 mg/L são aceitáveis para a manutenção da vida aquática (Uddin et al., 2014).

2.4.3. Conductividade eléctrica

A conductividade eléctrica é um parâmetro que indica a capacidade que a água possui em conduzir corrente eléctrica, indica a quantidade de sais existentes na água e de forma indirecta, determina a concentração de poluentes (Dos Santos, 2022). De outra parte, a conductividade eléctrica é um parâmetro de qualidade importante para fins de irrigação e avaliação indirecta da salinidade (Lucas et al., 2010). Quanto maior for a conductividade eléctrica, maior é quantidade de sólidos dissolvidos na água. As águas naturais apresentam teores de conductividade na faixa de 10 a 100 µS/cm, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1000 µS/cm (Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006). Os valores podem ser influenciados pelo tipo de ecossistema local, mas de forma geral a água do rio considerada não poluída tem um intervalo de 150 a 500 µS/cm sendo que os valores

acima são característicos de água com salinidade (U.S. Environmental Protection Agency, 2017).

2.4.4. pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é a medida da concentração dos íons hidrogênio H^+ , que dá uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, cuja escala varia de 0 a 14. O pH é um dos parâmetros mais difíceis de interpretar, uma vez que existe um grande número de factores que podem causar influência em suas concentrações, como os sólidos dissolvidos, temperatura da água, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese, e também efluentes domésticos e industriais (Bonifácio & De Nóbrega, 2021). Os cursos de água superficiais apresentam um pH entre 6 e 9 (adequada à manutenção da vida aquática), mas podem ser ligeiramente ácidas ou alcalinas, ou seja o pH pode reflectir o tipo de solo que a água percorre. Todavia, quando este parâmetro apresenta valores extremos pode-se associar à presença de despejos de efluentes. A medição do pH é pertinente como parâmetro de qualidade de água por conta da sensibilidade dos organismos presentes no ambiente aquático; pequena variação no pH pode comprometer a sobrevivência e reprodução deles. Por isso, o intervalo de 6.5 a 8.5 é considerado óptimo para a maioria de plantas e animais (Water Research Center, 2020).

2.4.5. Nitratos

Outro composto cada vez mais encontrado em água são os nitratos. Segundo Stradioto et al. (2019), a principal fonte de contaminação por nitrato é o esgoto doméstico, particularmente onde o saneamento básico é incipiente ou a manutenção da rede de esgoto é insuficiente. São também nutrientes fundamentais para o desenvolvimento de algas e plantas aquáticas e o seu consumo deve ser controlado pois está associado a dois efeitos adversos à saúde: a indução à meta-hemoglobinemia, especialmente em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogénicas (de Freitas et al., 2001). Recomenda-se que a concentração de nitratos seja inferior a 10 mg/L, pois valores mais altos podem contribuir para a eutrofização (U.S. Environmental Protection Agency, 2017).

2.4.6. Fosfatos

Embora umas das fontes do fosfato seja sua aplicação na agricultura, sua maior proveniência são os esgotos, principalmente por causa dos detergentes e sabões.

Ademais, surgem igualmente de efluentes industriais dos ramos de fertilizantes, pesticidas e outros químicos. Assim como os nitratos, promovem o desenvolvimento de algas e quando há muita disponibilidade de nutrientes, as plantas se multiplicam rapidamente, consumindo todo o oxigénio existente na água, e quando estas morrem, bactérias começam o processo de decomposição, também consumindo oxigénio (Fernando BS, 2019), podendo ocasionar a eutrofização do ambiente aquático. Na literatura, o limite aceitável para a concentração de fosfatos é de 0.1 mg/L e serve para a monitoria de qualidade, pois valores acima provocam a poluição por nutrientes e crescimento de algas, não representando necessariamente o risco directo à saúde humana (Water Research Center, 2020).

2.4.7. Demanda bioquímica de oxigénio

A matéria orgânica quando presente nos cursos de água propicia a actividade respiratória das bactérias para a sua estabilização e, portanto, provoca a redução da concentração de oxigénio dissolvido. A demanda bioquímica de oxigénio (DBO) é a relação da quantidade de oxigénio disponível na água que seria necessária para oxidar a matéria orgânica, para uma forma inorgânica estável. A análise de DBO é convencionalmente determinada pela quantidade de OD consumida durante o período de tempo de 5 dias e a uma temperatura de incubação de 20°C, já que a estabilização completa da matéria orgânica exige um tempo maior (Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006). A DBO expressa de forma indirecta o teor de matéria orgânica no corpo hídrico, sendo um parâmetro relevante na caracterização da poluição da água (Von Sperling, 1996). Os efluentes de indústrias que utilizam a biotecnologia nos seus processos apresentam valores de DBO mais elevados, e quando medidos no rio podem atingir valores na ordem de dezenas ou centenas (Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006). Em condições favoráveis, a água do rio deve apresentar o valor de DBO de até 5 mg/L, visto que os valores acima indicam a presença de poluição por matéria orgânica (U.S. Environmental Protection Agency, 2017).

2.4.8. Coliformes

São indicadores de presença de microorganismos patogénicos na água, apesar de nem todos os coliformes serem necessariamente de origem fecal, pois não são nativos em águas naturais (Okafor, 2011). A classificação de coliformes é feita com base na identificação de diferentes espécies de bactérias consideradas indicadoras, contudo a

principal classificação agrupa em coliformes totais e coliformes termotolerantes ou fecais. Os coliformes totais constituem o grupo de bactérias que podem ser encontrados nos intestinos dos humanos e animais de sangue quente, e também estão presentes na água, no solo e alimentos, indicando assim, provável contaminação e não necessariamente o patógeno causador de doenças. A maioria das bactérias do grupo pertence aos géneros *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* e *Klebsiella* (Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006). Os coliformes fecais são um grupo de bactérias geralmente encontrado nas fezes humanas e mais resistentes ao calor, que aumentam o risco de presença de patógenos. A *Escherichia coli* é uma bactéria do subgrupo de coliformes termotolerantes, de origem exclusivamente fecal e raramente é encontrada em ambientes que não sofreram contaminação fecal e, portanto, é considerada como indicador deste parâmetro em corpos hídricos (CETESB, 2020; como citado em Dos Santos, 2022). A resistência a antibióticos é geralmente medida pela detecção de bactérias *E. coli* produtora da enzima β -lactamase de espectro estendido (ESBL *E.coli*) presente em amostras. A ESBL *E.coli* é principalmente encontrada nos hospitais, intestinos dos animais e alimentos contaminados, porém sobrevivem em água e solos, igualmente contaminados por isso atingem esgotos, rio e até mar (Jewell & Biggers, 2017). A OMS recomenda que água esteja isenta de coliformes por conta do iminente risco de propagação de infecções, visto que indicam a presença de diversidade de microorganismos (Organização Mundial da Saúde, 2017a). A legislação nacional estabelece como limite o máximo de 400 moléculas/100 mL para coliformes, sem distinguir entre coliformes totais e termotolerantes.

2.5. Monitoria de qualidade de água

A monitoria dos parâmetros de qualidade das águas dos rios é um importante instrumento de gestão ambiental e, a compreensão do comportamento da qualidade das águas suporta nas tomadas de decisão em relação aos diversos fins, desde a sua utilização até ao controlo de doenças de origem hídrica, com a finalidade de ter maior clareza na resolução de problemas com vista a melhorar a saúde do ecossistema.

Em Moçambique, a Lei nº 20/97 estabeleceu ao abrigo do artigo 10 a necessidade de se criar padrões de qualidade ambiental, de modo a assegurar uma utilização sustentável dos recursos do país. Neste sentido, o Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho que constitui o Regulamento sobre Padrões de Qualidade Ambiental e de Emissão de Efluentes, define

as directrizes visando o controlo e manutenção dos níveis admissíveis de concentração de poluentes nos componentes ambientais.

Para o interesse do presente estudo, observou-se em particular às normas referentes à qualidade dos corpos hídricos receptores de despejos de efluentes oriundos das actividades domésticas e dos processos agrícolas e industriais.

De acordo com o Decreto nº 18/2004, as Tabelas 4, 5 e 6 a seguir apresentam, respectivamente, os padrões de emissões de efluentes líquidos domésticos, os da indústria cervejeira e os da qualidade da água para rega.

Tabela 4 - Padrões de emissão de efluentes líquidos domésticos

Parâmetro	Valor máximo admissível	Unidades	Observações
Cor	diluição 1:20	Presença/Ausência	-
Cheiro	diluição 1:20	Presença/Ausência	-
pH, 25° C	6-9	Escala de Sorensen	-
Temperatura	35°	°C	Aumento no receptor
DQO	150	mg/L O ₂	-
SST	60	mg/L	-
Fósforo total	10	mg/L	3 mg/L em zonas sensíveis
Azoto total	15	mg/L	-

Fonte: Anexo IV do Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho.

Tabela 5 - Padrões de emissão de efluentes líquidos pela indústria cervejeira

Parâmetro	Valor (em mg/L, excepto para E-coliformes, pH e Temperatura)
pH	6-9
DBO ₅	30
DQO	80
SST	15
Óleos e gorduras	10
Azoto	10
E-coliformes (moléculas/100 mL)	400
Aumento de temperatura	≤ 3°C

Fonte: Adaptado do Anexo III do Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho.

Tabela 6 - Padrões de qualidade da água para rega

Parâmetro	Valor
pH	6.5-8.4 (intervalo normal)
Nitrato	5-30 mg/L (grau de restrição moderada)
Fosfato	0-2 mg/L (intervalo normal)
Conductividade eléctrica	260-750 µS/cm (baixo risco) 760-2250 µS/cm (risco moderado)

Fonte: Adaptado do Anexo VI do Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho.

No entanto, o referido decreto cinge-se em definir as características que o efluente deve apresentar no meio receptor, cujos limites variam de acordo conforme a actividade de origem. Dessa forma, recorreu-se ao Decreto nº 52/2023 de 30 de Agosto que aprova o Regulamento de Padrões de Qualidade de Água Bruta e de Descarga de Efluentes Líquidos e Sólidos. Este regulamento estabelece as normas que definem os padrões de qualidade de água bruta e das descarga de efluentes, fixando os níveis máximos admissíveis de concentração de poluentes nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Os valores relativos aos parâmetros de interesse deste estudo se encontram detalhados na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 - Limites dos padrões de qualidade da água bruta

Parâmetro	Unidade	Limite admissível
pH (potencial de hidrogénio)	-	6 – 9
Aumento de Temperatura	°C	±3
DBO ₅ (Demanda Biológica de Oxigénio)	mg/L	30
Fósforo	mg/L	5
Coliformes	moléculas/100 mL	400
Nitratos	mg/L	50

Fonte: Adaptado do Anexo II do Decreto nº 52/2023 de 30 de Agosto.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido ao longo da bacia do Rio Infulene que se localiza na zona sul do país, ocupando a província e cidade de Maputo. A bacia hidrográfica do Rio Infulene possui uma área total de 185 km² com um comprimento de 58 km (Nhantumbo, 2022). O rio Infulene, também designado, Mulaúzi tem a nascente no município de Marracuene e corre na direcção norte-sul desaguando na baía de Maputo pelo estuário Espírito Santo.

A área de estudo, compreende uma região, onde predomina ao longo de vários pontos do seu curso a actividade agrícola, com particular destaque para a produção de hortaliças. Estando localizado em uma zona urbana, tem localizadas junto ao rio, uma indústria cervejeira e duas ETAR, cujas contribuições interferem na qualidade das águas.

Localização da Área de Estudo

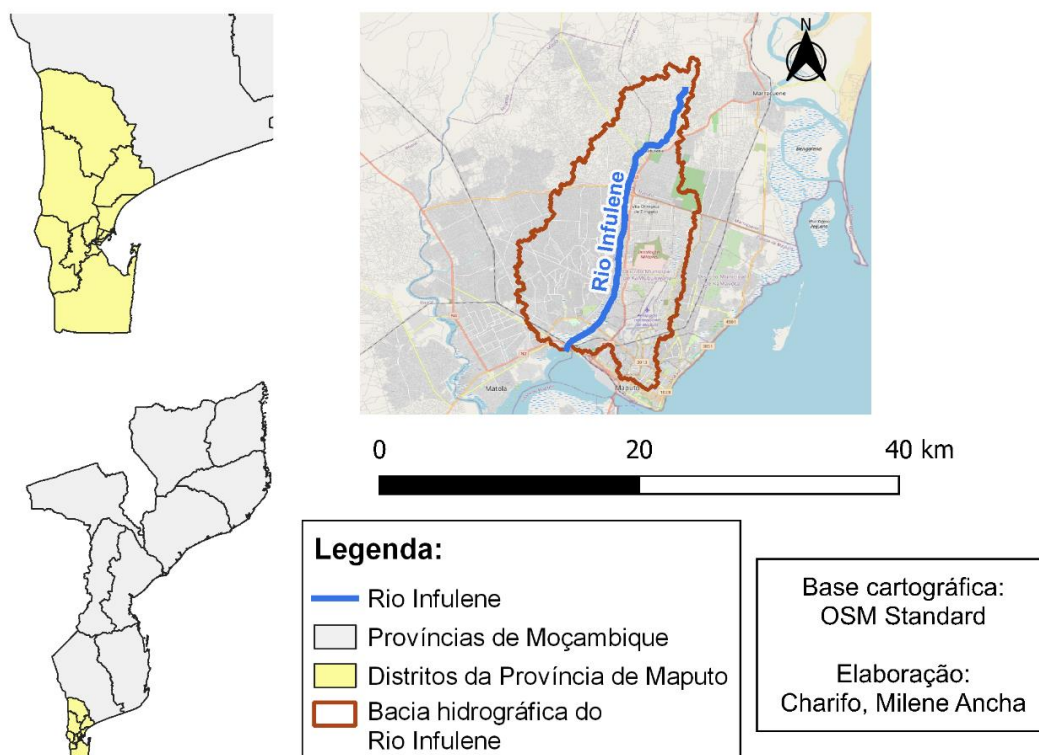


Figura 1 - Localização e delimitação da área de estudo

3.2. Clima

O clima da região onde a bacia se encontra caracteriza-se por ser tropical, apresentando ao longo do ano um período húmido, entre os meses de Novembro a Março, e seco nos meses de Abril a Outubro. Durante a maior parte do ano, os dias são quentes com as temperaturas médias diárias a variar entre 23°C a 28°C. As precipitações ocorrem durante a época húmida, com maior intensidade nos meses de Fevereiro e Março. Para o ano de 2023, a precipitação média anual foi de 713 mm (Eglitis, 2024).

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1. Amostragem

As amostras de água foram colhidas durante três campanhas, nos meses de Julho, Agosto (período seco) e Outubro (período húmido) do ano de 2023, tendo em vista à interpretação nas duas épocas do ano. Os pontos de amostragem partem da montante à jusante, cujo critério de escolha decorre de factores naturais e antropogénicos, como o escoamento superficial, deposição atmosférica e proximidade à possível fonte de contaminação que possa influenciar na qualidade da água do Rio Infulene.

Pontos de Amostragem

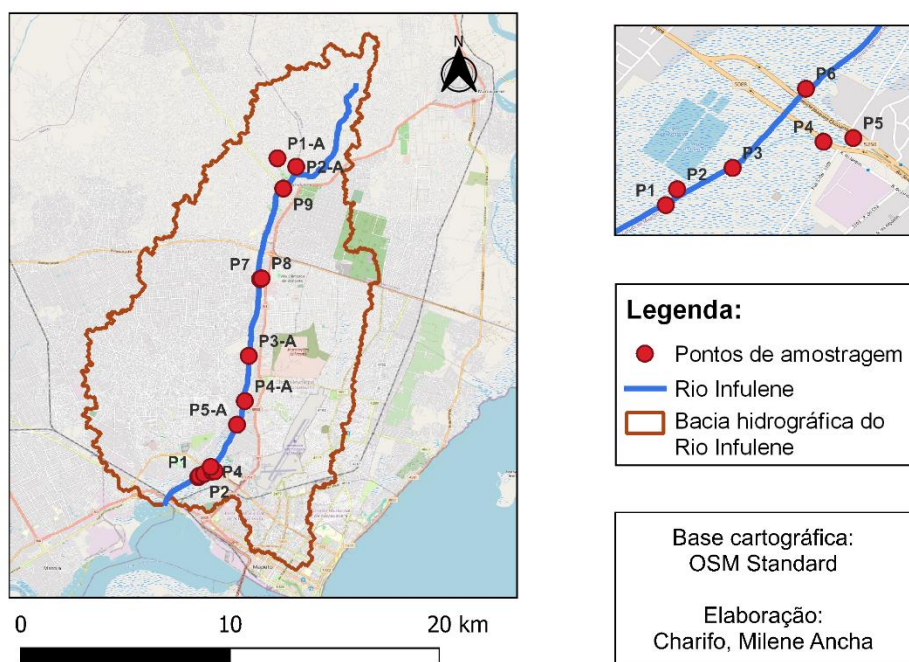


Figura 2 - Identificação dos pontos de amostragem na bacia do Rio Infulene

A Tabela 8 a seguir, apresenta a identificação e localização dos 14 (catorze) pontos de amostragem definidos para o presente estudo.

Tabela 8 - Descrição dos pontos de amostragem

Ponto	Latitude	Longitude	Descrição do local
P1	-25.923671	32.536522	Secção do rio após a ponte da indústria cervejeira
P2	-25.923000	32.537000	Saída da ETAR do Infulene
P3	-25.922097	32.539350	Mistura das águas do rio, águas do sistema de drenagem e águas residuais da indústria cervejeira
P4	-25.920992	32.543199	Saída das águas residuais da indústria cervejeira
P5	-25.920833	32.544458	Descarga do sistema de drenagem próximo à entrada da ETAR do Infulene
P6	-25.918748	32.542455	Secção do rio antes de se juntar às águas do sistema de drenagem e ETAR do Infulene
P7	-25.829313	32.566051	Mistura das águas do rio com as da ETAR do Zimpeto
P8	-25.828888	32.566774	Saída da ETAR do Zimpeto
P9	-25.786130	32.577099	Secção do rio na ponte próxima à vila de Intaka
P1-A	-25.771676	32.574333	Secção do rio localizado na nascente (1) e próximo a residências
P2-A	-25.775701	32.583299	Secção do rio próximo a nascente (2) e pequenas habitações
P3-A	-25.865844	32.560649	Secção do rio próximo ao Hospital Psiquiátrico do Infulene
P4-A	-25.887390	32.558763	Secção do rio na ponte da Zona Verde próximo a áreas densamente povoadas
P5-A	-25.898640	32.555034	Secção do rio próximo ao Hipermercado no Bairro T3 e presença de áreas agrícolas

4.2. Trabalho de Campo

A recolha de amostras da água do rio foi feita em cada um dos pontos descritos, anteriormente, seguindo os procedimentos recomendados pelo manual *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association, 2017), descrito no Anexo 1 deste estudo. Todas as amostras foram preservadas em caixa térmica em até 5 ± 1 °C de temperatura, e findo o trabalho de campo foram levadas ao Laboratório de Águas e conservadas até ao momento da análise laboratorial.

Paralela à actividade de amostragem para as análises laboratoriais, procedeu-se à leitura dos parâmetros no campo, nomeadamente, temperatura, condutividade eléctrica, pH e oxigénio dissolvido em cada um dos pontos. Para o efeito, utilizou-se o medidor multiparamétrico portátil HACH HQ40d.

4.3. Análise laboratorial

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram determinados nos Laboratórios de Águas e Hidráulica Sanitária da Faculdade de Engenharia, com base na adaptação dos métodos contidos no livro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association, 2017), que se encontram detalhados no Anexo 1 do presente trabalho. A Tabela 9 apresenta os métodos utilizados para a determinação dos parâmetros analisados, referentes à parte laboratorial.

Tabela 9 - Métodos de análise das amostras em laboratório

Parâmetro	Método
Nitratos	Espectrofotométrico (Standard Methods, 2017)
Fosfatos	Espectrofotométrico (Standard Methods, 2017)
DBO	Medição indirecta (Teste de DBO de 5 dias, a 20°C)
Coliformes totais e <i>E. coli</i>	Substrato cromogénico e fluorogénico (Teste Colilert-18)
ESBL <i>E. coli</i>	Uso de Meio de cultura CHROMagar™

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos resultam do processamento de amostras e análise de dados, efectuados nos 14 pontos que compreendem a área de estudo feitas durante três campanhas, nos meses de Julho e Agosto (época seca) e Outubro (época húmida).

Os parâmetros definidos para este trabalho foram analisados considerando os limites estabelecidos nos regulamentos nacionais citados, complementados pelo disposto em directrizes internacionais. Os resultados são apresentados em gráficos, que representam os valores médios obtidos nas campanhas realizadas e, para complementar a discussão, foi feita uma análise espaço-temporal que inclui dados do estudo realizado por Rapulua (2022).

5.1. Parâmetros físico-químicos

5.1.1. Temperatura

A temperatura teve uma variação média de 21.1 ± 2.1 °C (1ª campanha) e 21.1 ± 1.5 °C (2ª campanha) na época seca, e 26.5 ± 3.4 °C (3ª campanha) na época húmida. Pode-se observar diferentes temperaturas nos diferentes pontos, entretanto, verifica-se uma subida considerável na terceira campanha que pode ser explicado pelo facto de já se ter iniciado à época chuvosa, caracterizada por ter períodos de alta temperatura ao longo do dia. A variação na temperatura da água do rio geralmente depende da estação, localização geográfica, hora em que ocorreu a amostragem e a temperatura de efluentes introduzidos no curso de água.

Observando os gráficos da Figura 3 a seguir nota-se que, os meses com maiores valores de temperatura são Fevereiro e Outubro para os anos de 2022 e 2023, respectivamente. Isso demonstra a influência da estação de verão sobre o valor de temperatura da água. Pode-se destacar temperaturas relativamente superiores nos pontos P4 e P8 localizados próximos às ETAR do Infulene e Zimpeto, devido às características da água nesta secção do rio. Apesar de todos os valores medidos se encontrarem abaixo do recomendado por legislação, o aumento de temperatura influencia na qualidade de água pois gera reacções químicas indesejáveis que pode ter efeitos sobre o metabolismo dos animais e crescimento de plantas presentes no ambiente aquático.

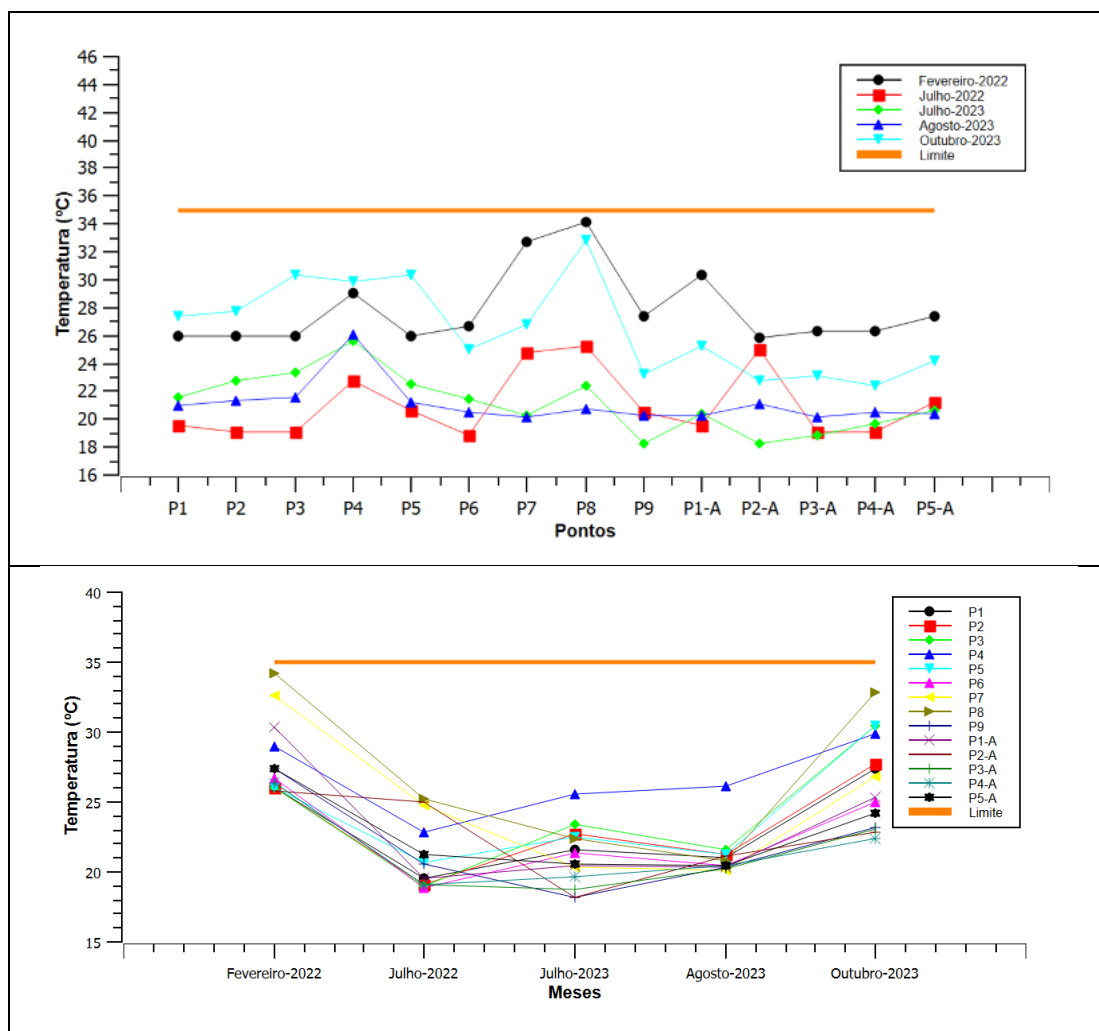


Figura 3 – Variação da Temperatura

5.1.2. Oxigénio dissolvido

Este parâmetro, apresenta variações nas três campanhas em todos os pontos. O oxigénio dissolvido é afectado pelos processos que decorrem nos corpos de água, tais como respiração de organismos presentes no ambiente aquático, por perdas para a atmosfera, incluindo presença de efluentes domésticos, industriais e provenientes da actividade agrícola. Os valores obtidos variam de 0.58 a 9.60 mg/L durante a época seca e de 0.12 a 6.79 mg/L na época húmida, de acordo com a Figura 4. Os valores das épocas húmidas são mais baixos que os das épocas secas na maioria dos pontos. Não se pode estabelecer uma relação entre os valores, pois cada um dos resultados depende das condições encontradas no momento de medição. Nota-se, no entanto, pontos com

valores acima do estabelecido pelo limite, que podem ser resultados da carga orgânica presente. Portanto, a concentração de oxigénio dissolvido foi afectado pelas condições de temperatura, actividade metabólica, matéria orgânica presente, fluxo da água e actividades antropogénicas (Water Research Center, 2020) encontrados no local e momento de medição.

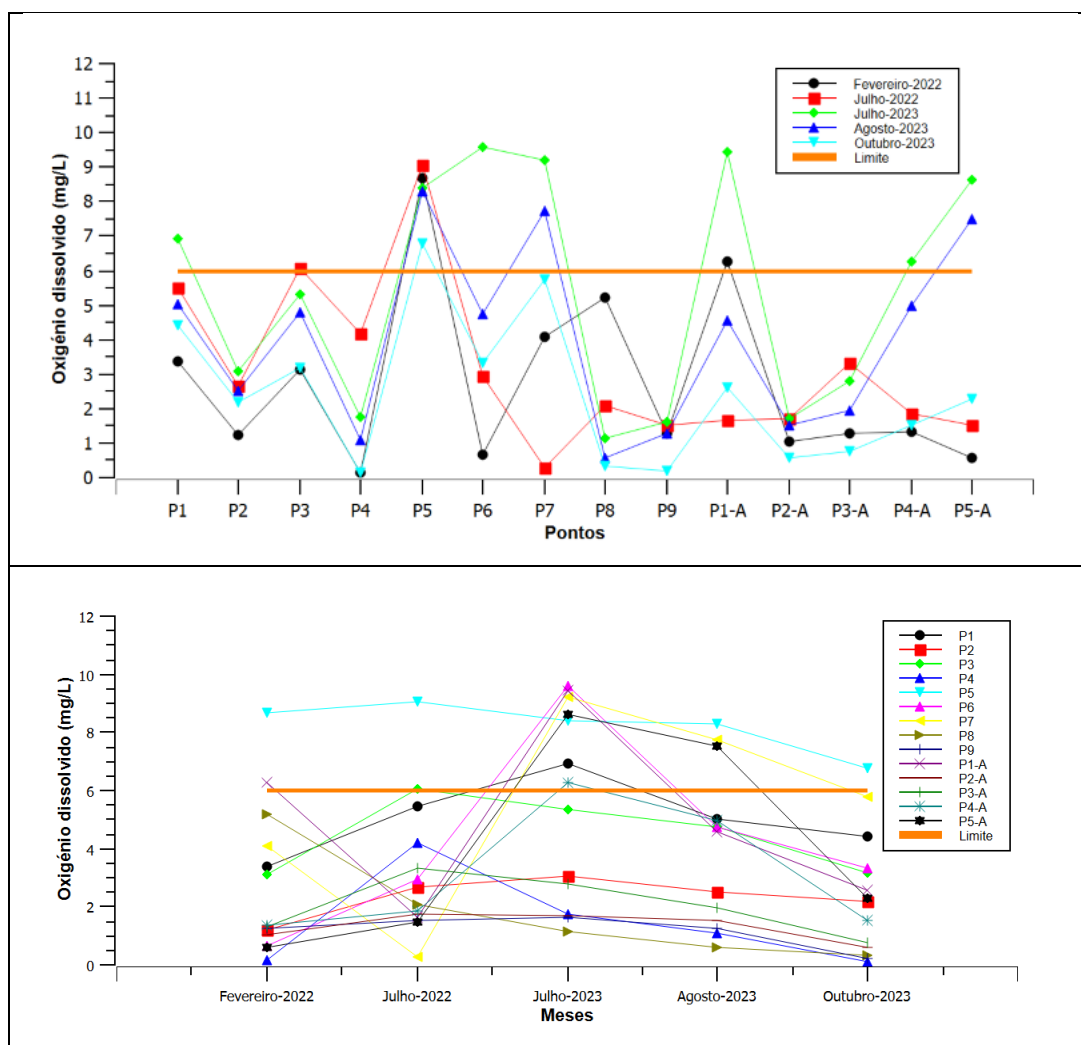


Figura 4 – Variação da concentração de Oxigénio dissolvido

5.1.3. Conductividade eléctrica

A conductividade eléctrica pode estar relacionada com a existência de eventuais fontes de poluição por introdução de substâncias específicas que conduzem ao seu aumento. A conductividade eléctrica nos cursos de água varia de 50 to 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Observando os valores entre as duas épocas, nota-se um aumento ínfimo na época húmida. Valores elevados de conductividade indicam alta salinidade, e assim, a água com estas

características é considerada imprópria para a rega. O ponto P4 que se localiza próximo a uma indústria cervejeira é que apresentou os valores mais elevados em todas as campanhas. Este parâmetro apresentou uma distribuição relativamente homogênea, como se pode verificar nos gráficos da Figura 5 a seguir, com excepção do ponto P4 caracterizado por ter transporte de materiais devido à proximidade da indústria cervejeira, para além de apresentar valores de concentração elevados. Ainda assim, de acordo com o Decreto n.º 18/2004, a água em toda a sua extensão representa de baixo a risco moderado, se for utilizada para a irrigação agrícola.

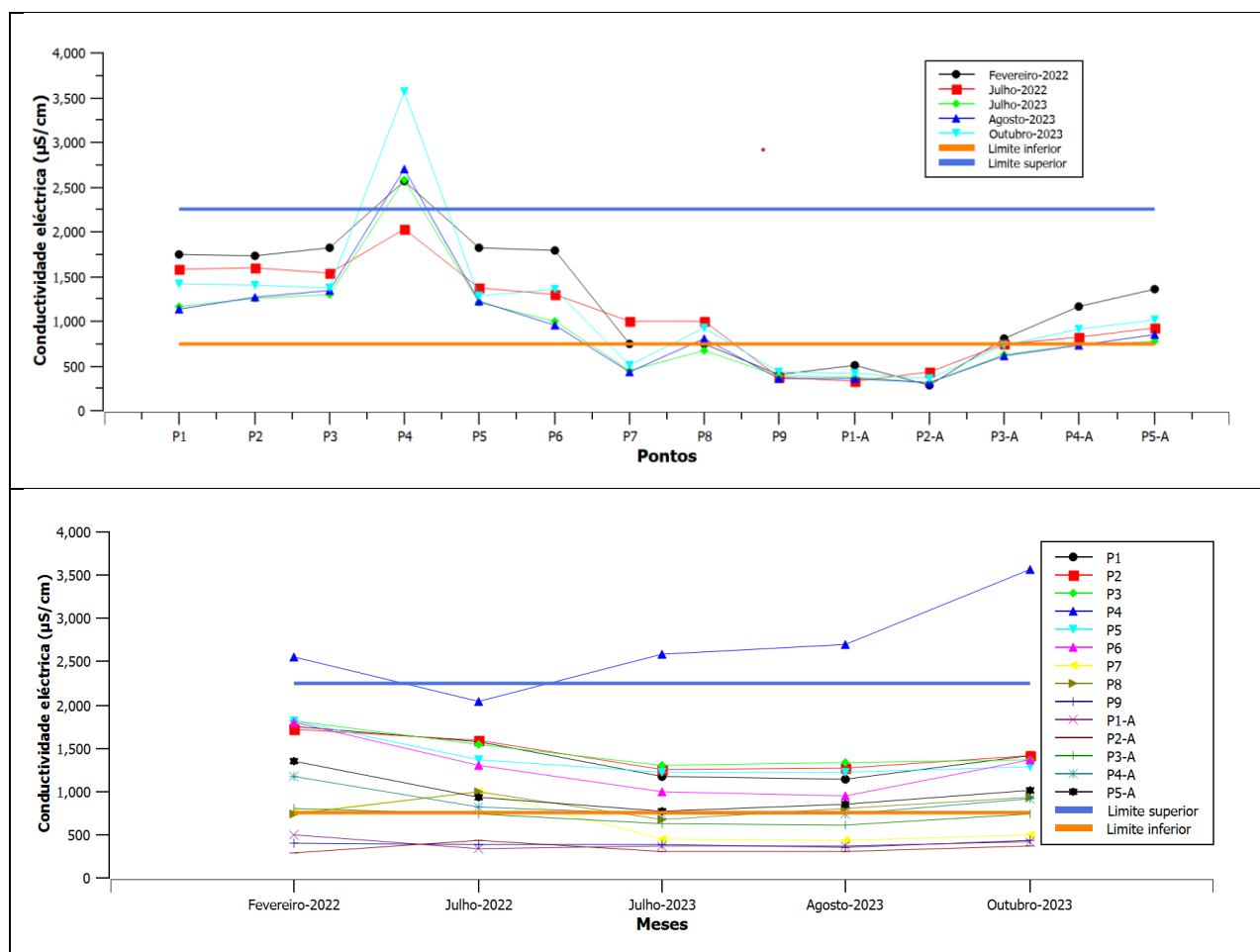


Figura 5 - Variação da Conductividade eléctrica

5.1.4. pH

Os valores de pH (vide Figura 6) apresentaram variação significativa entre as duas épocas, que se verifica pela diferença entre os valores da última campanha, quando comparadas com as duas primeiras. Os valores variaram de 7.00 a 7.23, na época seca,

e de 6.24 a 10.33, na época húmida. Pode-se observar que no ponto P4, o pH na terceira campanha registou o valor máximo e único que se encontra fora do padrão estabelecido pelo decreto. O facto pode ser explicado pelo ponto se encontrar próximo ao local de despejo das águas residuais decorrentes dos processos da indústria cervejeira.

Em todos os pontos analisados, os valores de pH se encontram próximos da neutralidade, ou seja, próximos a 7. Por ser época chuvosa, as variações observadas na última campanha realizada em Outubro do ano 2023, foram influenciados pela precipitação intensa registada. Segundo Carvalho, 2000 (como citado em Gonçalves, 2013), em períodos de elevadas precipitação, há maior diluição dos compostos dissolvidos, o que resultou no comportamento do pH.

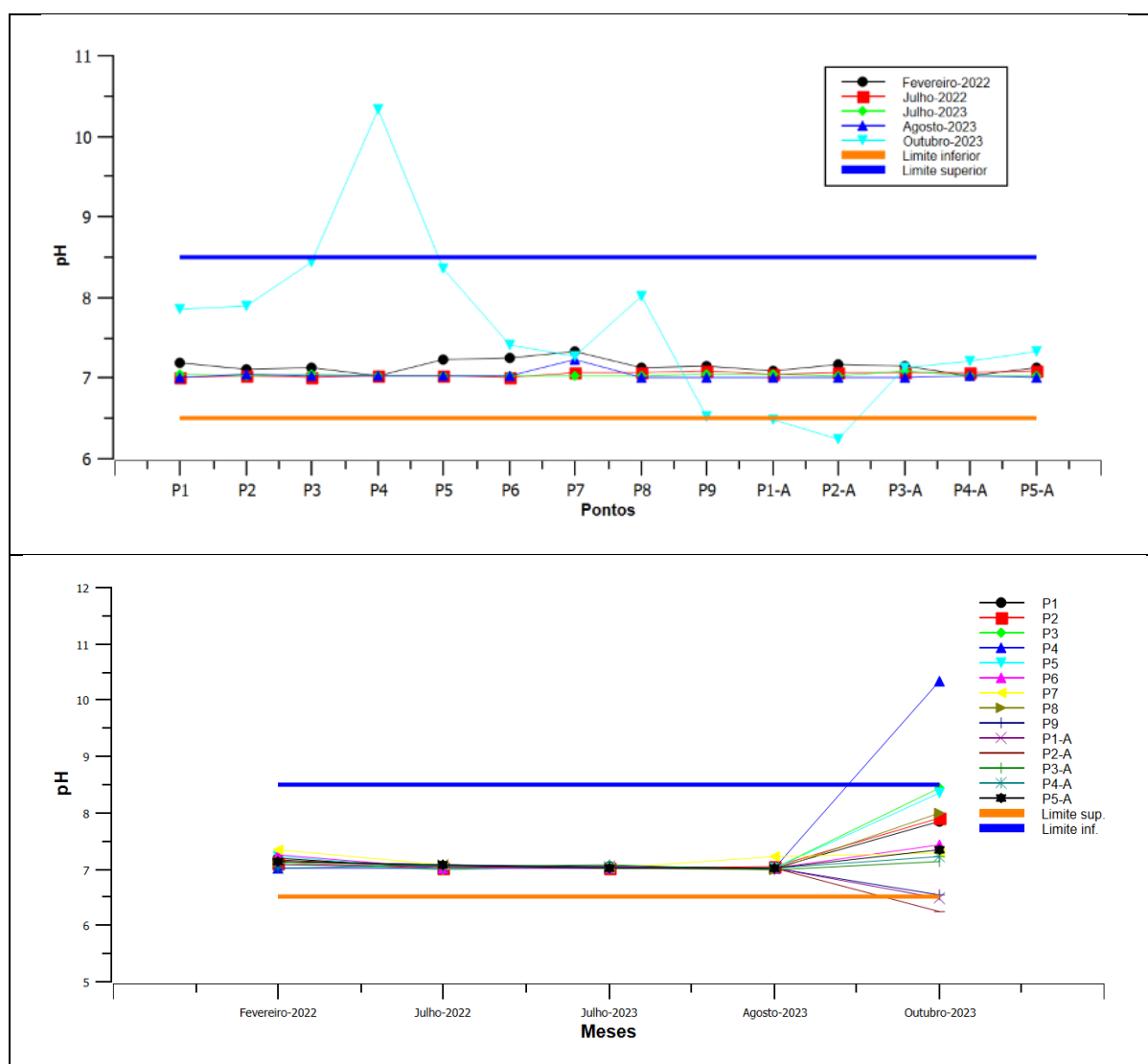


Figura 6 - Variação de pH

5.1.5. Nitratos

A concentração de nitratos é baixa em efluentes domésticos mas por conta do tratamento biológico que acontece na estação de tratamento de águas residuais, pode atingir até 30 mg/L (Uddin et al., 2014). Por outro lado, a actividade agrícola pode contribuir para o aumento da concentração porque os fertilizantes são uma importante fonte de nitratos. No gráfico da Figura 7, observa-se que não existe um comportamento similar em todos os pontos, tendo em conta a época do ano; apenas observam-se valores mais elevados nos pontos P1, P2, P3, P5 e P6 que se encontram próximos às áreas agrícolas em redor da ETAR do Infulene.

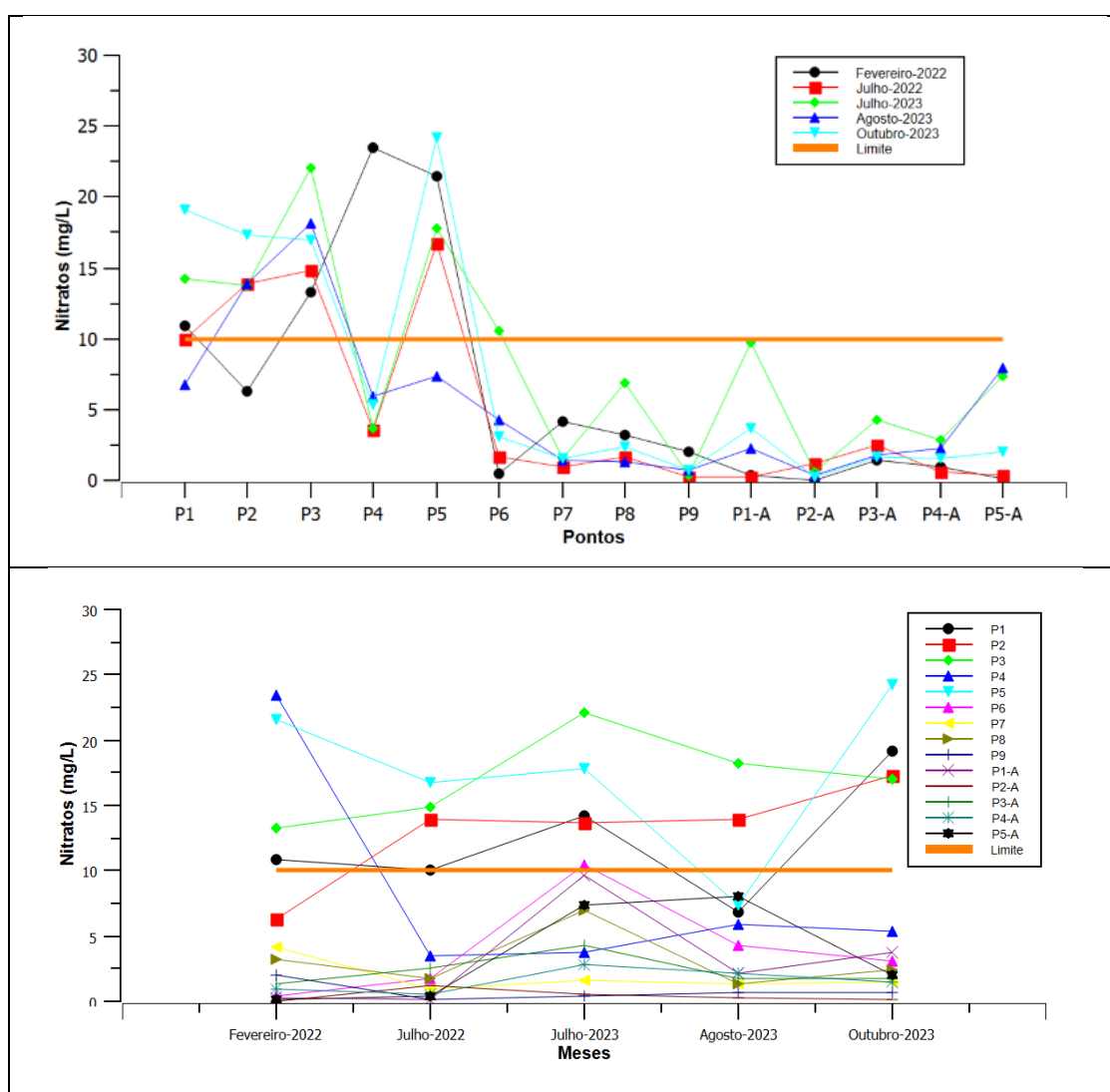


Figura 7 - Variação da concentração de Nitratos

5.1.6. Fosfatos

A introdução de fósforo nas águas está normalmente relacionada com a descarga de esgoto que contém detergentes presentes nas águas residuais de origem doméstica. Mas também o escoamento de fertilizantes e efluentes industriais constituem as principais fontes dos níveis de fosfatos no rio (Al-Badaii et al., 2013). Os valores acima de 20 mg/L indicam uma descarga pontual ocorrido num determinado período, e uma subsequente alteração da qualidade nos corpos de água (Oliveira et al, 2008; como citado em Gonçalves, 2013).

Os pontos P3, P4, P8 e P9 registaram concentrações elevadas, o que sustenta a análise anterior. Um outro ponto relevante é que os valores estão muito acima do limite admissível para uso na irrigação (2 mg/L), constituindo um risco para esta actividade. Conforme apresentado na Figura 8 a seguir, as concentrações para os fosfatos variam de acordo com o ano. Observou-se, na maioria dos pontos, uma tendência de valores mais baixos na época seca, quando comparados aos obtidos nas campanhas feitas na época húmida. Nota-se que os valores para o ano de 2022, não apresentaram o mesmo comportamento do ano 2023. Os resultados discrepantes obtidos no ano de 2023 foram causados por erros no tratamento da própria amostra, pois as concentrações lidas no equipamento estavam muito acima do permitido e as diluições realizadas não foram suficientes para garantir a precisão dos resultados.

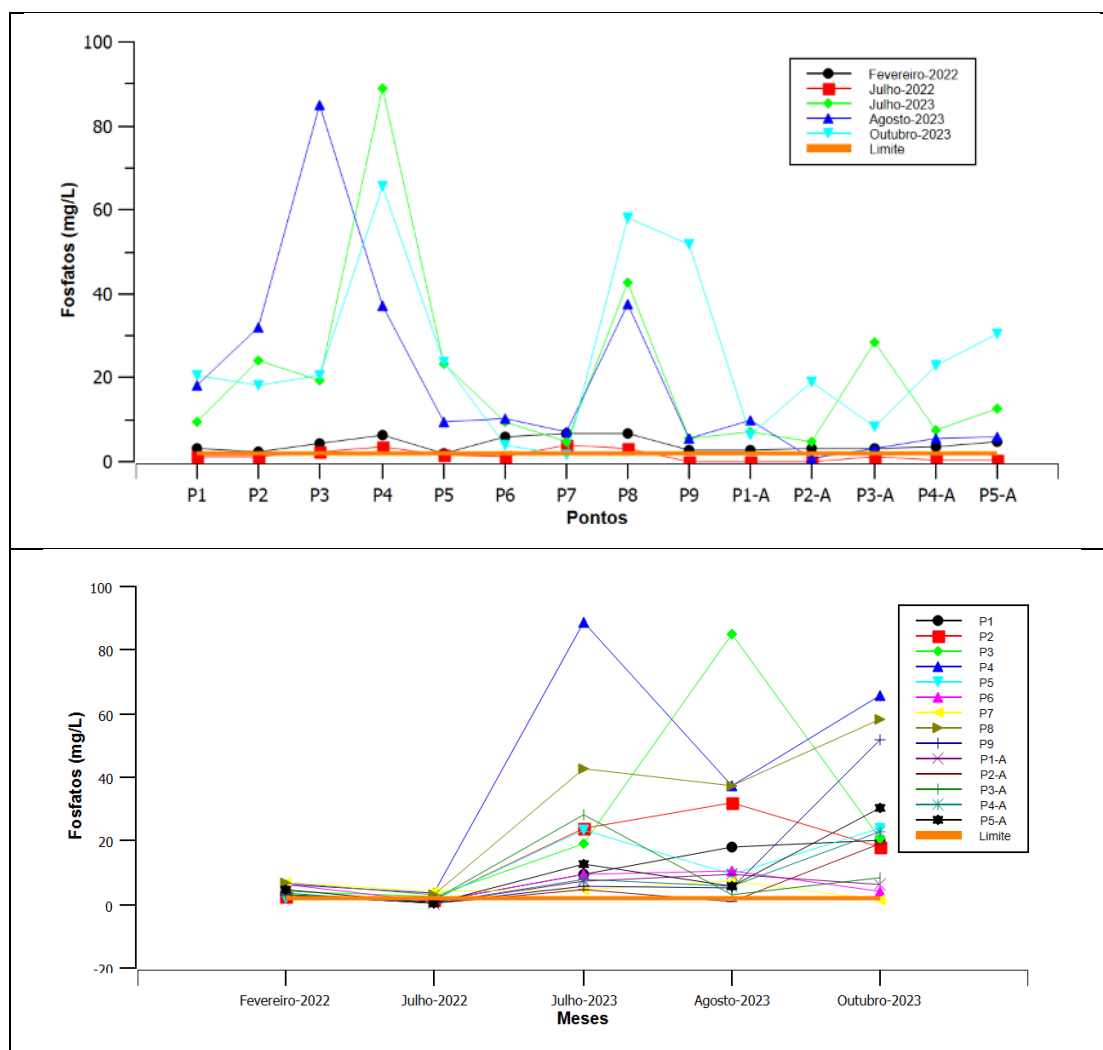


Figura 8 - Variação da concentração de Fosfatos

5.1.7. Demanda bioquímica de oxigênio

De acordo com Mocuba (2010), águas não poluídas tipicamente têm valores de DBO de 2 mg/L ou menos, enquanto que corpos de água recebendo efluentes podem ter valores até 10 mg/L. No presente estudo, os valores variaram entre 1.01 a 31.03 mg/L, na época seca, e 1.84 a 25.68 mg/L na época húmida (vide Figura 9). O Decreto n.º 18/2004 estabelece o valor máximo de 30 mg/L para descarga feita por indústria cervejeira. Os pontos P3 e P4 que se encontram próximo à indústria cervejeira é que apresentaram valores mais elevados (31.03 e 25.68 mg/L) quando comparados a todos outros pontos. Outro destaque vai para o ponto P8, que apresentou no período húmido o valor de 20.57 mg/L, salientando que este parâmetro sofre impacto das descargas da ETAR do Zimpeto.

Os valores de DBO indicam que há uma quantidade significativa de matéria orgânica presente na água e também poluição, pois assim afecta oxigénio dissolvido e compromete o equilíbrio ecológico do ambiente. Igualmente, alerta para o necessário controlo do lançamento inadequado de efluentes e eficiência do tratamento de esgotos (Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006).

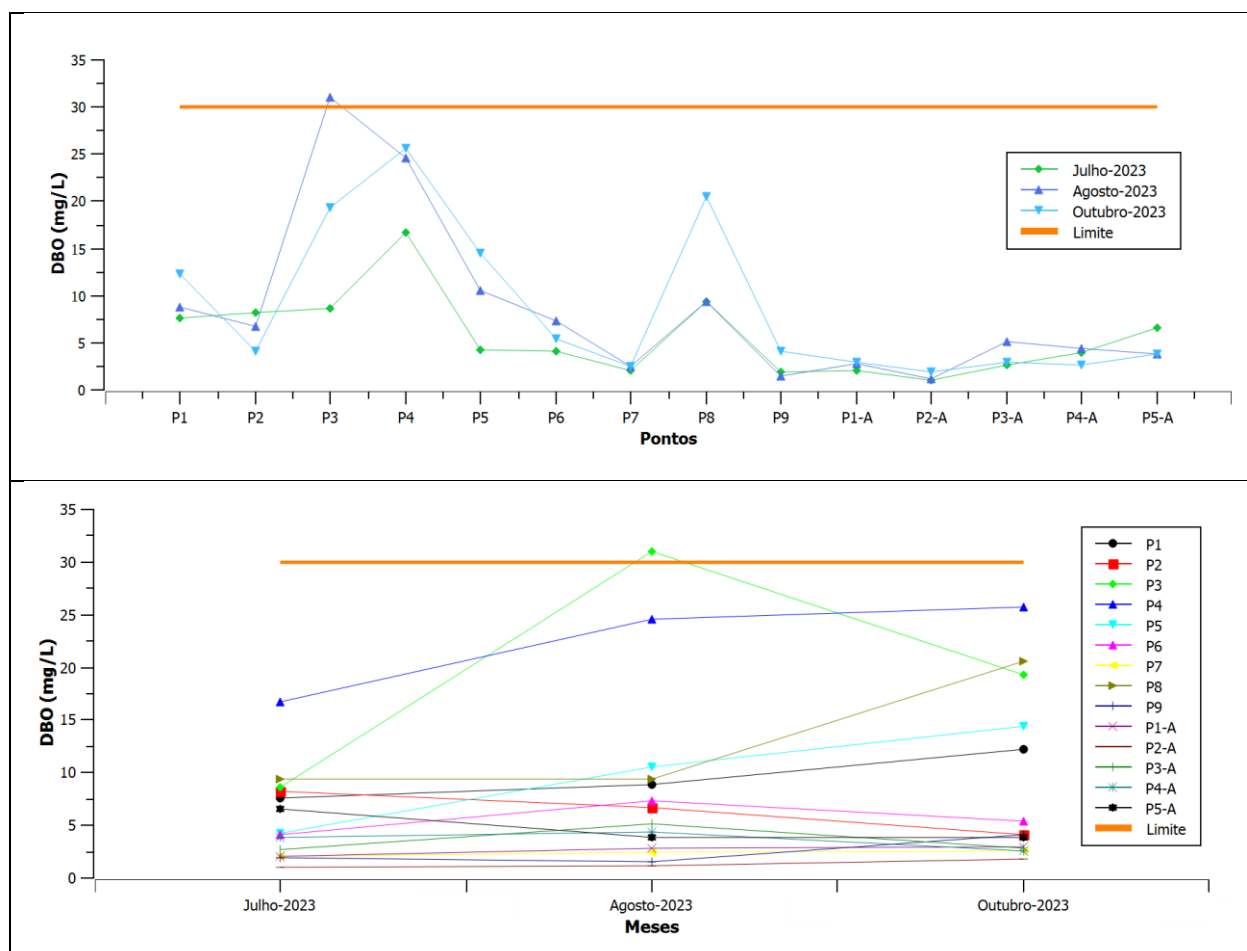


Figura 9 - Variação da concentração de Demanda bioquímica de oxigénio

5.2. Parâmetros microbiológicos

5.2.1. Coliformes totais e *E. coli*

Os coliformes são bactérias aeróbicas ou anaeróbicas facultativas, capazes de sobreviver e se multiplicar em diferentes ambientes aquáticos, fermentar a lactose e produzir ácido ou aldeído em 24-48 horas à temperaturas que variam de 35 a 45 °C (Da Silva et al., 2020). Essas características propiciam o uso de coliformes totais e *E. coli* como indicadores de contaminação fecal e possibilidade de presença de microorganismos patogênicos a eles associados, visto que são detectados em diversas amostras como esgotos, águas minerais, águas naturais e águas residuais.

Conforme descrito na revisão de literatura, a norma preconiza valores máximos para coliformes de 400 moléculas/100 mL. Em todos os pontos analisados detectou-se tanto a presença de coliformes totais (Figura 10), bem como a de *E. coli* (Figura 10), em valores acima do que determina o padrão. As maiores incidências foram encontradas nos pontos P3, P4 e P8, em todas as campanhas. Os resultados sugerem que a sazonalidade não influencia directamente no comportamento destes parâmetros, pelo que vale dizer que a sua distribuição está ligada à proximidade de lançamentos dos efluentes e o fenómeno de escoamento superficial.

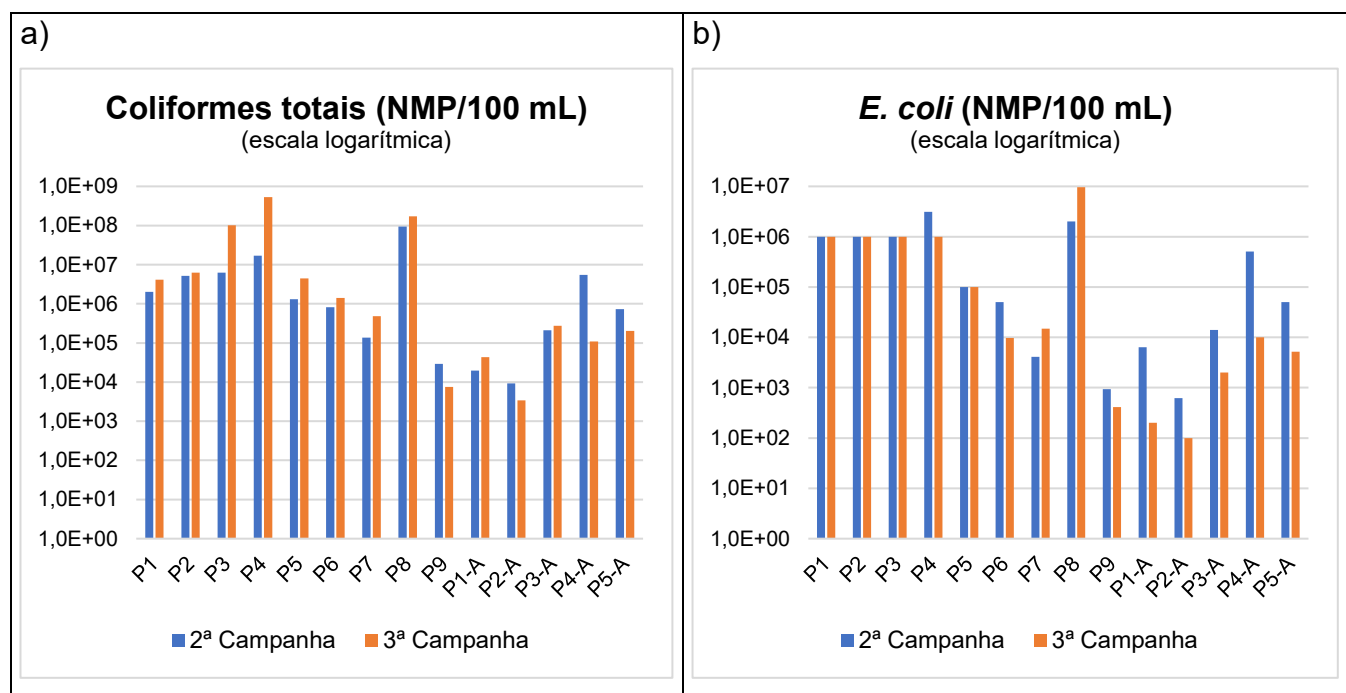


Figura 10 - Variação microbiológica na bacia do Rio Infulene. a) Coliformes totais; b) *E. coli*

5.2.2. ESBL *E. coli*

A resistência antimicrobiana, medida pelos níveis de ESBL *E. coli*, funciona como indicador de qualidade microbiológica da água e, sobretudo, da propagação de genes de resistência a antibióticos, que representam risco à saúde pública. As bactérias podem sobreviver por períodos prolongados na água do rio, especialmente quando há temperatura amena e matéria orgânica disponível. Com a exceção dos pontos P7 e P9, em todos os pontos detectou-se quantidade significativa de ESBL *E. coli*, com valor máximo a atingir 5.9×10^5 UFC/100 mL no ponto P8, o que demonstra a prevalência dos microorganismos na bacia do Rio Infulene. Nota-se pela leitura do gráfico da Figura 11 que a elevada concentração de *E. coli* ESBL, com destaque para os pontos P2, P3, P4 e P8, está associada à proximidade das fontes de descarga de efluentes, como a ETAR do Infulene, ETAR do Zimpeto e a indústria cervejeira.

Embora não existam estudos específicos ao longo da bacia do Rio Infulene, pode-se observar o estudo de Salência-Ferrão et al. (2025), realizado em Maputo, no qual foi identificado o uso inadequado de antibióticos para o tratamento de doenças diarreicas em crianças, que contribui para a circulação de resíduos de antibióticos nos sistemas de esgoto e, conseqüentemente, no ambiente. Além disso, Salamandane et al. (2021) detectaram níveis elevados de enterobactérias resistentes a β -lactâmicos em amostras de água destinadas ao consumo. Essas evidências sustentam a hipótese de que a presença constante de antibióticos no ambiente aquático favorece à sobrevivência e proliferação de *E. coli* produtora de ESBL, o que pode explicar sua prevalência na bacia do Rio Infulene, principalmente nos locais que recebem os esgotos domésticos.

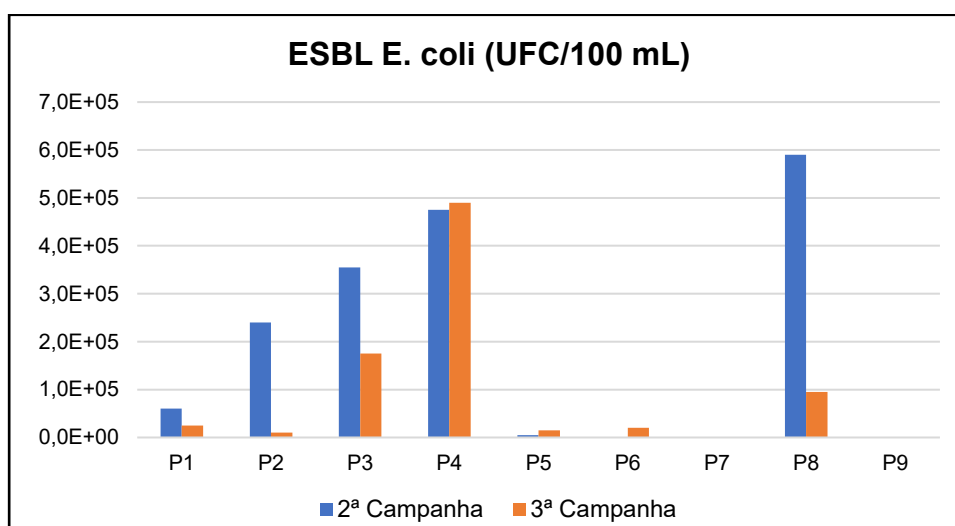


Figura 11 - Variação de ESBL *E. coli* na bacia do Rio Infulene

5.3. Análise espaço-temporal dos parâmetros microbiológicos

5.3.1. Análise espaço-temporal de coliformes totais

Da análise é possível notar um aumento muito significativo da concentração de coliformes totais, variando de 20 a 9.6×10^4 NMP/100 mL no ano de 2022, e de 9320 a 9.35×10^7 NMP/100 mL no ano de 2023, como mostra a Figura 12 abaixo. Os valores máximos do último ano ultrapassaram em quase mil vezes os de 2022. Esta variação pode estar associada à pressão populacional e consequente uso e ocupação do solo verificada ao longo da bacia. Em 2023, a população total de Maputo era de 1.133.235 habitantes contra 1.130.319 do ano anterior, representando uma taxa de crescimento de 0.3%. Apesar de parecer um valor baixo, comparativamente, a outros países africanos, indica que nesse período a cidade aumentou a densidade populacional, cujos impactos se verificam através do aumento de carga orgânica que é despejada no rio que pressiona o sistema de drenagem, pois não cresce no mesmo ritmo da população e resulta no uso intensificado de fossas sépticas e ligação informal das residências ao esgoto.

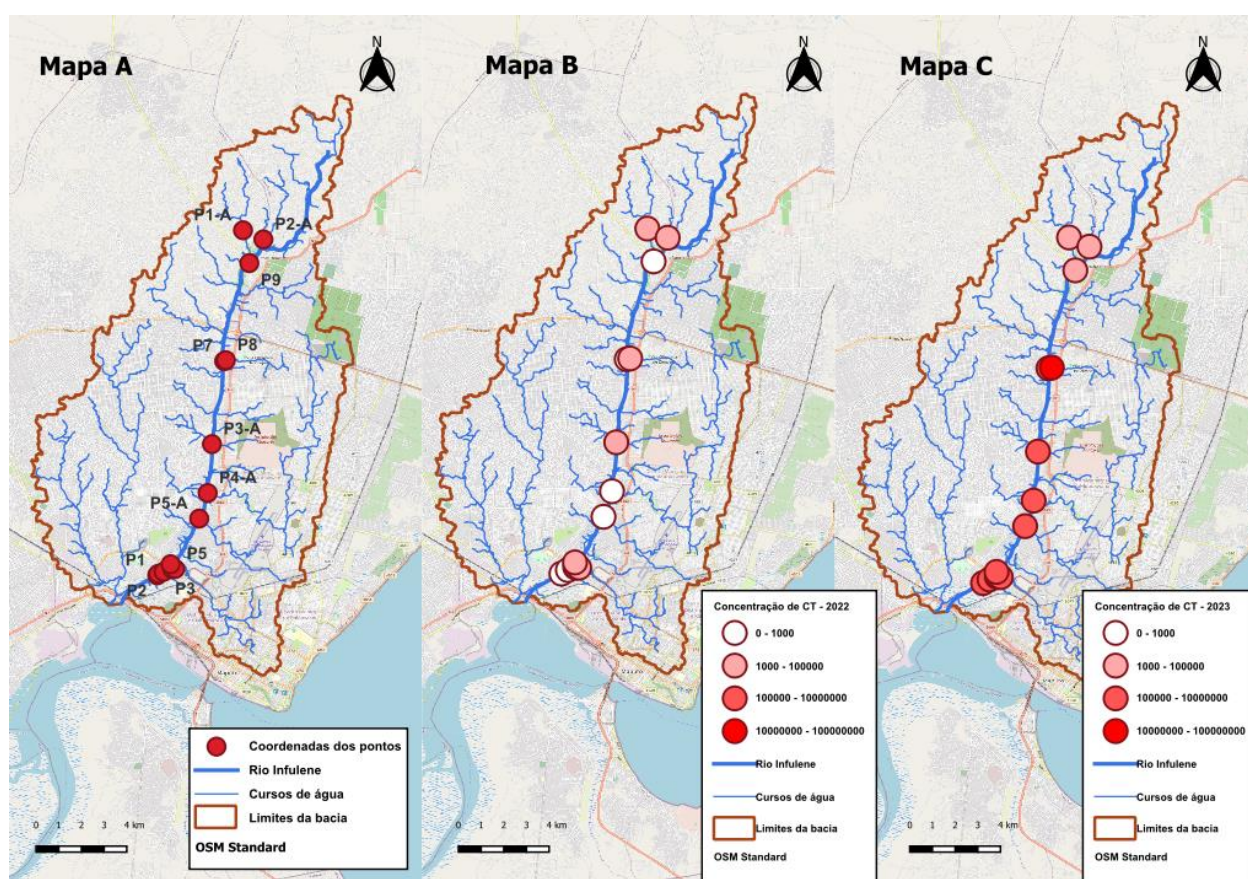


Figura 12 - Variação espaço-temporal de coliformes totais. Mapa A- Pontos de amostragem; Mapa B - Concentração de CT (2022); Mapa C- Concentração de CT(2023)

5.3.2. Análise espaço-temporal da *E. coli*

A análise dos resultados obtidos na bacia do Rio Infulene entre os anos de 2022 e 2023 revelou uma variação nos níveis de *E. coli* que apresentou aumento de cerca de 90 vezes nos valores máximos (de 3.5×10^4 para 3.1×10^6 NMP/100mL), de acordo com a Figura 13, abaixo. Para além do factor explicado no ponto anterior, se acrescenta a ineficiência das ETAR do Infulene (que se encontrava em obras de reabilitação e ampliação) e Zimpeto (que se encontrava praticamente inoperacional) que contribuem directamente para o aumento da carga microbiana nas águas, especialmente no Rio Infulene que se localiza numa zona urbana em crescimento. E com isso, a contaminação fecal aumenta com a detecção dos microorganismos e isso abre espaço para que haja maior concentração de organismos resistentes, que propiciam a diversidade e tornam difícil o controlo da resistência antimicrobiana.

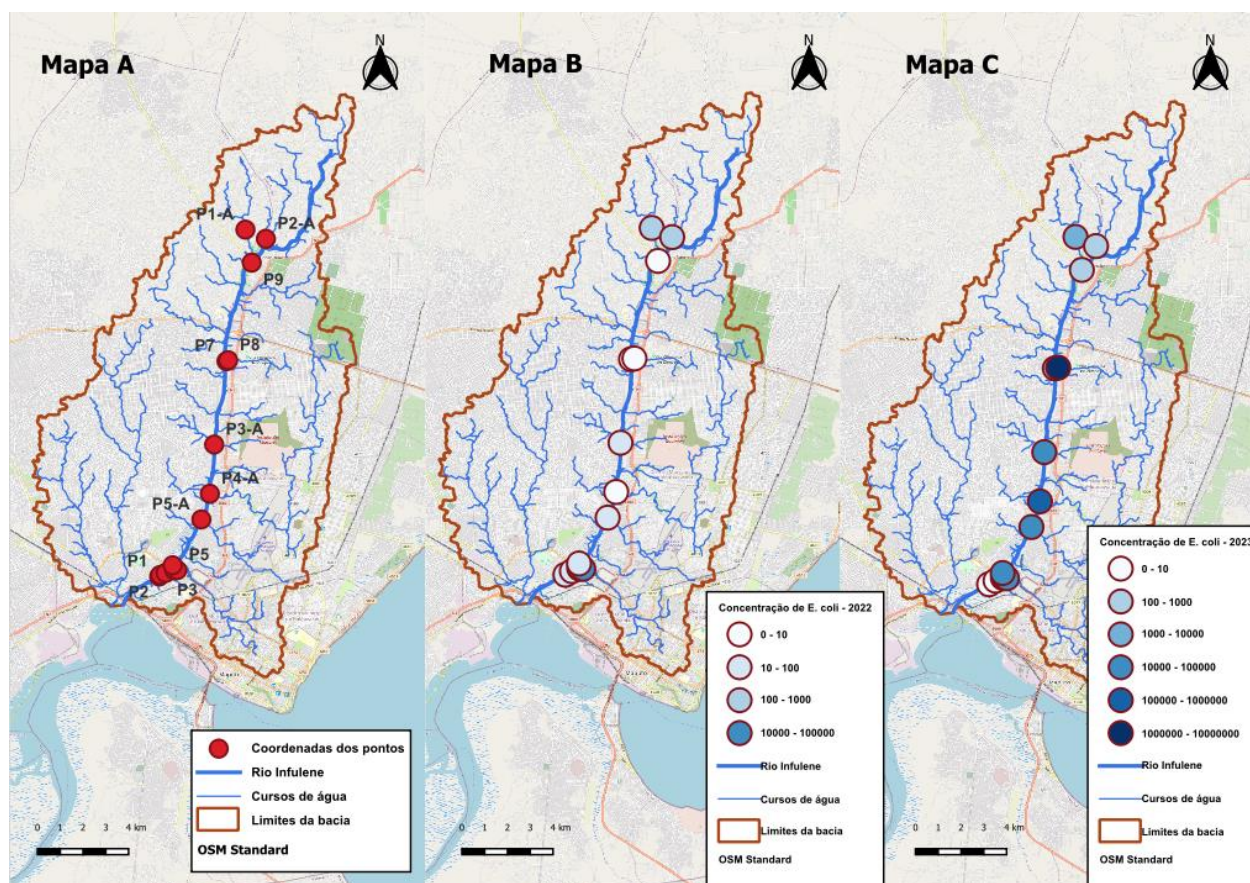


Figura 13 - Variação espaço-temporal de *E. coli*. Mapa A - Pontos de amostragem; Mapa B - Concentração de *E. coli* (2022); Mapa C - Concentração de *E. coli* (2023)

5.4. Considerações sobre a ocorrência de coliformes e resistência a antibióticos na bacia do Rio Infulene

O presente estudo de avaliação de ocorrência de coliformes demonstrou parte do cenário de qualidade da água da bacia do Rio Infulene. À partida, fez-se o trabalho de campo que possibilitou a visualização *in loco* das áreas passíveis de poluição por influência dos despejos directos de esgotos domésticos, efluentes industriais e provenientes da actividade agrícola e através dos parâmetros analisados, observou-se nos pontos de amostragem avaliados (Tabela 8; pág. 23) valores que indicam condições favoráveis à ocorrência de coliformes.

Os níveis de OD, DBO, nitratos e fosfatos (Figuras 4, 9, 7 e 8, respectivamente) apesar de não apresentar valores acima dos limites em todos os pontos, são uma consequência do escoamento superficial e lixiviação de contaminantes - cujo movimento de matéria orgânica aumenta no período chuvoso - no curso do rio. Esses factores, aliado aos níveis desses parâmetros influenciam o metabolismo e fornecem nutrientes essenciais que propiciam o desenvolvimento de microorganismos, entre os quais são encontrados os patogénicos.

No entanto, os teores de coliformes estão ligados à precária situação de saneamento, em que efluentes são lançados sem o devido tratamento, acentuado pelo facto do rio correr por zonas urbanizadas, o que aumenta o seu volume. Os valores foram alarmantes nos pontos próximos à ETAR do Zimpeto, saída das águas residuais da indústria cervejeira e na secção de mistura das águas do rio, águas do sistema de drenagem e águas residuais da indústria cervejeira, o que aponta que as águas deste rio não deviam ser consumidas, pelo menos sem tratamento prévio para tornar a água própria para o consumo.

A detecção de coliformes totais e *E. coli* indicam que o Rio Infulene continua sob contaminação fecal, pois os resultados mais baixos obtidos de 3.4×10^3 NMP/100 mL e 100 NMP/100 mL, respectivamente, já apontam para esse facto.

Como parte do estudo, fez-se análises de ESBL *E.coli* com o intuito de avaliar os níveis de resistência a antibióticos ao longo da bacia. Conforme pode-se ver na Figura 14 a seguir, embora tenha se registado uma diminuição na concentração média da primeira para a segunda campanha de amostragem, com excepção dos pontos em que não foram detectados, os valores variaram de 1×10^4 a 4.9×10^5 UFC/100 mL. Estes resultados,

representam um alerta importante, porque indicam a presença de bactérias resistentes a antibióticos ao longo do rio, principalmente nos pontos próximos às ETAR do Infulene, ETAR do Zimpeto e saída da indústria cervejeira, que evidencia o tratamento inefectivo dos efluentes. Além de reflectirem contaminação fecal, esses dados revelam um cenário de poluição ambiental nessas áreas.

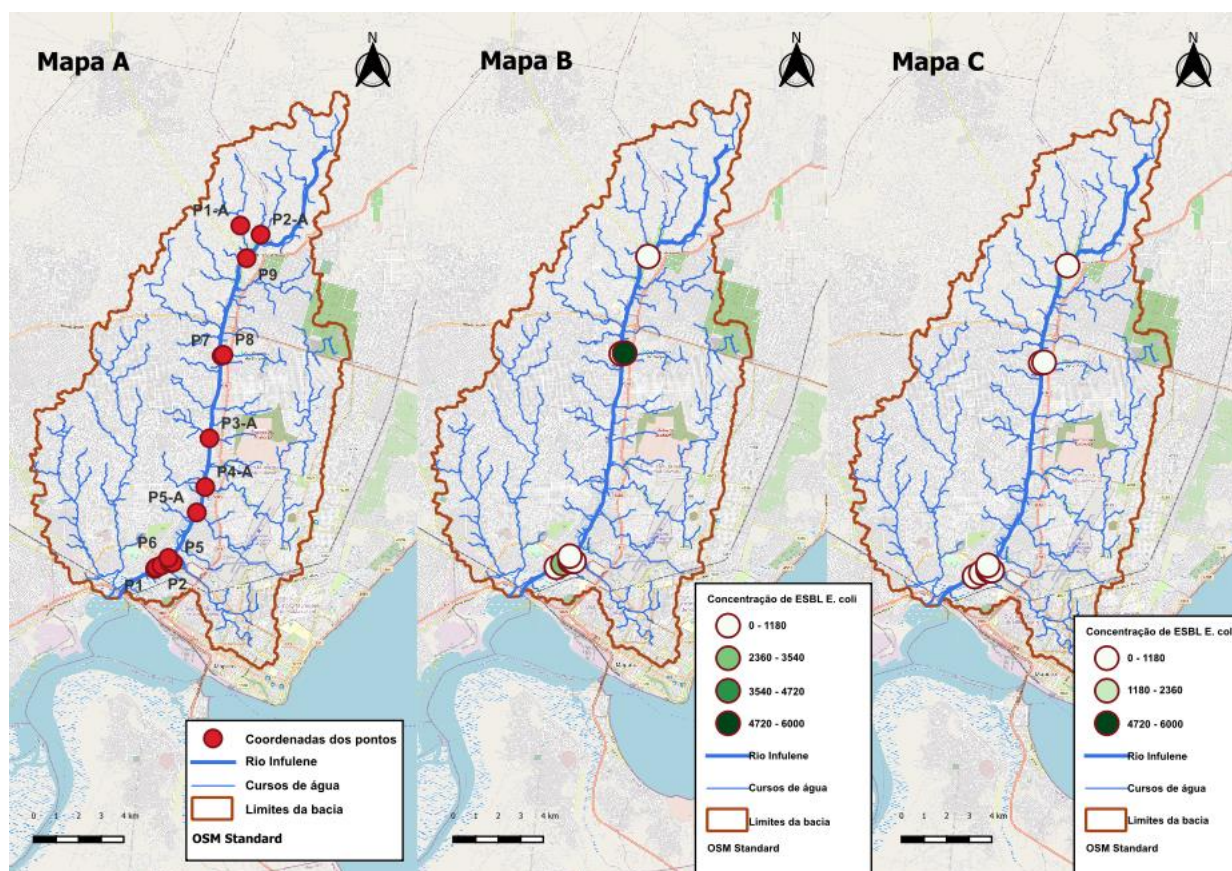


Figura 14 - Distribuição da ESBL *E. coli* ao longo da bacia do Rio Infulene. Mapa A – Pontos de amostragem; Mapa B – Concentração de ESBL *E. coli* (2ª Campanha); Mapa C – Concentração de ESBL *E. coli* (3ª Campanha)

A presença da ESBL *E. coli* no Rio Infulene representa um risco adicional à saúde pública, uma vez que essas bactérias promovem a disseminação de microorganismos persistentes à diversos antibióticos dificultando o tratamento de infecções, principalmente em humanos. As doenças de veiculação hídrica quando não controladas provocam sintomas clínicos que partem de desconforto estomacal, febre, vômitos e podem evoluir para desidratação e em casos mais graves provocar mortes. Igualmente, está-se diante de uma emergência de saúde global por conta da resistência antimicrobiana, que ocorre quando as bactérias, vírus e parasitas desenvolvem a

capacidade de defender-se às drogas designadas a combatê-las. Os rios podem se tornar reservatórios deste organismos e, nas condições desejáveis promover o seu desenvolvimento, cuja utilização das águas pode gerar um ciclo, por conta do contínuo despejo de efluentes carregados dos mesmos.

Os resultados obtidos reforçam a importância de monitoria da qualidade de água com maior atenção para a preservação da saúde ambiental, animal e humana. Em Moçambique, o Ministério da Saúde já desenvolveu algumas acções, a destacar o grupo de trabalho multidisciplinar denominado GARP-Moçambique, que faz parte de um grupo de parceria global de combate à resistência aos antibióticos. Esse grupo tinha por objectivo conhecer a dimensão da problemática da resistência aos antibióticos e do consumo irracional dos antibióticos no país. O Plano Nacional de Acção Contra a Resistência Antimicrobiana 2019-2023, alinhado à abordagem *One Health*, que envolve os sectores de saúde humana, animal e ambiental, inclui intervenções estratégicas para controlar a resistência antimicrobiana, bem como planos e processos de implementação de actividades.

No entanto, a presença de coliformes ao longo da bacia do Rio Infulene sugere que essas estratégias não tem sido efectivamente cumpridas. Tem-se ainda como desafios a pouca fiscalização do despejo de efluentes, condições de saneamento precárias e uso indiscriminado de antibióticos. Noutros países, como África do Sul e Ruanda, investimentos em infraestruturas de saneamento básico e vigilância multisectorial da resistência antimicrobiana, mostram o compromisso na melhoria de qualidade do ambiente e mitigação dos efeitos da resistência que, consequentemente, impacta na saúde e qualidade de vida da população.

É fundamental fortalecer a implementação dos planos de acção existentes em Moçambique. Contudo, pode-se adoptar medidas de controlo, com relação ao saneamento, tratamento de águas residuais e uso racional de antibióticos, a nível da bacia do Rio Infulene, tais como:

- Implantação de biodigestores nas zonas habitadas mais próximas à nascente, para reduzir o lançamento de resíduos e reduzir a carga de microorganismos e antibióticos no rio.

- Promoção de campanhas de sensibilização para reduzir o uso descontrolado de produtos químicos na actividade agrícola, com o objectivo de mitigar o aumento da resistência antimicrobiana.
- Criação de projectos de educação ambiental para consciencializar sobre os impactos de automedicação com antibióticos e descarte inadequado de resíduos.
- Monitoramento contínuo da qualidade de água para estimular acções preventivas, de modo a que a situação não se agrave.
- Concretização de parcerias entre o Governo, instituições de ensino e comunidade para criação de projectos com foco em soluções para o futuro.
- Melhoria do sistema de tratamento de águas residuais, incorporando o tratamento terciário ou avançado (oxidação por ozono, desinfecção por irradiação ultravioleta, osmose reversa, filtração por membranas) capazes de remover microorganismos resistentes, resíduos de antibióticos e outros poluentes.

6. CONCLUSÕES

A partir do cenário descrito no presente estudo, através dos parâmetros avaliados e da comparação com os resultados do estudo de Rapulua (2022) obtida pela análise espaço-temporal, foi possível confirmar o decaimento da qualidade de água da bacia do Rio Infulene e a existência de contaminação microbiológica por coliformes. À luz dos objectivos de pesquisa estabelecidos, pode-se concluir que:

- Feita as análises dos parâmetros físico-químicos verificou-se que em todas as amostras, os pontos P1, P4, P5 e P1-A, possui todos os parâmetros (com excepção de temperatura, pH e condutividade eléctrica) fora dos intervalos recomendados pelo Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho, por conta da situação de saneamento básico acrescido pela contribuição das fontes de descarga de efluentes.
- Em ambas as estações, os seguintes parâmetros apresentaram peculiaridades: o oxigénio dissolvido apresentou valores mais baixos na época húmida (abaixo de 5 mg/L), quando comparados aos obtidos na época seca, em todos os pontos. A condutividade eléctrica do ponto próximo à indústria cervejeira (ponto P4) apresentou valores mais elevados (acima de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) diferentemente de todos os outros pontos analisados que não atingiam os 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os resultados acima do padrão dos parâmetros nitratos, fosfatos e DBO mostram a influência da actividade agrícola e esgotos descarregados ao longo da bacia.
- Embora a discussão de resultados tenha considerado a sazonalidade, esta não influenciou significativamente no comportamento dos parâmetros, sugerindo que outros factores ambientais e antropogénicos têm maior impacto na qualidade da água da bacia do Rio Infulene. Não foi possível constatar que as concentrações de oxigénio dissolvido, nitratos, fosfatos ou demanda bioquímica de oxigénio quando abundantes no período chuvoso, mudam o seu comportamento com a mudança de época, e vice-versa.
- A presença de *E. coli* indica que a água do Rio Infulene está sob contaminação fecal, o que representa um risco à saúde pública, pois pode conter microorganismos causadores de doenças. Das análises realizadas, todas as amostras foram positivas (com valores muito superiores aos limites definidos por legislação: Tabela 7; pág. 19) na detecção de coliformes totais e *E. coli*, onde as maiores densidades foram encontradas em áreas próximas às ETAR (do Infulene e do Zimpeto) e descarga da indústria cervejeira.

- A detecção de *E. coli* produtora de ESBL reforça a gravidade da situação, pois evidenciou a contaminação das águas do Rio Infulene por bactérias que propiciam a resistência antimicrobiana, que é uma emergência de saúde global e representa uma ameaça cada vez aturada ao tratamento de infecções.
- A análise espaço-temporal dos parâmetros permitiu confirmar que a situação da qualidade da água do rio Infulene tende a se tornar cada vez mais crítica, associada à densidade populacional e às deficiências no sistema de saneamento básico. Essa conclusão é sustentada pela verificação, na maioria dos pontos de amostragem, de alterações nos parâmetros físico-químicos e de aumentos significativos na contagem de indicadores microbiológicos (coliformes totais, *E. coli* e ESBL *E. coli*) ao integrar os dados das campanhas de 2022 e 2023.

Posto isso, a monitoria contínua das águas da bacia do Rio Infulene é necessária pois permite salvaguardar a qualidade e através da identificação das fontes e controlo de poluição, reduz-se a pressão sobre o Governo em lidar com problemas ambientais ou de saúde pública e, no lugar disso, investir em saneamento e melhoria das condições de vida da população. O estudo reforça a necessidade de acções para reverter a tendência de degradação das águas da bacia do Rio Infulene.

6.1. Recomendações

Considera-se pertinente sugerir para investigação em possíveis trabalhos futuros:

- Ampliar as análises laboratoriais, para detectar os antibióticos específicos e poder identificar quais estão em concentração significativa e constituem risco à saúde pública.
- Fazer correlação entre os antibióticos usados em actividades agrícolas e os microorganismos resistentes presentes na bacia do Rio Infulene, para obter o impacto.
- Fazer análises da água consumida e alimentos irrigados com água do Rio Infulene para perceber a magnitude da exposição dos humanos aos coliformes e resistência antimicrobiana.
- Realizar uma campanha nos meses de Fevereiro ou Março, período caracterizado por precipitação intensa, a fim de avaliar de forma mais significativa o impacto da época húmida sobre a qualidade da água do rio Infulene.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Badaii, F., Shuhaimi-Othman, M., & Gasim, M. B. (2013). Water quality assessment of the Semenyih river, Selangor, Malaysia. *Journal of Chemistry*, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2013/871056>
- American Public Health Association. (2017). *Standard Methods: For the Examination of Water and Wastewater* (R. B. Baird, A. D. Eaton, & E. W. Rice, Eds.; 23rd ed., Vol. 186, Issue 1). American Public Health Association. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(90\)90598-4](https://doi.org/10.1016/0003-2697(90)90598-4)
- Andrietti, G., Freire, R., Do Amaral, A. G., De Almeida, F. T., Bongiovani, M. C., & Schneider, R. M. (2016). Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 11(1), 162–175.
- ASCLME. (2012). National Marine Ecosystem Diagnostic Analysis. In *Mozambique Contribution to the Agulhas and Somali Current Large Marine Ecosystem Project*.
- Baird, C., & Cann, M. (2011). *Química Ambiental* (M. T. Grassi, Ed.; 4th ed.). Bookman.
- Berthe, T., Ratajczak, M., Clermont, O., Denamur, E., & Petit, F. (2013). Evidence for coexistence of distinct *Escherichia coli* populations in various aquatic environments and their survival in estuary water. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(15), 4684–4693. <https://doi.org/10.1128/AEM.00698-13>
- Bonifácio, C. M., & De Nóbrega, M. T. (2021). Parâmetros de qualidade da água no monitoramento ambiental. *Recursos Hídricos: Gestão, Planejamento e Técnicas Em Pesquisa*, 219–232. <https://doi.org/10.37885/21080581>
- Braga, B., & Hespanhol, I. (2005). *Introdução à Engenharia Ambiental* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Da Silva, A. B., De Brito, J. M., & Da Silva Filho, E. D. (2020). Microbiologia ambiental: monitoramento bacteriológico da água de um poço artesiano localizado no “sítio Bagaceira” em Areia-PB. *Águas Subterrâneas*, 34(1), 1–7. <https://doi.org/10.14295/ras.v34i1.29776>
- De Freitas, M. B., Brilhante, O. M., & De Almeida, L. M. (2001). Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque

- para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Análise de Água e Saúde Pública*, 17(3), 651–660.
- De Oliveira, L. N., & Da Silva, C. E. (2014). Qualidade da Água do Rio Poti e suas Implicações para Atividade de Lazer em Teresina-PI. *Revista Equador (UFPI)*, 3(1), 128–147.
- De Siqueira, C. G., Lima, T. M., & Dos Santos, M. (2022). Potabilidade da água de poços artesianos em comunidades rurais do agreste sergipano. *Agua Subterraneas*, 35(3), 1–9. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30112>
- Dos Santos, P. H. (2022). *Avaliação temporal da qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento do esgoto sanitário de Rio Claro/SP*. Universidade Estadual Paulista.
- Eglitis, L. (2024, March). *Clima em Cidade de Maputo (Moçambique)*. Dados Mundiais. <https://www.dadosmundiais.com/africa/mocambique/clima-cidade-de-maputo.php>
- Environmental Protection Agency. (2006). *Total Coliform Rule: A Handbook for Small Noncommunity Water Systems serving less than 3,300 persons*. www.epa.gov/safewater
- Fernando BS. (2019). *Qual é o impacto ambiental do Fosfato na Água?* Blog 2 Engenheiros.
- Glazer, A. N., & Nikaido, Hiroshi. (2007). *Microbial Biotechnology: Fundamentals of Applied Microbiology* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Gonçalves, P. T. (2013). *Avaliação Espacial e Temporal da Qualidade da Água da Sub-bacia do Rio Ivinhema, MS*. Universidade Federal da Grande Dourados.
- Jewell, T., & Biggers, A. (2017). *ESBLs (Extended Spectrum Beta-Lactamases)*. Healthline Media.
- Locatelli, M. A. F. (2011). *Avaliação da presença de antibióticos e drogas ilícitas na bacia do Rio Atibaia*. Universidade Estadual de Campinas.
- Lucas, A. A. T., Folegatti, M. V., & Duarte, S. N. (2010). Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(9), 937–943.

- Miller Jr., G. T. (2012). *Ciência Ambiental* (W. B. C. Delitti, Ed.; 11th ed.). Cengage Learning.
- Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde. (2006). *Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano*. www.saude.gov.br
- Mocuba, J. J. (2010). *Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand in the waters close to the Quelimane sewage discharge*. University of Bergen.
- Murray, C. J., Ikuta, K. S., Sharara, F., Swetschinski, L., Robles Aguilar, G., Gray, A., Han, C., Bisignano, C., Rao, P., Wool, E., Johnson, S. C., Browne, A. J., Chipeta, M. G., Fell, F., Hackett, S., Haines-Woodhouse, G., Kashef Hamadani, B. H., Kumaran, E. A. P., McManigal, B., ... Naghavi, M. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *The Lancet*, 399(10325), 629–655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
- Mutatisse, C., Scarlet, M. P., Bandeira, S., Mubai, M., Gulamussen, N., & Campira, J. (2022). *Assessment of Pollution in Mozambique*.
- Nascimento, E. D. do. (2016). *Resistência bacteriana em reservatório do semiárido brasileiro: caracterização, ação para vigilância ambiental, prevenção e educação em saúde*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Neves e Castro, P. B. (2018). *Antibióticos e o ecossistema fluvial [manuscrito]: um estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Caratinga - MG*. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Nhantumbo, H. F. (2022). *Avaliação da Contaminação Microbiológica do Sistema de Drenagem na Região da Bacia do Rio Infulene*. Universidade Eduardo Mondlane.
- Okafor, N. (2011). *Environmental Microbiology of Aquatic and Waste Systems* (Vol. 1). Springer Science+Business Media.
- Organização Mundial da Saúde. (2017a). *Diretrizes para a Qualidade da Água Potável* (4th ed.). OMS.
- Organização Mundial da Saúde. (2017b). *OMS recomenda que agricultores e indústria alimentar parem de usar antibióticos em animais saudáveis para evitar resistência a esses medicamentos*. Organização Pan-Americana Da Saúde.

- Örn, S., Fernström, L.-L., Golovko, O., Ahrens, L., Hansson, I., & Frosth, S. (2019). Screening of faecal bacteria and antibiotic resistance in urban wastewater and recipient river surface water. *National Environmental Monitoring*, 1–22.
- Pfafflin, J. R., & Ziegler, E. N. (2006). *Encyclopedia of Environmental Science and Engineering: Vols. I & II* (Fifth). CRC Press. <https://doi.org/10.1126/science.212.4499.1131-a>
- Pinto, A. L., De Oliveira, G. H., & Pereira, G. A. (2010). AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO COMO PRINCIPAL INDICADOR DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO CÓRREGO BOM JARDIM, BRASILÂNDIA/MS. *GEOMAE*, 1(1), 69–82.
- Ramos, A. de S., De Oliveira, V. de P. S., & Araújo, T. M. de R. (2019). Qualidade da Água: Parâmetros e Métodos mais utilizados para Análise de Água de Recursos Hídricos Superficiais. *Holos Environment*, 19(2), 205–219. <https://doi.org/10.14295>
- Rapulua, S. J. (2022). *Avaliação da qualidade da água do Rio Infulene*. Universidade Eduardo Mondlane.
- Rodrigues, M. B. M. (2023). *Evaluation of the Water Quality of the Infulene River Basin*. Eduardo Mondlane University.
- Salamandane, A., Vila-Boa, F., Malfeito-Ferreira, M., & Brito, L. (2021). High fecal contamination and high levels of antibiotic-resistant enterobacteriaceae in water consumed in the city of Maputo, Mozambique. *Biology*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/biology10060558>
- Salência-Ferrão, J., Chissaque, A., Manhique-Coutinho, L., Kenga, A. N., Cassocera, M., & de Deus, N. (2025). Inappropriate use of antibiotics in the management of diarrhoea in children under five years admitted with acute diarrhoea in four provinces of Mozambique 2014–2019. *BMC Infectious Diseases*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12879-025-10597-z>
- Spinosa, H. S., Górnjak, S. L., & Bernardi, M. M. (2017). *Farmacologia Aplicada à Medicina Veterinária* (6th ed.). Guanabara Koogan.
- Stradioto, M. R., Teramoto, E. H., & Chang, H. K. (2019). NITRATO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Revista Do Instituto Geológico*, 40(3), 1–12.

- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, Christine L. (2012). *Microbiologia* (F. G. Da Fonseca, Ed.; 10th ed.). Artmed.
- Uddin, M., Alam, M., Mobin, M., & Miah, M. (2014). An Assessment of the River Water Quality Parameters: A case of Jamuna River. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 7(1), 253–260. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v7i1.22179>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2017). *Water Quality Standards Handbook* (EPA Office of Water & Office of Science and Technology, Eds.). EPA.
- Von Sperling, M. (1996). *Introdução à qualidade de água e tratamento de esgoto* (2nd Edition).
- Water Research Center. (2020). *Water Quality Tests Summary*. [Http://Www.Water-Research.Net/Watrqualindex/Index.Htm](http://www.Water-Research.Net/Watrqualindex/Index.Htm).
- Wingqvist, G. (2011). Environment and Climate Change Policy Brief – Mozambique Generic outline. In *Sida's Heslpdesk for Environment and Climate Change* (pp. 1–15).

ANEXOS

ANEXO 1 – Materiais e métodos

A1-1 - Amostragem e medição de parâmetros de campo - pH, oxigénio dissolvido, temperatura e condutividade eléctrica

Materiais

- Amostrador;
- Máscara;
- Bata;
- Botas;
- Luvas de látex;
- Garrafas plásticas para amostragem (500 mL);
- Caixa térmica para armazenamento;
- Marcador permanente;
- Bloco de notas;
- Canetas.

Equipamento

- Medidor multiparamétrico portátil HACH HQ40d;

Procedimentos

As amostras de água foram colectadas na superfície do rio, com recurso a um amostrador com capacidade de perto de 1,5 litros com a abertura posicionada no sentido contrário ao fluxo, e depois colocada em garrafas plásticas codificadas de 500 mL de capacidade. Após a colheita, as amostras foram preservadas em caixa térmica (contendo gelo) da qual após o fim do trabalho de campo foram levadas ao laboratório e conservadas até ao momento da análise.

A medição de parâmetros de campo foi feita com recurso ao medidor multiparamétrico portátil HACH HQ40d, cujas sondas foram introduzidas no rio para a leitura do parâmetro requerido e depois procedeu-se com o registo dos valores obtidos no bloco de notas.

A1-2 - Determinação de Coliformes

Para a presente análise foi usado o Kit Colilert (Colilert-18 Test).

Materiais

- Balões volumétricos de 100 mL;
- Micropipeta capacidade (100 e 1000 µL);

Equipamentos

- Quanti-Tray Sealer (IDEXX);
- Incubadora (BIOBASE).

Reagentes

- Água destilada;
- Reagente para Colilert (Colilert-18 Test).

Procedimentos

- Previamente, procedeu-se com a lavagem e esterilização dos balões volumétricos de 100 mL.
- Garantiu-se que as amostras estivessem a temperatura 20°C antes de iniciar com os procedimentos a seguir.
- Agitou-se os 500 mL da amostra e dependendo do ponto preparou-se 100 mL de solução com uma diluição entre 1:10, 1:100, 1:10³, 1:10⁴, 1:10⁵ e 1:10⁶.
- Adicionou-se uma ampola de reagente Colilert no balão de 100 mL e agitou-se suavemente até o reagente dissolver.
- De seguida, colocou-se cuidadosamente a solução na cartela e fez-se passar pela seladora Quanti-Tray Sealer.
- Colocou-se a cartela no banho maria a temperatura de 45°C durante 10 minutos e depois passou para a incubadora a 35°C, onde permaneceu por 18 horas.
- A leitura dos coliformes procedeu-se contabilizando a quantidade de compartimentos (grandes e pequenos) na cartela que apresenta coloração amarela que indicam a presença de coliformes totais, e daí, se efectuava a relação com a tabela para determinar o número mais provável.
- Para detectar a presença do *E. Coli*, colocou-se, num espaço escuro, a cartela sob luz ultravioleta e contou-se o número de compartimentos que apresentava fluorescência, que a partir do qual determinou-se o número mais provável.

A1-3 – Determinação de Demanda bioquímica de oxigénio

O método usado na determinação de **DBO** foi o teste de DBO de 5 dias a 20°C.

Materiais

- 46 garrafas de DBO de 300 mL;
- 1 balão volumétrico de 10 L;
- 1 proveta de 100 mL;
- 1 proveta de 1000 mL.

Reagentes

- 30 L de água destilada;
- 30 mL de solução tampão fosfato;
- 30 mL de solução de sulfato de magnésio;
- 30 mL de solução de cloreto de cálcio;
- 30 mL de solução de cloreto de ferro.

Equipamentos

- 1 Incubadora a 20±3°C;
- 1 medidor multiparamétrico HACH HQ40d.

Procedimentos

- Garantiu-se que a sala estivesse climatizada a 20°C antes de se iniciar com os trabalhos.
- Preparou-se 10 L de água de diluição, colocando no balão volumétrico, 10 L de água destilada juntamente com 10 mL cada de solução tampão fosfato, sulfato de magnésio, cloreto de cálcio e cloreto de ferro. De seguida, agitou-se muito bem.
- Colocou-se a água de diluição e as amostras a analisar na incubadora a 20±3°C por 1 hora para ajustar a temperatura.
- Diluiu-se as amostras, de acordo com a instrução (25% a 100% para águas fluviais poluídas) e preparou-se nas garrafas de DBO três réplicas por cada amostra. Igualmente, preparou-se uma garrafa contendo apenas a água de diluição.
- Encheu-se completamente cada garrafa adicionando água de diluição suficiente e fechou-se, tapando, muito bem.
- Ligou-se o medidor multiparamétrico, conectou-se a sonda correspondente ao parâmetro de oxigénio dissolvido e mediu-se em cada uma das garrafas.

- Depois de se verificar que as garrafas estavam bem seladas, levou-se à incubadora a $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ por 5 dias.
- Após os 5 dias, mediu-se novamente o oxigénio dissolvido nas amostras e no branco e registou-se os respectivos resultados.

É de salientar que o ensaio de DBO foi realizado três vezes em diferentes dias, pois as amostras de água do rio, foram colhidas em diferentes dias, que correspondem a três trabalhos de campo realizados em determinados pontos.

A posterior, o cálculo de DBO fez-se aplicando a fórmula:

$$DBO_5 = \frac{OD_1 - OD_5}{P}$$

Onde:

OD_1 - oxigénio dissolvido da amostra diluída imediatamente após a preparação (em mg/L)

OD_5 – oxigénio dissolvido da amostra diluída após 5 dias de incubação a 20°C (em mg/L);

P – fracção volumétrica da amostra utilizada ou factor de diluição.

De salientar que os valores de oxigénio dissolvido por cada ponto provém da média dos resultados em cada três réplicas.

A1-4 – Determinação de Fosfatos

Materiais

- Espectrofotómetro HACH DR3900;
- 2 cubetas de 10 mL;
- Proveta de 25 mL;
- Tubos de ensaio.

Reagentes

- Água destilada;
- Reagente de fosfatos - HACH Phosver3.

Equipamento

- Espectrofotómetro HACH DR3900.

Procedimentos

- Garantiu-se que as amostras estivessem a temperatura ambiente antes de iniciar com os passos subsequentes.
- Ligou-se o espectrofotómetro e seleccionou-se o programa **540 P react. HR TNT** para leitura.
- Preparou-se duas amostras para cada ponto (com a respectiva diluição se necessária), rotulou-se e transferiu-se para as cubetas a quantidade de 10 mL.
- Adicionou-se o reagente numa das cubetas e agitou-se durante 30 segundos. De seguida, deixou-se reagir durante 2 minutos.
- Posto isso, limpou-se a cubeta com o branco e introduziu-se no espectrofotómetro para zerar e depois limpou-se a cubeta com a amostra mais o reagente e procedeu-se com a leitura, cujo valor estava expresso em mg/L PO_4^{3-} .

A1-5 – Determinação de Nitratos

Materiais

- Espectrofotómetro HACH DR3900;
- 2 cubetas de 10 mL;
- Proveta de 25 mL;
- Tubos de ensaio.

Reagentes

- Água destilada;
- Reagente de nitratos - HACH NitraVer5.

Equipamento

Espectrofotómetro HACH DR3900.

Procedimentos

- Garantiu-se que as amostras estivessem a temperatura ambiente antes de iniciar com os procedimentos subsequentes.
- Ligou-se o espectrofotómetro e seleccionou-se o programa **344 N nitrato HR TNT** para leitura.
- Preparou-se duas amostras para cada ponto (com a respectiva diluição se necessária), rotulou-se e transferiu-se para as cubetas a quantidade de 10 mL.
- Adicionou-se o reagente numa das cubetas e agitou-se durante 1 minuto. De seguida, deixou-se reagir durante 5 minutos.
- Posto isso, limpou-se a cubeta com o branco e introduziu-se no espectrofotómetro para zerar e depois limpou-se a cubeta com a amostra mais o reagente e procedeu-se com a leitura, cujo valor estava expresso em mg/L NO_3^- -N.

A1-6 – Determinação de ESBL *E.coli*

Este ensaio tinha por objectivo determinar a resistência a antibióticos através da detecção de *E. coli* produtora da enzima β -lactamase de espectro estendido (ESBL *E. coli*), usando o meio de cultura antecedido de filtração por membrana.

Materiais

- Balões volumétricos de 100 mL;
- Pinça;
- Bico de Bunsen;
- Placas de Petri;
- Filtros de membrana com 47 mm de diâmetro e poro de 0,45 μ m;
- Micropipetas com capacidade 100 e 1000 μ L;
- Frasco de filtro a vácuo de 1 L com tubulação apropriada;
- Papel de alumínio.

Equipamentos

- Incubadora (BIOBASE);
- Bomba a vácuo eléctrica;
- Filtro (sistema) por membrana de aço inoxidável.

Reagentes

- Meio de cultura cromogénico (CHROMagar™ ESBL);
- Álcool a 70% .

Procedimentos

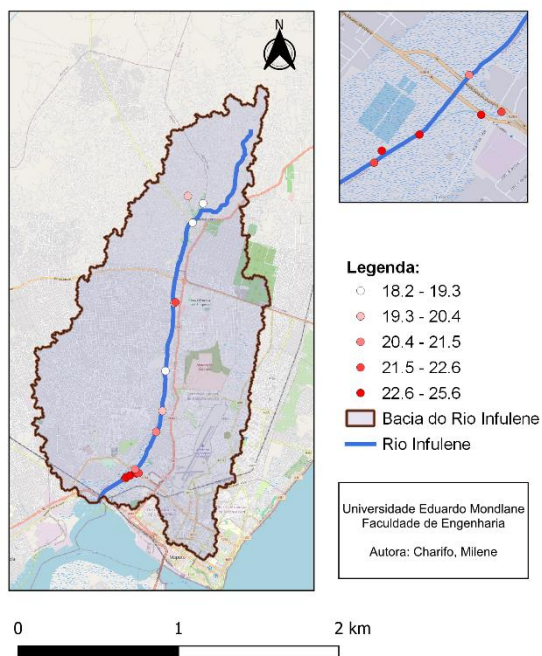
- Previamente, procedeu-se com a lavagem e esterilização dos balões volumétricos de 100 mL. A disposição dos mesmos foi feita perto de cada uma das amostras devidamente codificadas.
- Garantiu-se que as amostras, bem como o ambiente de trabalho (laboratório), estivessem a temperatura de 20 °C antes de iniciar com os procedimentos subsequentes.
- Agitou-se a amostra e dependendo do ponto preparou-se 100 mL de solução com uma diluição entre 1:10, 1:100, 1:10³, 1:10⁴, 1:10⁵ & 1:10⁶, considerando a carga de bactérias que pode apresentar.
- Preparou-se o filtro, passando sempre álcool no sistema de filtração e passando a pinça pelo bico de Bunsen, como forma de evitar contaminação.
- Acoplou-se o filtro ao sistema, adicionou-se a amostra e filtrou-se.

- Terminado o processo, retirou-se o filtro para a placa de Petri com meio de cultura, passando sempre álcool no sistema de filtração e passando a pinça pelo bico de Bunsen, como forma de evitar contaminação.
- Fechou-se muito bem e envolveu-se a placa com papel de alumínio e levou-se a incubar na estufa a 43°C por 24 horas.
- Por fim, contou-se a olho nu o numero de colónias rosa escuro avermelhado, a partir do qual determinou-se a unidade formadora de colónias.

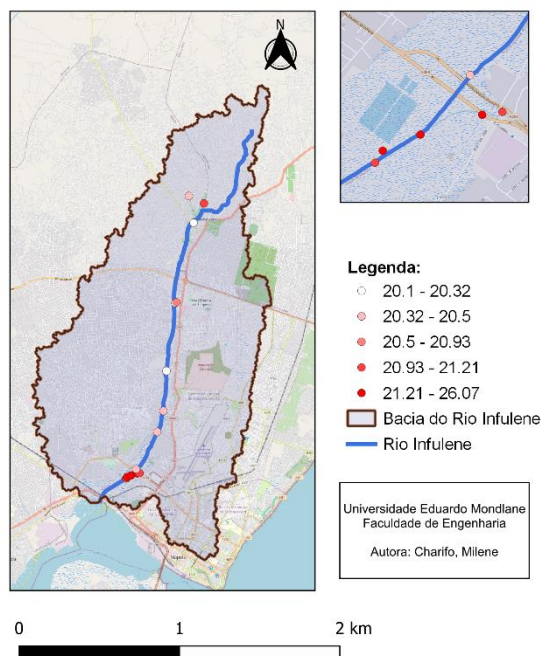
ANEXO 2 - Distribuição espacial dos resultados dos parâmetros avaliados ao longo das campanhas

A2-1 – Distribuição espacial da Temperatura

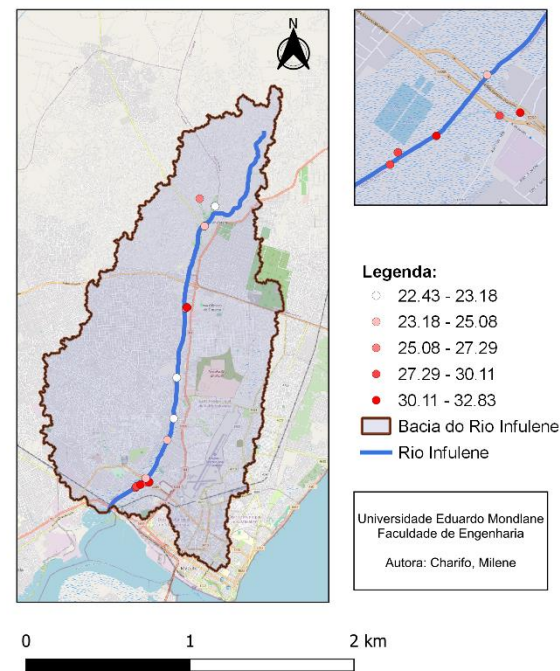
1ª Campanha



2ª Campanha

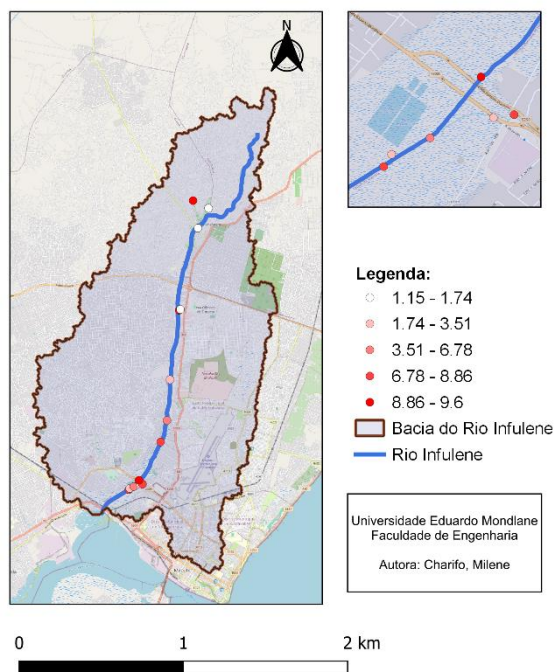


3ª Campanha

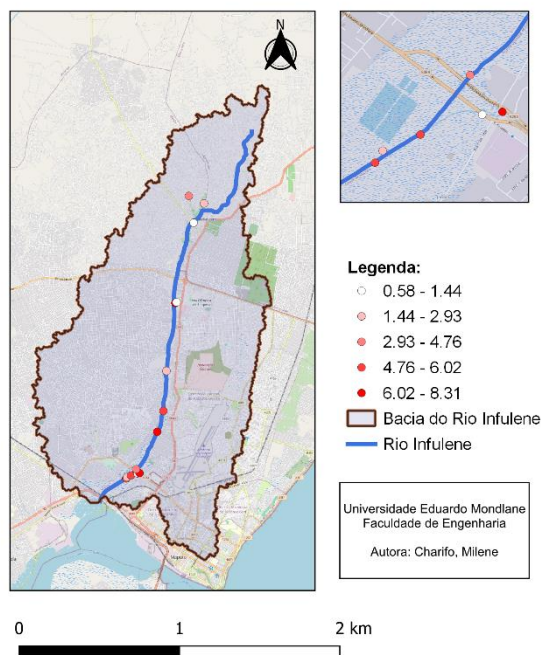


A2-2 – Distribuição espacial do Oxigénio dissolvido

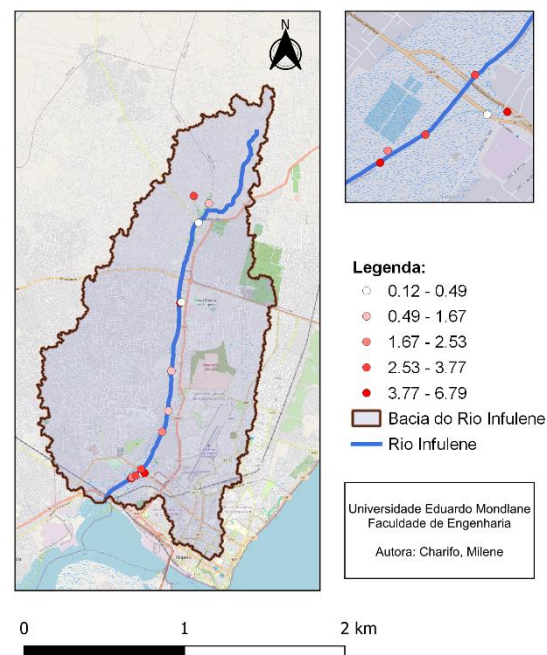
1ª Campanha



2ª Campanha

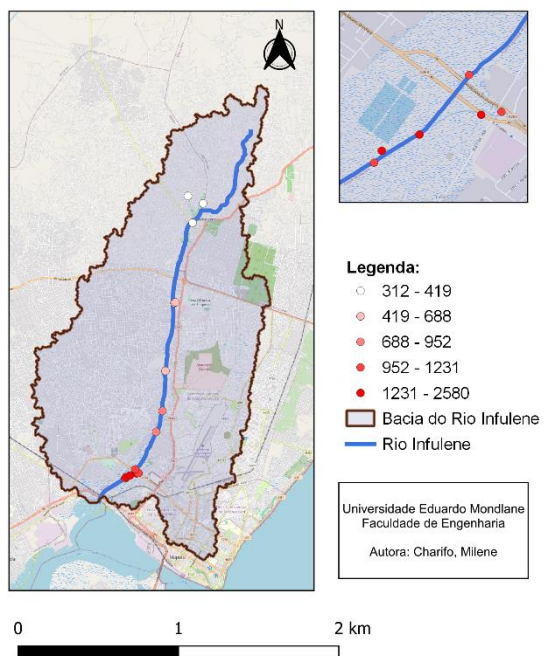


3ª Campanha

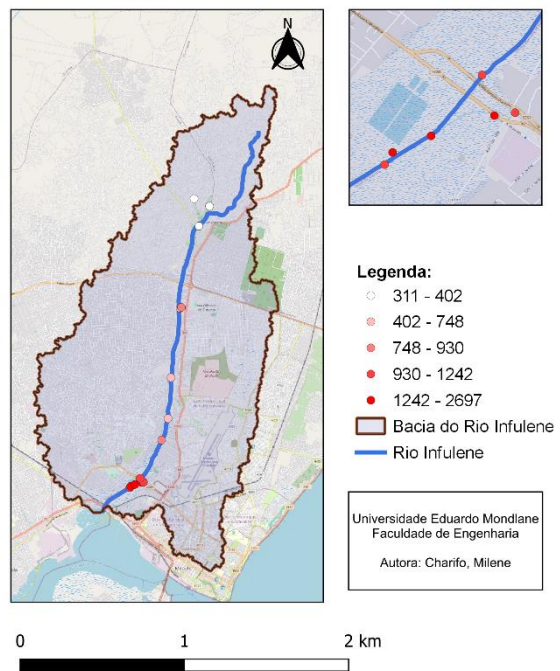


A2-3 – Distribuição espacial da Conductividade eléctrica

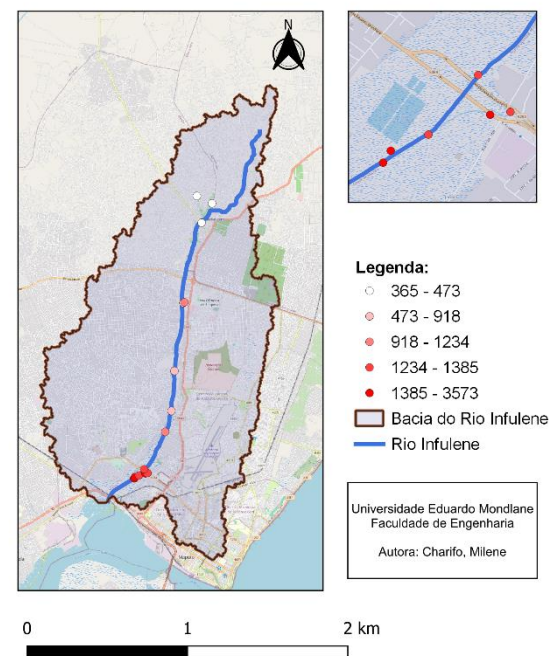
1ª Campanha



2ª Campanha

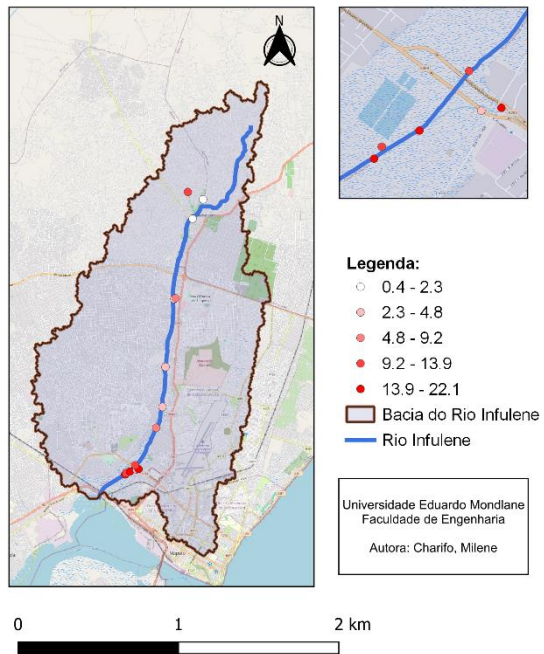


3ª Campanha

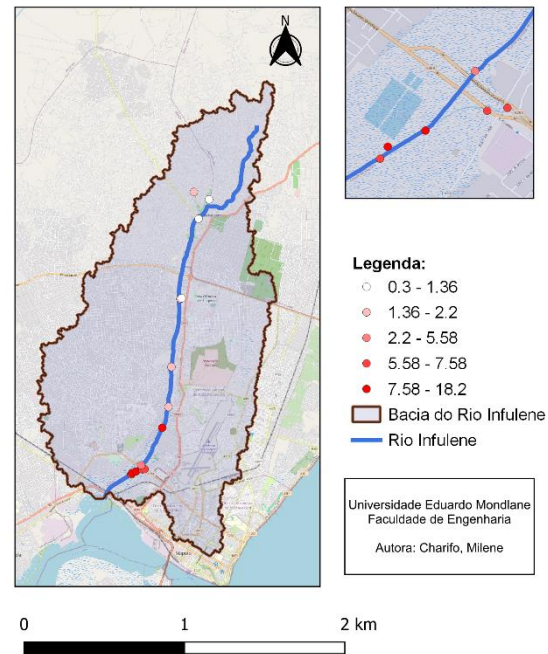


A2-4 – Distribuição espacial de Nitratos

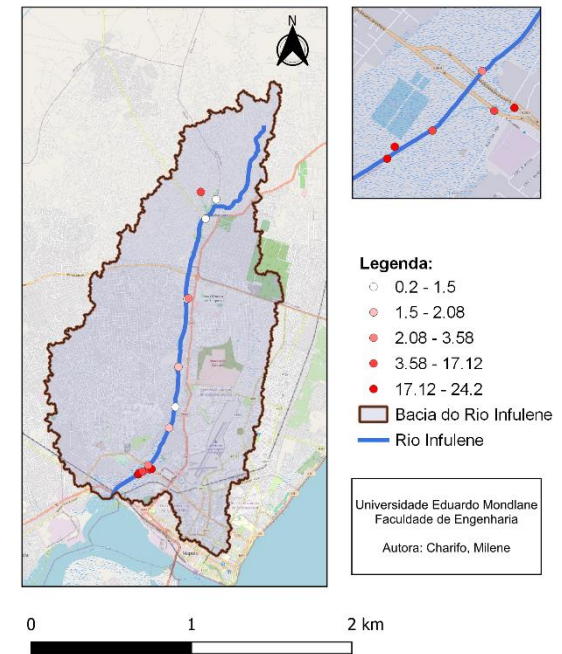
1ª Campanha



2ª Campanha

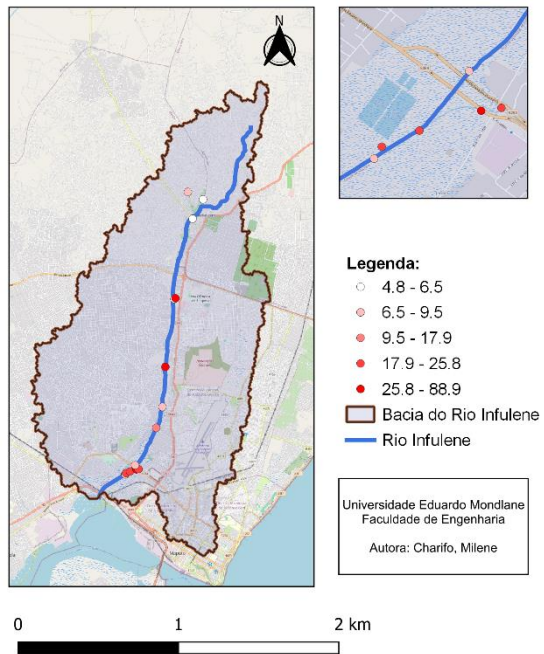


3ª Campanha

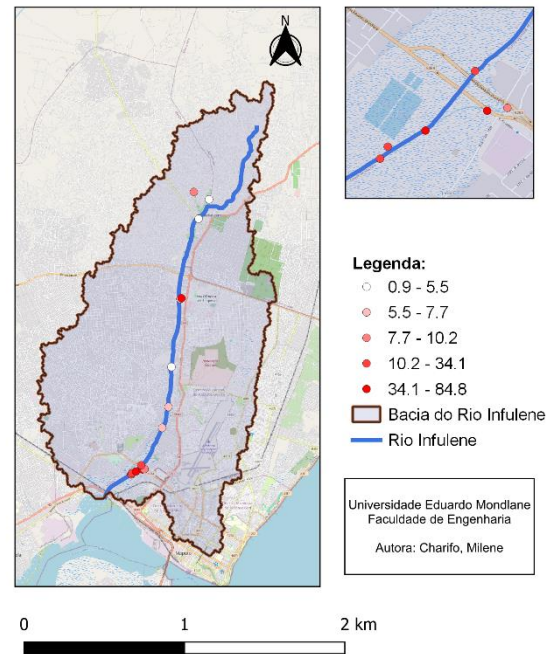


A2-5 – Distribuição espacial de Fosfatos

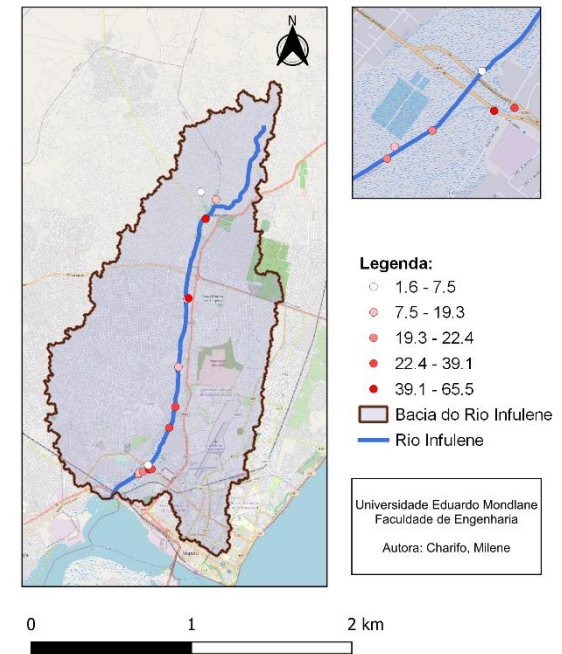
1ª Campanha



2ª Campanha

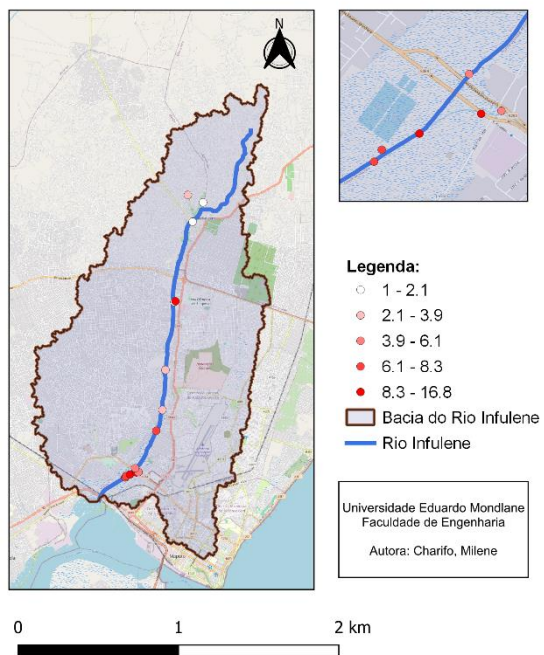


3ª Campanha

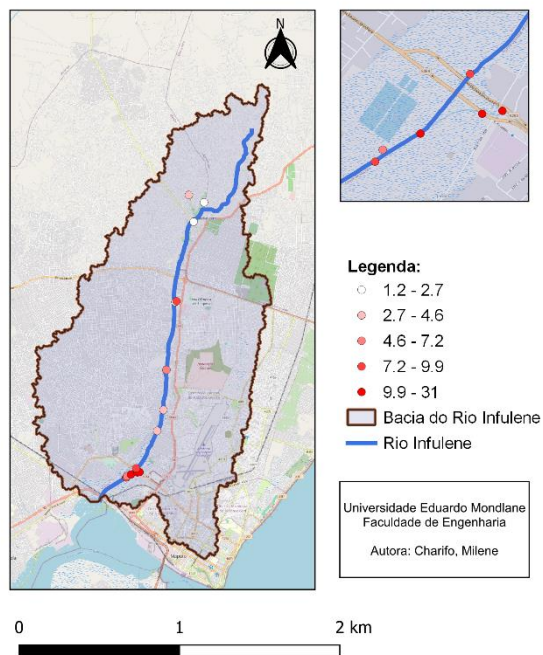


A2-6 – Distribuição espacial de Demanda bioquímica de oxigénio

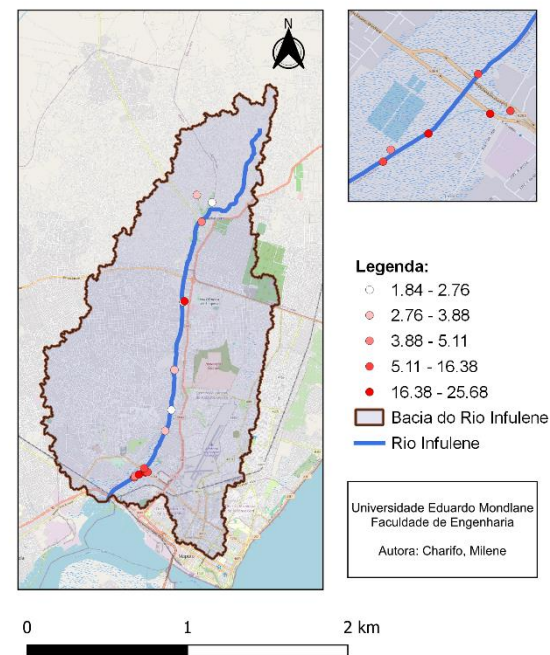
1ª Campanha



2ª Campanha

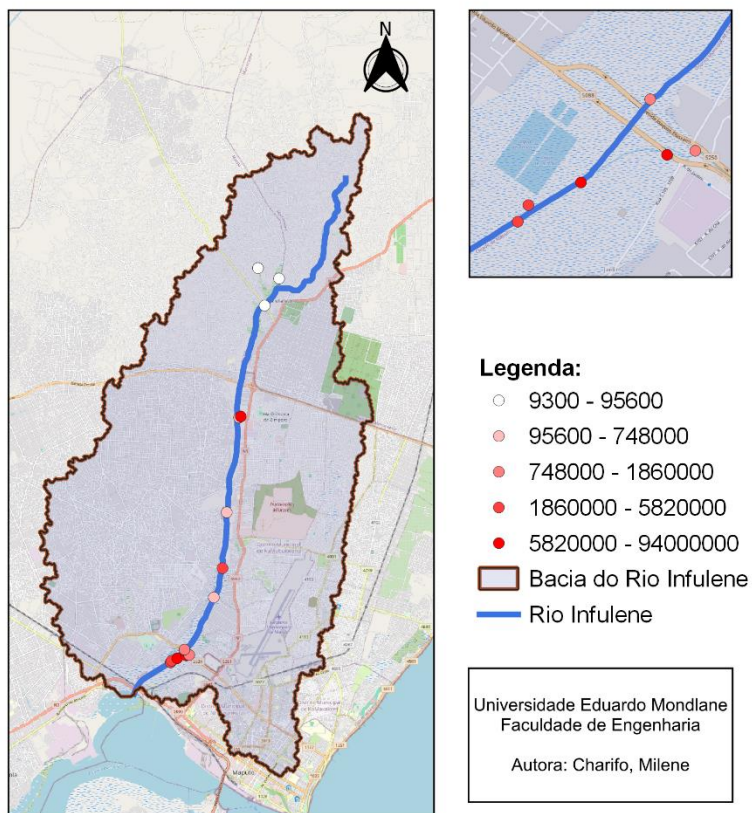


3ª Campanha



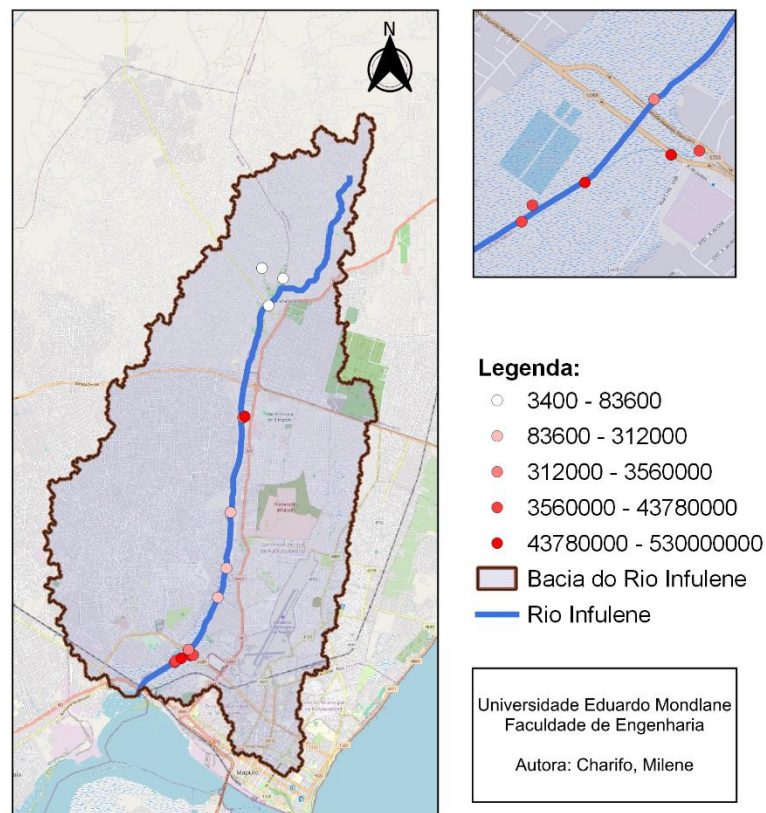
A2-7 – Distribuição espacial de Coliformes totais

2ª Campanha



0 1 2 km

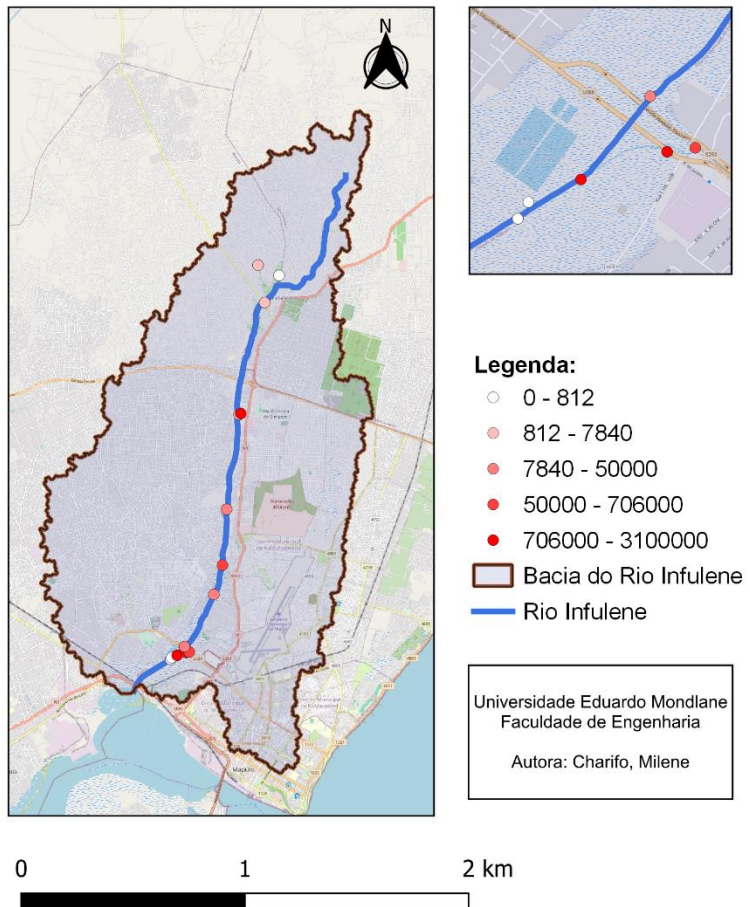
3ª Campanha



0 1 2 km

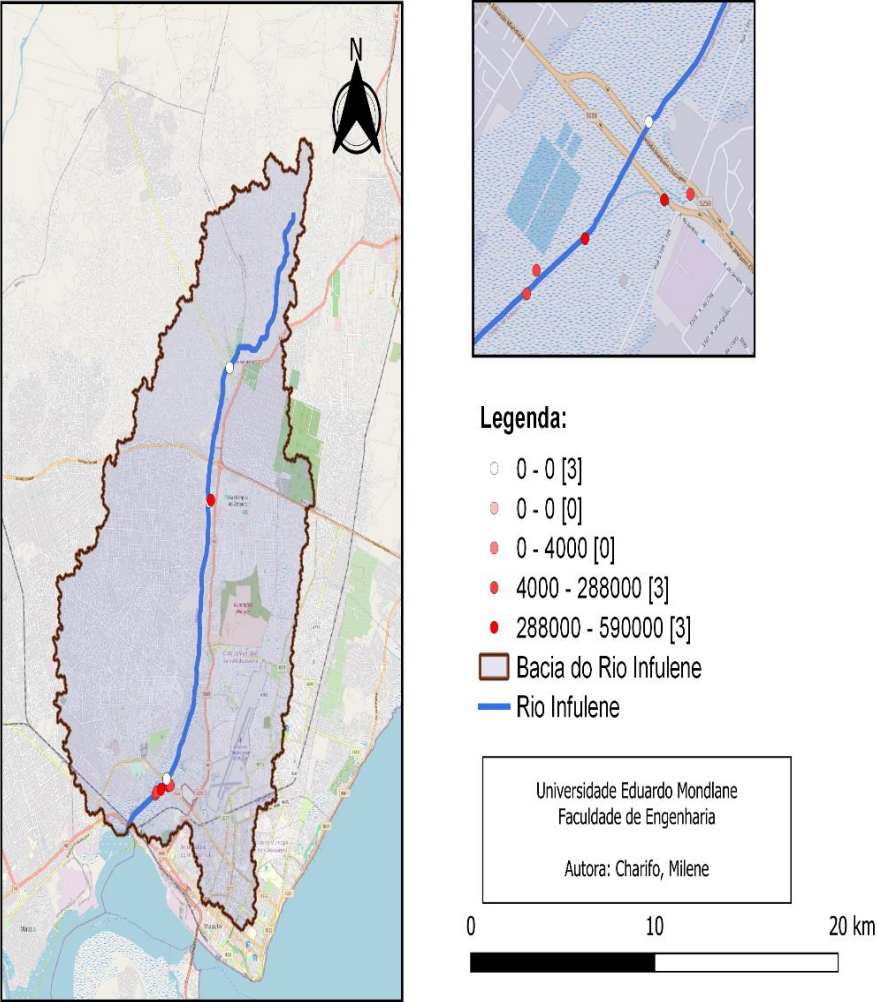
A2-8 – Distribuição espacial de *Escherichia coli*

2ª Campanha

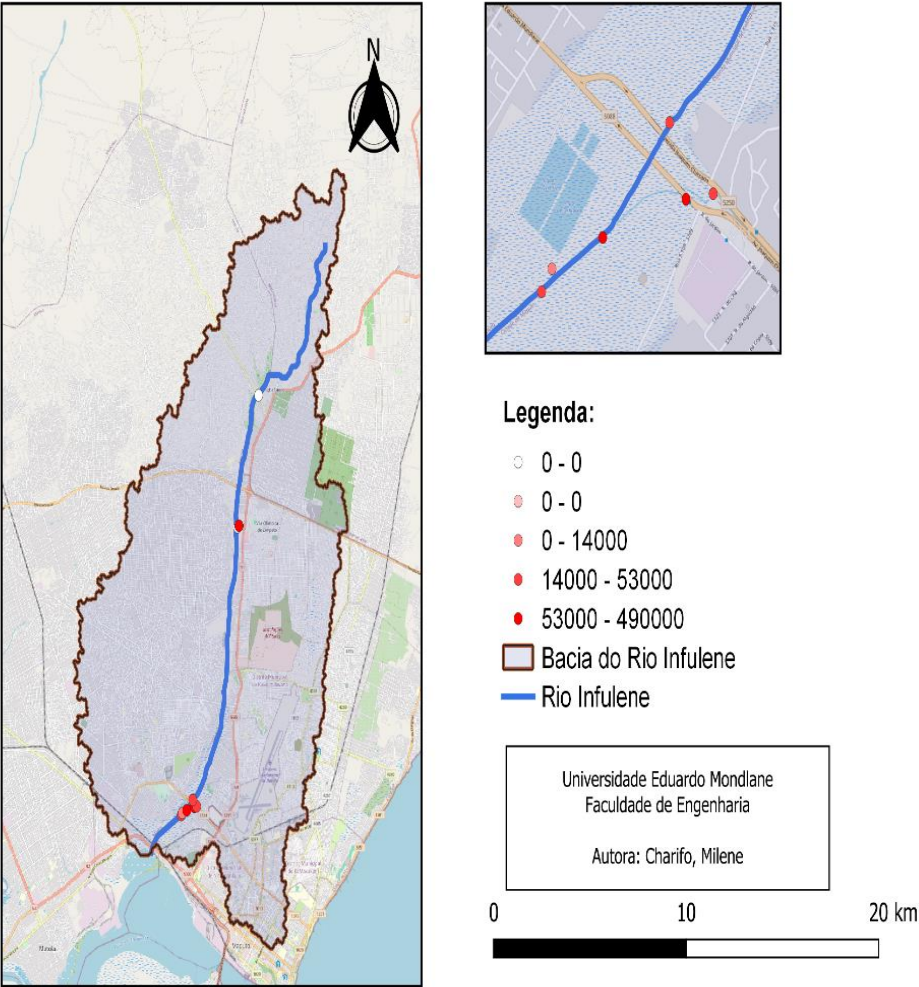


A2-9 – Distribuição espacial de *E. coli* produtora da enzima β -lactamase de espectro estendido (ESBL *E. coli*)

2ª Campanha



3ª Campanha



ANEXO 3 - Resultados obtidos nas Análises dos Parâmetros de Qualidade de água da bacia do Rio Infulene

Tabela A3-1 – Resultados das análises nos pontos P1 e P2

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Julho 2023	Agosto 2023	Outubro 2023
P1 – Secção do rio após a ponte da indústria cervejeira	Temperatura (°C)	21.6	21.0	27.4
	OD (mg/L)	6.91	5.02	4.42
	CE (µS/cm)	1167	1134	1413
	pH	7.04	7.01	7.86
	Nitratos (mg/L)	14.2	6.8	19.1
	Fosfatos (mg/L)	9.5	18.2	20.4
	DBO (mg/L)	7.55	8.83	12.25
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	2.0E+06	4.1E+06
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	<1.0E+06	<1.0E+06
	ESBL <i>E. coli</i> (/100 mL)	-	6.0E+04	2.5E+04
P2 – Saída da ETAR do Infulene	Temperatura (°C)	22.7	21.3	27.7
	OD (mg/L)	3.06	2.52	2.20
	CE (µS/cm)	1253	1270	1409
	pH	7.03	7.04	7.90
	Nitratos (mg/L)	13.7	13.9	17.3
	Fosfatos (mg/L)	24.1	32.0	18.0
	DBO (mg/L)	8.18	6.68	4.09
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	5.2E+06	6.3E+06
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	<1.0E+06	<1.0E+06
	ESBL <i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	-	2.4E+05	1.0E+04

Tabela A3-2 – Resultados das análises nos pontos P3 e P4

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Julho 2023	Agosto 2023	Outubro 2023
P3 – Mistura das águas do rio, águas do sistema de drenagem e águas residuais da indústria cervejeira	Temperatura (°C)	23.4	21.6	30.4
	OD (mg/L)	5.33	4.77	3.17
	CE (µS/cm)	1297	1336	1369
	pH	7.05	7.03	8.44
	Nitratos (mg/L)	22.1	18.2	17.0
	Fosfatos (mg/L)	19.2	84.8	20.5
	DBO (mg/L)	8.60	31.03	19.31
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	6.3E+06	1.0E+08
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	1.0E+06	1.0E+06
P4 - Saída das águas residuais da indústria cervejeira	ESBL <i>E. coli</i> (UFC/100 mL	-	3.6E+05	1.8E+05
	Temperatura (°C)	25.6	26.1	29.9
	OD (mg/L)	1.77	1.10	0.12
	CE (µS/cm)	2580	2697	3573
	pH	7.03	7.03	10.33
	Nitratos (mg/L)	3.7	5.9	5.3
	Fosfatos (mg/L)	88.9	37.2	65.5
	DBO (mg/L)	16.75	24.60	25.68
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	1.7E+07	5.3E+08
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	3.1E+06	<1.0E+06
	ESBL <i>E. coli</i> (UFC/100 mL	-	4.8E+05	4.9E+05

Tabela A3-3 – Resultados das análises nos pontos P5 e P6

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Julho 2023	Agosto 2023	Outubro 2023
P5- Descarga do sistema de drenagem próximo à entrada da ETAR do Infulene	Temperatura (°C)	22.5	21.2	30.4
	OD (mg/L)	8.40	8.31	6.79
	CE (µS/cm)	1216	1224	1289
	pH	7.03	7.03	8.36
	Nitratos (mg/L)	17.8	7.3	24.2
	Fosfatos (mg/L)	23.4	9.6	23.9
	DBO (mg/L)	4.22	10.53	14.43
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	1.3E+06	4.4E+06
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	1.0E+05	<1.0E+05
	ESBL <i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	-	5.0E+03	1.5E+04
P6 – Secção do rio antes de se juntar às águas do sistema de drenagem e ETAR do Infulene	Temperatura (°C)	21.4	20.5	25.0
	OD (mg/L)	9.60	4.72	3.34
	CE (µS/cm)	996	951	1365
	pH	7.03	7.02	7.42
	Nitratos (mg/L)	10.5	4.3	3.1
	Fosfatos (mg/L)	9.5	10.4	3.9
	DBO (mg/L)	4.07	7.29	5.36
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	8.2E+05	1.4E+06
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	5.0E+04	9.7E+03
	ESBL <i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	-	0.0E+00	2.0E+04

Tabela A3-4 – Resultados das análises nos pontos P7 e P8

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Julho 2023	Agosto 2023	Outubro 2023
P7 – Mistura das águas do rio com as da ETAR do Zimpeto	Temperatura (°C)	20.3	20.1	26.8
	OD (mg/L)	9.20	7.72	5.76
	CE (µS/cm)	444	428	503
	pH	7.02	7.23	7.28
	Nitratos (mg/L)	1.6	1.4	1.5
	Fosfatos (mg/L)	4.9	7.3	1.6
	DBO (mg/L)	2.08	2.50	2.55
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	1.4E+05	4.8E+05
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	4.1E+03	1.5E+04
	ESBL <i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	-	0.0E+00	0.0E+00
P8 – Saída da ETAR do Zimpeto	Temperatura (°C)	22.4	20.8	32.8
	OD (mg/L)	1.15	0.58	0.35
	CE (µS/cm)	677	800	929
	pH	7.03	7.00	8.01
	Nitratos (mg/L)	6.9	1.3	2.4
	Fosfatos (mg/L)	42.7	37.5	58.3
	DBO (mg/L)	9.33	9.43	20.57
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	9.4E+07	1.7E+08
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	2.0E+06	9.6E+06
	ESBL <i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	-	5.9E+05	9.5E+04

Tabela A3-5 – Resultados das análises nos pontos P9 e P1-A

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Julho 2023	Agosto 2023	Outubro 2023
P9 - Secção do rio na ponte próxima à vila de Intaka	Temperatura (°C)	18.2	20.3	23.2
	OD (mg/L)	1.63	1.28	0.20
	CE (µS/cm)	381	357	429
	pH	7.05	7.01	6.53
	Nitratos (mg/L)	0.4	0.7	0.7
	Fosfatos (mg/L)	5.6	5.4	51.8
	DBO (mg/L)	1.97	1.52	4.13
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	2.9E+04	7.5E+03
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	9.4E+02	4.1E+02
	ESBL <i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	-	0.0E+00	0.0E+00
P1-A- Secção do rio próximo a nascente (1)	Temperatura (°C)	20.4	20.3	25.3
	OD (mg/L)	9.43	4.56	2.59
	CE (µS/cm)	374	364	420
	pH	7.04	7.01	6.48
	Nitratos (mg/L)	9.7	2.2	3.7
	Fosfatos (mg/L)	7.1	9.7	6.5
	DBO (mg/L)	2.11	2.77	3.00
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	2.0E+04	4.4E+04
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	6.3E+03	2.0E+02

Tabela A3-6 – Resultados das análises nos pontos P2-A e P3-A

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Julho 2023	Agosto 2023	Outubro 2023
P2-A- Secção do rio próximo a nascente (2)	Temperatura (°C)	18.2	21.1	22.8
	OD (mg/L)	1.70	1.54	0.58
	CE (µS/cm)	312	311	365
	pH	7.03	7.01	6.24
	Nitratos (mg/L)	0.6	0.3	0.2
	Fosfatos (mg/L)	4.8	0.9	19.0
	DBO (mg/L)	1.01	1.19	1.84
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	9.3E+03	3.4E+03
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	6.2E+02	1.0E+02
P3-A- Secção do rio próximo ao Hospital Psiquiátrico do Infulene	Temperatura (°C)	18.8	20.2	23.1
	OD (mg/L)	2.78	1.96	0.76
	CE (µS/cm)	629	610	737
	pH	7.09	7.00	7.13
	Nitratos (mg/L)	4.3	1.8	1.7
	Fosfatos (mg/L)	28.4	3.1	8.3
	DBO (mg/L)	2.69	5.18	2.87
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	2.1E+05	2.7E+05
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	1.4E+04	2.0E+03

Tabela A3-7 – Resultados das análises nos pontos P4-A e P5-A

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Julho 2023	Agosto 2023	Outubro 2023
P4-A- Secção do rio na ponte da Zona Verde	Temperatura (°C)	19.7	20.5	22.4
	OD (mg/L)	6.26	4.97	1.54
	CE (µS/cm)	733	735	915
	pH	7.03	7.03	7.21
	Nitratos (mg/L)	2.8	2.2	1.5
	Fosfatos (mg/L)	7.7	5.6	22.9
	DBO (mg/L)	3.89	4.41	2.60
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	5.5E+06	1.1E+05
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	5.1E+05	<1.0E+04
P5-A - Secção do rio próximo ao Hipermercado no Bairro T3	Temperatura (°C)	20.6	20.4	24.2
	OD (mg/L)	8.63	7.51	2.29
	CE (µS/cm)	774	848	1014
	pH	7.02	7.01	7.33
	Nitratos (mg/L)	7.3	8.0	2.0
	Fosfatos (mg/L)	12.8	5.9	30.6
	DBO (mg/L)	6.55	3.87	3.83
	Coliformes totais (NMP/100 mL)	-	7.3E+05	2.0E+05
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	-	5.0E+04	5.2E+03