



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

Faculdade de Ciências

Departamento de Química

Licenciatura em Química Industrial

Trabalho de Licenciatura

Tema: Estudo da Qualidade da Água Para Fins de Consumo Humano na Localidade de Goba, Distrito de Namaacha, Província de Maputo



Autor: Denilson Antonino de Jesus Grachane

Maputo, Abril de 2024



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

Faculdade de Ciências

Departamento de Química

Licenciatura em Química Industrial

Trabalho de Licenciatura

Tema: Estudo da Qualidade da Água Para Fins de Consumo Humano na Localidade de Goba, Distrito de Namaacha, Província de Maputo



Autor: Denilson Antonino de Jesus Grachane

Supervisora: Prof.^a Doutora Tatiana Kuleshova

Co-Supervisor: Lic. Armindo Nhantumbo

Maputo, Abril de 2024

Dedicatória

Aos meus Pais e Encarregados de Educação, Germano de Jesus Grachane e Flávia de Lurdes Mussuei, pelos ensinamentos, conselhos, carinho, amor e investimento na minha formação académica, que fizeram de mim a pessoa que sou hoje.

Agradecimentos

Ao meu bom Deus pelo dom da vida e por mais uma oportunidade de crescer profissionalmente.

Aos meus pais e encarregados de educação, Germano de Jesus Grachane e Flávia de Lurdes Mussuei, a quem devo tudo o que sou hoje, por tudo que têm feito por mim.

Aos meus irmãos, Yonesse Grachane e Herman Grachane, pelo apoio e motivação.

Aos meus padrinhos, José Grachane e Deolinda Victor, pelo acompanhamento, apoio e motivação.

À minha família dum modo geral, pela motivação e confiança depositada em mim.

Aos meus supervisores Prof^a. Doutora Tatiana Kuleshova e Lic. Armindo Nhantumbo, pelo carinho, disponibilidade, paciência, motivação, apoio científico, ensinamentos e confiança demonstrada na realização deste trabalho.

Ao IIA pela disponibilização de ferramentas chaves para a realização do trabalho.

À todos os docentes, investigadores e membros do CTA do Departamento de Química.

Aos meus colegas e amigos, Jéssica Alface, Ernesto Marrula, Justino Cuinica, Virgílio Nairo, Lucília Panguene, Waila Nhapele e a todos os colegas das turmas de Química Industrial e Ambiental.

À todos vocês, o meu muito obrigado!

Declaração de Honra

Eu, Denilson Antonino de Jesus Grachane, declaro por minha honra que o presente trabalho foi da minha autoria e que, para a sua realização, servi-me dos conhecimentos adquiridos ao longo dos anos de formação, da realização de ensaios experimentais e das consultas bibliográficas referenciadas ao longo do texto.

O Autor

Denilson Antonino de Jesus Grachane

RESUMO

A localidade de Goba situada a Sul da província de Maputo, tem como principal fonte de água para consumo humano, o rio Umbelúzi. Para além do rio Umbelúzi, as comunidades têm recorrido ao uso de águas subterrâneas de furos e poços artesanais, geralmente não protegidos e de qualidade desconhecida.

O presente trabalho tem como objectivo geral avaliar a qualidade da água para o consumo humano das principais fontes de abastecimento da localidade de Goba.

Para a realização do trabalho, foram colectadas amostras de águas subterrâneas e superficiais durante duas campanhas, uma na época seca e outra na época chuvosa e foram analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Os resultados deste estudo mostraram que todas as amostras apresentaram pelo menos um parâmetro acima dos valores máximos admissíveis (VMAs) estabelecidos pela legislação Moçambicana para o consumo humano. Os furos de água da localidade de Goba sofrem de problemas de salinização, em virtude de apresentarem elevados teores e acima dos VMAs para a condutividade eléctrica (CE), sólidos totais dissolvidos (TDS), Cl^- . Por outro lado, as águas do rio Umbelúzi mostraram-se impróprias ao consumo por possuírem parâmetros como turvação, dureza total, NO_3^- , SO_4^{2-} e matéria orgânica (MO) acima dos VMAs, necessitando de tratamento, porém; a estação de tratamento de águas de Goba (ETAG) mostrou-se ineficiente na remoção dos contaminantes na água, tendo-se observado um aumento nos teores de turvação (1,37%), TDS (1,51%), Cl^- (177,38%), NO_3^- (32,75%) e Fe total (76,47%). Adicionalmente, a maior parte das amostras possui valores de índice de agressividade (IA) entre 10 e 12, sendo classificadas como moderadamente agressivas, e valores de índice de saturação de langelier (ISL) menores que 0, o que mostra uma tendência corrosiva. Em geral, água das fontes de abastecimento de Goba é impotável e imprópria para o consumo humano, sendo severamente afectada de forma natural pela dissolução de minerais constituintes das formações geológicas da área, bem como pelo escoamento de terras agrícolas, águas pluviais, sistemas sépticos em mau funcionamento e defecação a céu aberto. Em função dos resultados, são necessárias acções correctivas e de monitoramento para solucionar as discrepâncias das condições sanitárias da água.

Palavras-Chave: Qualidade de água; Localidade de Goba; Rio Umbelúzi; Estação de Tratamento de Águas de Goba

Índice Geral

RESUMO.....	iv
CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos.....	3
1.1.1. Geral.....	3
1.1.2. Específicos.....	3
1.2. Relevância da Pesquisa.....	3
1.3. Perguntas de Pesquisa.....	4
1.4. Metodologia.....	4
CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Fontes de Água.....	6
2.1.1. Disponibilidade da Água.....	6
2.1.2. Ciclo Hidrológico.....	6
2.1.3. Águas Superficiais e Subterrâneas.....	8
2.2. Qualidade da Água.....	9
2.2.1 Parâmetros de Qualidade da Água.....	11
2.2.1.1. Parâmetros Físico-Químicos.....	12
2.2.1.2. Parâmetros Microbiológicos.....	15
2.3. Tratamento de Água Para o Consumo Humano.....	15
2.3.1. Coagulação.....	16
2.3.2. Floculação.....	17
2.3.3. Decantação.....	19
2.3.4. Filtração.....	19
2.3.5. Desinfecção.....	21
2.4. Métodos Analíticos Usados para Caracterizar a Qualidade da Água.....	22
2.4.1. Físico-Químicos.....	22
2.4.1.1. Volumetria.....	22

2.4.1.2. Turbidimetria	22
2.4.1.3. Condutimetria	23
2.4.1.5. Espectrofotometria UV-Visível	23
2.4.2. Microbiológicos	24
2.5. Descrição do Local de Estudo (Goba)	24
CAPÍTULO III. PARTE EXPERIMENTAL	27
3.1. Descrição da ETAG	27
3.2. Materiais e Instrumentos.....	29
3.3. Reagentes	29
3.4. Procedimentos de Amostragem	30
3.5. Métodos de Análise.....	32
3.5.1. Determinação de Parâmetros Físico-Químicos.....	32
3.5.2. Determinação de Parâmetros Microbiológicos	33
3.6. Análise e Interpretação dos Dados.....	33
3.6.1. Eficiência da ETAG.....	33
3.6.2. Índices Calculados	33
3.6.3. Tratamento Estatístico dos Resultados	34
CAPÍTULO IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Apresentação dos Resultados das Análises.....	37
4.2. Apresentação dos Resultados da Análise Comparativa	41
4.3. Eficiência da ETAG	53
4.4. Discussão dos Resultados	55
CAPÍTULO V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	60
5.1. Conclusões	60
5.2. Recomendações.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS	A

Índice de Tabelas

Tabela 1. Desempenho Típico do Tratamento Convencional com Filtro Lento de Areia.	20
Tabela 2. Compostos Clorados e suas Características.	21
Tabela 3. População da Localidade de Goba	26
Tabela 4. Lista de Reagentes.....	29
Tabela 5. Designação, Localização e Coordenadas Geográficas das Amostras.	31
Tabela 6. Métodos de Análise.....	32
Tabela 7. Resultados dos Parâmetros Físicos obtidos nas Análises das Amostras de Água. .	37
Tabela 8. Resultados dos Parâmetros Químicos e Microbiológicos Obtidos nas Análises das Amostras de Água.....	38
Tabela 9. Resultados do Cálculo dos Índices de Agressividade e de Saturação de Langelier.	40
Tabela 10. Resultados dos Testes Estatísticos Aplicados para a Comparação dos Resultados	40
Tabela 11. Eficiência da ETAG	54
Tabela A-1. Resultados das Análises para o Tempo Chuvoso	A
Tabela A-2. Resultados das Análises para o Tempo Seco	C
Tabela C-1. Classificação das Águas de Acordo com os Índices IA e ISL.....	G
Tabela C-2. Resultados do Cálculo do IA	G
Tabela C-3. Resultados do Cálculo do ISL na Época Chuvosa.....	H
Tabela C-4. Resultados do Cálculo do ISL na Época Seca	H
Tabela E-1. Técnicas Experimentais Indexadas no Catálogo da MERCK.....	L

Índice de Figuras

Figura 1. Disponibilidade da Água na Terra.....	6
Figura 2. Ciclo Hidrológico.....	7
Figura 3. Classificação dos Aquíferos Quanto à Pressão	9
Figura 4. Principais Fontes de Poluição da Água e as Principais Rotas de Exposição aos Seres Humanos.....	11
Figura 5. Ilustração das Etapas Coagulação e Floculação.....	18
Figura 6. Mecanismos de Floculação por Pontes Poliméricas.....	18
Figura 7. Sistema de Filtragem Lenta com Areia.....	20
Figura 8: Componentes de um Espectrofotómetro de Absorção Molecular.....	24
Figura 9. Delimitação da Área de Estudo.....	25
Figura 10. Fluxograma Simplificado do Funcionamento da ETAG.....	27
Figura 11. Tubulação Usada Para a Captação de Água na ETAGob.....	28
Figura 12. Localização dos Pontos de Amostragem.....	30
Figura 13. Resultados dos Parâmetros Físicos. (a) pH; (b) CE; (c) Turvação e (d) TDS.....	43
Figura 14. Variação das concentrações de Alcalinidade Total Durante os Períodos de Estudo.....	44
Figura 15. Variação da Dureza Total das Águas Durante as Épocas Seca e Chuvosa.....	44
Figura 16. Variação das Concentrações dos Cátions na Água. (a) Cálcio; (b) Magnésio; (c) Sódio; (d) Potássio.....	46
Figura 17. Variação das Concentrações dos Aniões na Água. (a) Cloretos; (b) Sulfatos.....	47
Figura 18. Variação das Concentrações das Espécies de Nitrogénio nas Águas. (a) Nitratos; (b) Nitritos e (c) Amónio.....	49
Figura 19. Variação da concentração de Cloro Residual na Água nas Épocas Chuvosa e Seca.....	50
Figura 20. Variação da concentração de Ferro Total na Água nas Épocas Chuvosa e Seca.....	51
Figura 21. Variação da Concentração de MO na Água nas Épocas Chuvosa e Seca.....	52
Figura 22. Variação dos Níveis de Coliformes Totais na Água nas Épocas Chuvosa e Seca.....	53
Figura B-1. Dados Meteorológicos da Localidade de Goba em 2022.....	I
Figura D-1. Colecta de Amostras no Rio Umbelúzi (P01).....	I
Figura D-2. Colecta de Amostras no Furo Próximo da Vila de Goba (P02).....	J
Figura D-3. Colecta de Amostras no Furo Próximo da EN3 (P03).....	J
Figura D-4. Colecta de Amostras na Estação de Tratamento de Água de Goba (P04).....	K

Figura E-1. Instrumentos de Análises Microbiológicas. a) Quanti-tray; b) Incubadora da Marca IncoTherm para Determinação de Coliformes Fecais. M

Lista de Siglas e Abreviaturas

AdRMM – Águas da Região Metropolitana de Maputo

APHA – *American Public Health Association* (Associação Americana de Saúde Pública)

AT – Alcalinidade total

CE – Condutividade eléctrica

CFU – Colony-Forming Unit (Unidade de formadora de colónias)

DPD – N,N-dietil-1,4-benzenodiamina

DQ – Departamento de Química

DT – Dureza total

Ef (%) – Eficiência de remoção

EDTA – Ácido etilenodiamino tetra-acético

EN3 – Estrada Nacional n° 3

EPA – *Environmental Protection Agency* (Agência de Protecção Ambiental)

ETAG – Estação de Tratamento de Água de Goba

GL – Graus de Liberdade

IA – Índice de Agressividade

IC_{95%} – Intervalo de Confiança a 95%

IIA – Instituto de Investigação em Águas

INE – Instituto Nacional de Estatística

IP – Índice de Puckorius

IR – Índice de Ryznar

ISL – Índice de Saturação de Langelier

JMP – *Joint Monitoring Programme* (Programa Conjunto de Monitoramento)

LNHAA – Laboratório Nacional de Higiene de Águas e Alimentos

LOD – *Limit of Detection* (Limite de detecção)

MO – Matéria Orgânica

NMA – Norma Técnica Moçambicana

NMP – Número Mais Provável

NTU – Unidade Nefelométrica de Turvação

OMS/WHO – *World Health Organization* (Organização Mundial de Saúde)

ONGs – Organizações Não Governamentais

ONU/UN – *United Nations* (Organização das Nações Unidas)

PAC – Policloreto de Alumínio

PET – Politereftalato de Etileno

ROSC – Fórum da Sociedade Civil para os Direitos da Criança

RSD – Desvio Padrão Relativo

SDG – *Sustainable Development Goals* (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável)

TDS – Sólidos Totais Dissolvidos

THMs – Trihalometanos

UNEP – *United Nations Environment Programme* (Programa das Nações Unidas para o Ambiente)

UNICEF – *United Nations Children's Fund* (Fundo das Nações Unidas para a Infância)

VMAs – Valores Máximos Admissíveis

VmAs – Valores Mínimos Admissíveis

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

A água potável e segura é reconhecida como um direito humano básico (UN, 2010). O programa do Desenvolvimento Sustentável (SDG) das Nações Unidas, no seu objectivo 6.1, prevê alcançar até 2030, o acesso universal e equitativo da água potável e segura. O progresso do SDG 6 é monitorizado utilizando o indicador 6.1.1., que é a percentagem da população que utiliza fontes de água “geridas com segurança”, ou seja, se as fontes de água são melhoradas, acessíveis nas residências ou instalações, disponíveis quando necessário (por mais de 12 h por dia) e livres da contaminação (van den Berg *et al.*, 2021).

É amplamente sabido que beber água imprópria para o consumo humano pode causar expor à agentes patogénicos, que podem resultar em doenças transmitidas pela água, tais como cólera, gastroenterite ou hepatite E (Howard & Bartram, 2003). Em 2016, o consumo da água imprópria causaram cerca de 829.000 mortes por dia em todo mundo, devido a diarreia, o que corresponde a cerca de 60% das taxas totais de mortalidade (Prüss-Ustün *et al.*, 2019).

De acordo com o Programa Conjunto de Monitorização da OMS/UNICEF (JMP), 29% da população mundial não tem acesso a água potável gerida com segurança (WHO/UNICEF, 2017). Em África, 340 milhões de pessoas, cerca de 70% da população da África Oriental e Austral, não têm acesso a serviços de saneamento básico. Em Moçambique, somente 50% da população tem acesso ao abastecimento de água potável e menos de 25% beneficia-se de saneamento melhorado (Barbieri *et al.*, 2019; Ricolfi *et al.*, 2020).

Em Moçambique, as doenças diarreicas contribuem para a elevação dos índices de mortalidade e deficiências, e estão fortemente associadas à precipitação (Horn *et al.*, 2018). Vários estudos descrevem a prevalência de infecções com agentes patogénicos transmitidos pela água, tais como *Vibrio cholerae*, *Cryptosporidium* e rotavírus em Moçambique (Casmó *et al.*, 2018; de Deus *et al.*, 2018; Semá Baltazar *et al.*, 2017).

Na zona rural, de acordo com o Fórum da Sociedade Civil para os Direitos da Criança (ROSC), as principais fontes de água são os poços não protegidos, com 42% e água da superfície, como por exemplo, rios e lagos. Por províncias, toda a região Sul, incluindo Manica e Sofala, apresenta percentagens de fontes seguras de água para beber acima de 60%, enquanto as províncias da região Norte, incluindo Zambézia e Tete, apresentam percentagens de água proveniente de fontes seguras abaixo de 50% (ROSC, 2013). O consumo de água

contaminada ou fora dos padrões mínimos de qualidade torna-se factor de risco e agravos à saúde, devido à presença de agentes patogénicos e/ou elementos e substâncias químicas prejudiciais à saúde humana. Nos últimos anos diversos estudos foram desenvolvidos por estudantes do Departamento de Química da UEM em parceria com instituições do estado com vista a analisar a qualidade da água das fontes de água para o consumo humano. De acordo com os resultados obtidos no estudo de Uamusse (2015), águas captadas em furos e poços no distrito de Chigubo, Norte da província de Gaza, sofrem de problemas de intrusão salina, limitando o seu uso para o consumo humano.

Outro estudo, realizado por Comé (2019), feito na província de Maputo, concretamente nos distritos de Manhiça e Matutuine, mostrou que as águas possuem elevados teores de matéria orgânica (MO), dureza total (Ca^{2+} e Mg^{2+}), turvação, NH_4^+ , Na^+ e K^+ , demonstrando que as águas captadas e consumidas nesses distritos é imprópria ao consumo humano. Por outro lado, Langa (2017) concluiu que o sistema de tratamento de água no distrito de Namaacha não é eficaz, uma vez que os seus resultados mostraram a presença de coliformes fecais e *E. coli* na água tratada e distribuída para o consumo nas comunidades do referido distrito. Nesta perspectiva, é crucial que a qualidade de água das fontes de abastecimento seja monitorada.

1.1. Objectivos

1.1.1. Geral

- Avaliar a qualidade de água das principais fontes de abastecimento e distribuição de água para fins domésticos na localidade de Goba, província de Maputo.

1.1.2. Específicos

- Analisar a qualidade das águas colectadas na localidade de Goba, tendo como base os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, nos tempos seco e chuvoso e comparar com os padrões de qualidade aceitáveis para o consumo humano;
- Descrever as técnicas aplicadas na ETAG para o tratamento da água;
- Identificar as fontes de poluição das águas subterrâneas e superficiais na localidade de Goba;
- Analisar o comportamento corrosivo da água com base no IA e ISL.

1.2. Relevância da Pesquisa

De acordo com o Regulamento sobre a Qualidade da Água para o Consumo Humano existente no Diploma Ministerial nº 180/2004 publicado no Boletim da República no dia 15 de setembro de 2004 (BR, 2004), a água destinada ao consumo deve apresentar os padrões de qualidade da água recomendáveis. No entanto, pesquisas realizadas em diversas partes do país têm demonstrado que as comunidades no meio rural têm consumido água imprópria, levando à eclosão de diversas doenças de veiculação hídrica como cólera, diarreias, febre tifoide, disenteria bacteriana, entre outras.

Adicionalmente, a população da localidade de Goba atravessa um momento muito crítico de escassez de água para o consumo humano, devido à contaminação das águas do rio Umbelúzi que é a principal fonte de captação de água desta região. Desta forma, as comunidades têm recorrido às águas subterrâneas através de furos artesanais e poços e, geralmente, o abastecimento de água potável não abrange toda a população da localidade de Goba e essas águas não são submetidas a nenhuma análise para a aferição da sua qualidade, colocando em risco a saúde das comunidades, segurança alimentar e aumento dos níveis de pobreza. A água imprópria pode ser usada na irrigação das culturas ou na criação de animais, o

que pode levar à contaminação dos alimentos e isso pode resultar em produtos agrícolas ou animais contaminados, aumentando o risco de doenças transmitidas pelos alimentos; as comunidades que lidam com água imprópria muitas vezes enfrentam desafios adicionais, como a necessidade de gastar uma parcela significativa de sua renda na compra de água potável ou de dispositivos de purificação de água.

Assim, surge a necessidade de se colectar dados que permitam inferir se o consumo da água dos pequenos reservatórios, rios e aquíferos constitui ou não um risco à saúde e o bem-estar das comunidades, e quais são os factores que afectam a qualidade de água na localidade de Goba.

1.3. Perguntas de Pesquisa

- Será que as principais fontes de água para o consumo utilizadas pelas comunidades da localidade de Goba possuem água com qualidade em conformidade com os padrões de potabilidade para o consumo humano?
- Será que a ETAG é eficaz para a adequação da água ao consumo humano?

1.4. Metodologia

O trabalho foi realizado obedecendo à seguinte metodologia:

❖ Revisão Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica consistiu na recolha de informações em artigos de revistas científicas, publicações da internet, trabalhos de licenciatura anteriores e livros de química analítica, sobre os aspectos que caracterizam a qualidade da água e os métodos de análise para os parâmetros identificados.

❖ Trabalho de Campo

O trabalho de campo numa primeira fase consistiu no mapeamento do local do estudo. De seguida entrevistou-se a comunidade local para conhecer a distribuição dos poços e furos. As amostras foram recolhidas nos tempos seco e chuvoso e foram submetidas à análises organolépticas, físico-químicas e microbiológicas.

❖ Trabalho Laboratorial

Determinação dos parâmetros como pH, CE, TDS, turvação, dureza total, alcalinidade, Cl₂ residual, Fe total, os cátions (Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, Na⁺ e K⁺), os aniões (NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, SO₄²⁻), MO, as bactérias (coliformes fecais, coliformes totais e *Escherichia coli*).

❖ Tratamento dos Resultados

O tratamento dos resultados teve a seguinte sequência:

- ✓ Tratamento estatístico dos dados;
- ✓ Discussão e interpretação dos resultados;
- ✓ Conclusões e recomendações.

❖ Elaboração do Relatório Final

O relatório foi elaborado respeitando o regulamento de elaboração dos Trabalhos de Licenciatura em vigor na Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, tomando em consideração a pesquisa bibliográfica, resultados experimentais e tratamento dos dados.

CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fontes de Água

2.1.1. Disponibilidade da Água

A água é o mais precioso de todos os recursos, porque sem ela não há vida e todas as comunidades devem ter água potável para que possam prosperar. Embora 71 % da superfície da Terra seja coberta por água, apenas uma pequena fracção da água está disponível para nós como água doce (Mareddy, 2017).

Aproximadamente 97 % da água total disponível na Terra é encontrada nos oceanos e é salgada demais para beber ou irrigar. Os 3 % restantes são de água doce. Desse total, 2,997 % estão trancados em calotas polares ou geleiras (Mareddy, 2017; Tongesayi, S. & Tongesayi, T., 2017). Assim, apenas 0,003 % do volume total de água da Terra está facilmente disponível para a captação pelo homem, incluindo, água subterrânea, vapor de água e água em lagos, córregos, rios, zonas húmidas e regiões estuarinas, como pode ser visto na figura 1 (Marshall, 2013).

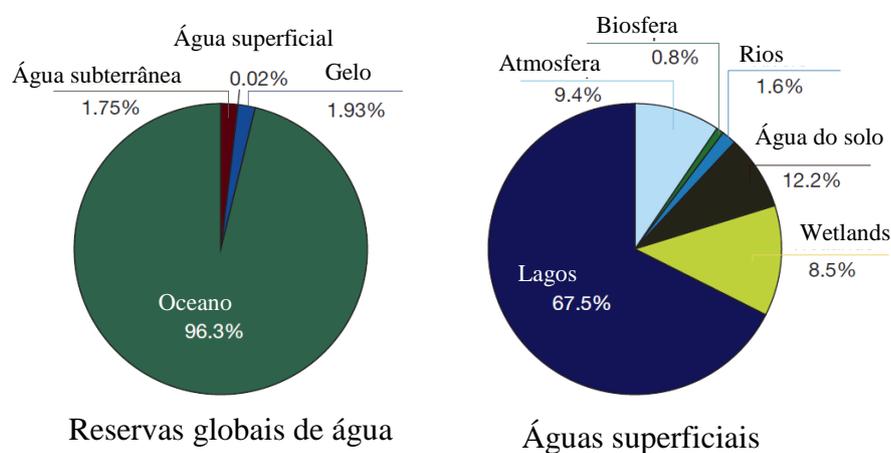


Figura 1. Disponibilidade da Água na Terra.

Fonte: Marshall (2013).

2.1.2. Ciclo Hidrológico

O conceito de ciclo hidrológico é extremamente útil para se iniciar o estudo da Hidrologia. O ciclo hidrológico descreve os diversos caminhos através dos quais a água na

natureza circula e se transforma, constituindo um sistema de enorme complexidade (Ferreira *et al.*, 2012).

O ciclo hidrológico, representado pela Figura 2, descreve o movimento contínuo da água na Terra através de diferentes processos como evaporação, condensação, precipitação, escoamento superficial, infiltração, transpiração e evaporação da vegetação. Ele começa com a evaporação da água da superfície dos oceanos, rios, lagos e solos devido à energia solar. O vapor de água sobe na atmosfera, onde esfria e condensa para formar nuvens. Essas nuvens então liberam água na forma de precipitação, como chuva ou neve, que retorna à superfície terrestre. Uma vez na superfície, a água pode seguir diferentes caminhos. Parte da água da chuva flui diretamente sobre a superfície em um processo chamado escoamento superficial, enquanto outra parte se infiltra no solo. A água infiltrada pode ser absorvida pelas raízes das plantas e depois liberada para a atmosfera através da transpiração. Outra parte da água infiltrada penetra em camadas mais profundas do solo, recarregando os aquíferos subterrâneos. A água que flui sobre a superfície ou se infiltra no solo eventualmente retorna aos oceanos, completando o ciclo. Esse processo contínuo de evaporação, condensação, precipitação e movimento da água pela superfície terrestre e atmosfera é essencial para manter o equilíbrio hídrico na Terra e é fundamental para a vida no planeta (Marshall, 2013).

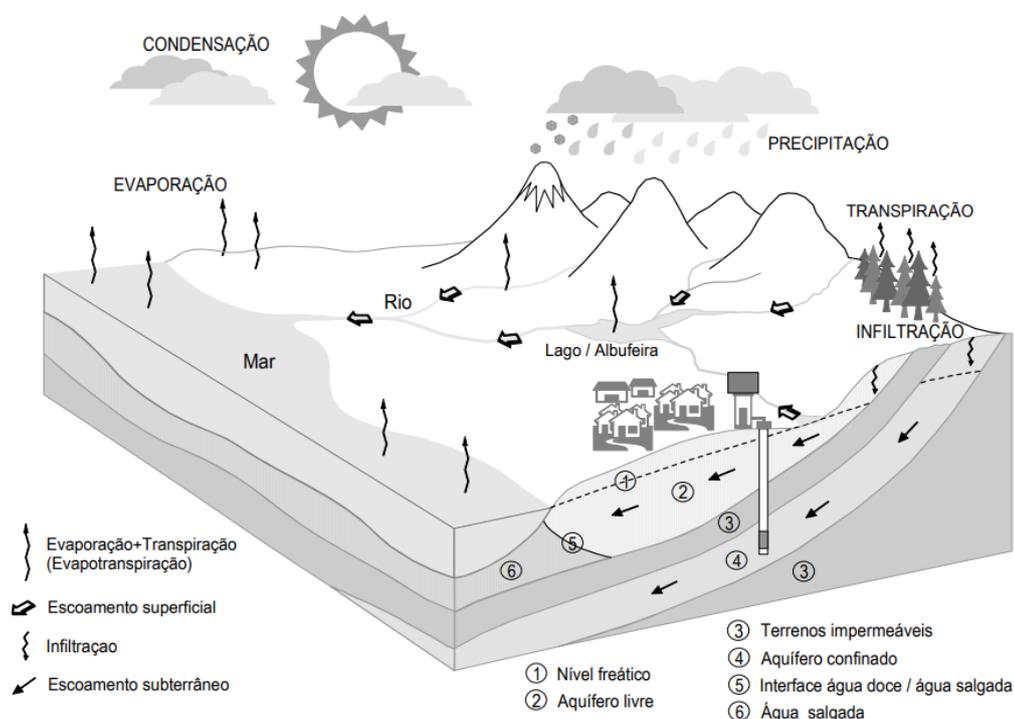


Figura 2. Ciclo Hidrológico.

Fonte: Ferreira *et al.* (2012).

2.1.3. Águas Superficiais e Subterrâneas

As águas superficiais são águas que se encontram acumuladas na superfície da terra. As águas superficiais podem escoar através das chuvas ou pela ressurgência das águas subterrâneas e podem ser encontradas nos rios, lagos ou albufeiras, zonas húmicas e córregos (Balasubramanian & Nagaraju, 2017).

Por esta razão, elas são consideradas uma das principais fontes de abastecimento de água potável do planeta. Os níveis de água superficial diminuem com a evaporação, bem como água que se move para o solo tornando-se lençol freático. Além de ser usada para o consumo humano, as águas superficiais também são usadas para outros fins, tais como, a irrigação de campos agrícolas, a pecuária, em actividades industriais, na produção de energia hidroeléctrica e actividades de recreação (Narasimhan, 2009).

Os rios são fontes de um dos recursos naturais (a água) mais importantes para os seres vivos, apresentando uma grande importância cultural, social, económica, histórica das comunidades que os cercam (Silva *et al.*, 2021). Devido à escassez de água doce que seja acessível e potável em muitas regiões que experimentam longos períodos de seca, as águas subterrâneas tornam-se uma excelente opção para o uso em actividades humanas como indústrias, agricultura, comércio, etc. (Dingane, 2022).

As águas subterrâneas, por sua vez, existem no meio de formações geológicas (rochas ou terrenos). Essas formações geológicas constituem os “aquíferos”, isto é, “espaços” ou “vazios” (poros, fissuras e cavidades) acessíveis à água, e que, subsequentemente, permitem o seu armazenamento e circulação, bem como a exploração com vista à satisfação das diferentes necessidades do Homem em condições economicamente vantajosas (Dingane, 2022; Tamele, 2018).

Os aquíferos podem ser classificados quanto à pressão a que está submetida a água neles contida (Figura 3). Neste contexto, existem vários tipos de aquíferos, mas para o presente trabalho far-se-á a descrição de somente dois tipos, que são:

1. **Aquíferos freáticos** – aquífero em que a superfície livre da água nele contida está à pressão atmosférica. Os aquíferos freáticos são superficiais ou sub-superficiais, o que facilita a sua exploração e recarga, mas também a sua contaminação;
2. **Aquíferos confinados** – Este tipo de aquífero é limitado superior e inferiormente por formações impermeáveis ou parcialmente impermeáveis. Nos aquíferos

confinados, a água está submetida a uma pressão superior à pressão atmosférica e todos os poros ou espaços estão completamente saturados de água. Num furo que cruza um aquífero confinado, o nível da água ou nível piezométrico subirá acima do limite superior do aquífero até estabilizar num determinado nível. Este fenómeno é conhecido por artesianismo. Diz-se artesianismo positivo quando o nível piezométrico atinge e ultrapassa a superfície do terreno; diz-se artesianismo negativo quando o nível piezométrico não atinge a superfície do terreno;

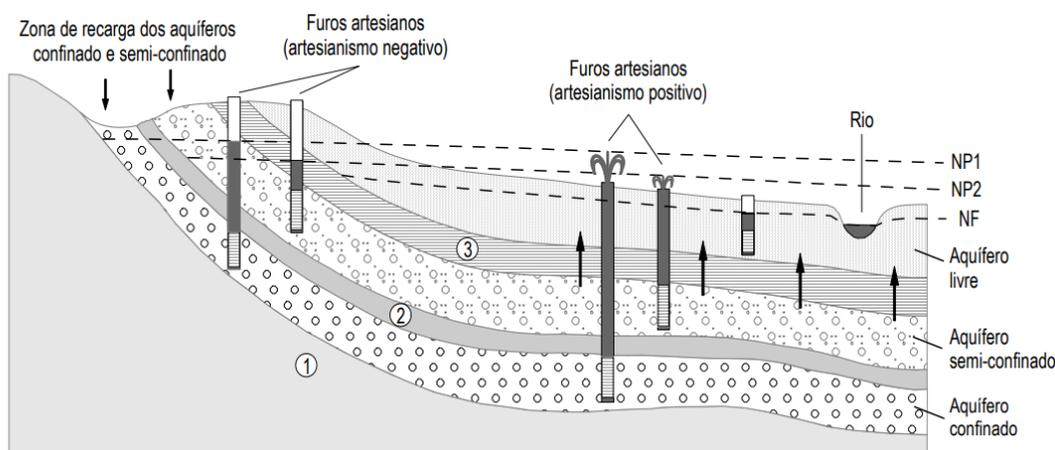


Figura 3. Classificação dos Aquíferos Quanto à Pressão.

Fonte: Dingane (2022).

2.2. Qualidade da Água

Qualidade da água é um termo usado para descrever as características químicas, físicas e biológicas da água (Li & Migliaccio, 2010; Roy, 2018). Essas características afectam a adequação da água para consumo humano, irrigação, uso industrial, e saúde do ecossistema. A interpretação da qualidade da água como “boa” ou “má” difere dependendo do uso a que se destina a água analisada (Li & Migliaccio, 2010).

A análise da qualidade de água exige a medição dos parâmetros de água necessários, seguindo métodos-padrão, e comparação com os valores-padrão para a água com o uso designado (Roy, 2018). Chama-se monitoria da qualidade de água à prática de avaliar as características químicas, físicas e biológicas da água em rios, lagos, estuários e águas costeiras e subterrâneas em relação aos padrões estabelecidos e fornecer informações sobre se essas águas são adequadas para usos específicos, como beber, nadar, irrigação e serviços ecossistémicos (Li & Migliaccio, 2010).

De acordo com Li & Migliaccio (2010), geralmente os objectivos do monitoramento da qualidade da água incluem:

1. Identificar problemas de qualidade da água que afectam a saúde dos seres humanos e ecossistemas;
2. Determinar tendências de longo prazo na qualidade da água;
3. Documentar os efeitos da prevenção da poluição ou remediação; e
4. Fornecer evidências para a conformidade com os regulamentos e disputas legais.

A água além de ser um dos principais distribuidores de contaminantes ambientais, também é uma das principais rotas de exposição de contaminantes ao homem (Tongesayi & Tongesayi, 2017). A poluição da água pode ser causada por contaminantes naturais ou resultantes das actividades humanas.

Os contaminantes dessas fontes entram nos sistemas aquáticos principalmente através de (1) bombeamento e/ou vazamentos de esgotos e efluentes brutos de estabelecimentos agrícolas, industriais e comerciais em sistemas de drenagem urbana e corpos de água adjacentes; (2) sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais; e (3) lixiviados e escoamentos de locais de resíduos sólidos, drenagem ácida de minas e bacias hidrográficas contaminadas. Como mostrado na Figura 4, as principais fontes antropogénicas de poluição são, ironicamente, os principais motores do desenvolvimento da civilização moderna, principalmente nos países em desenvolvimento (Tongesayi & Tongesayi, 2017).

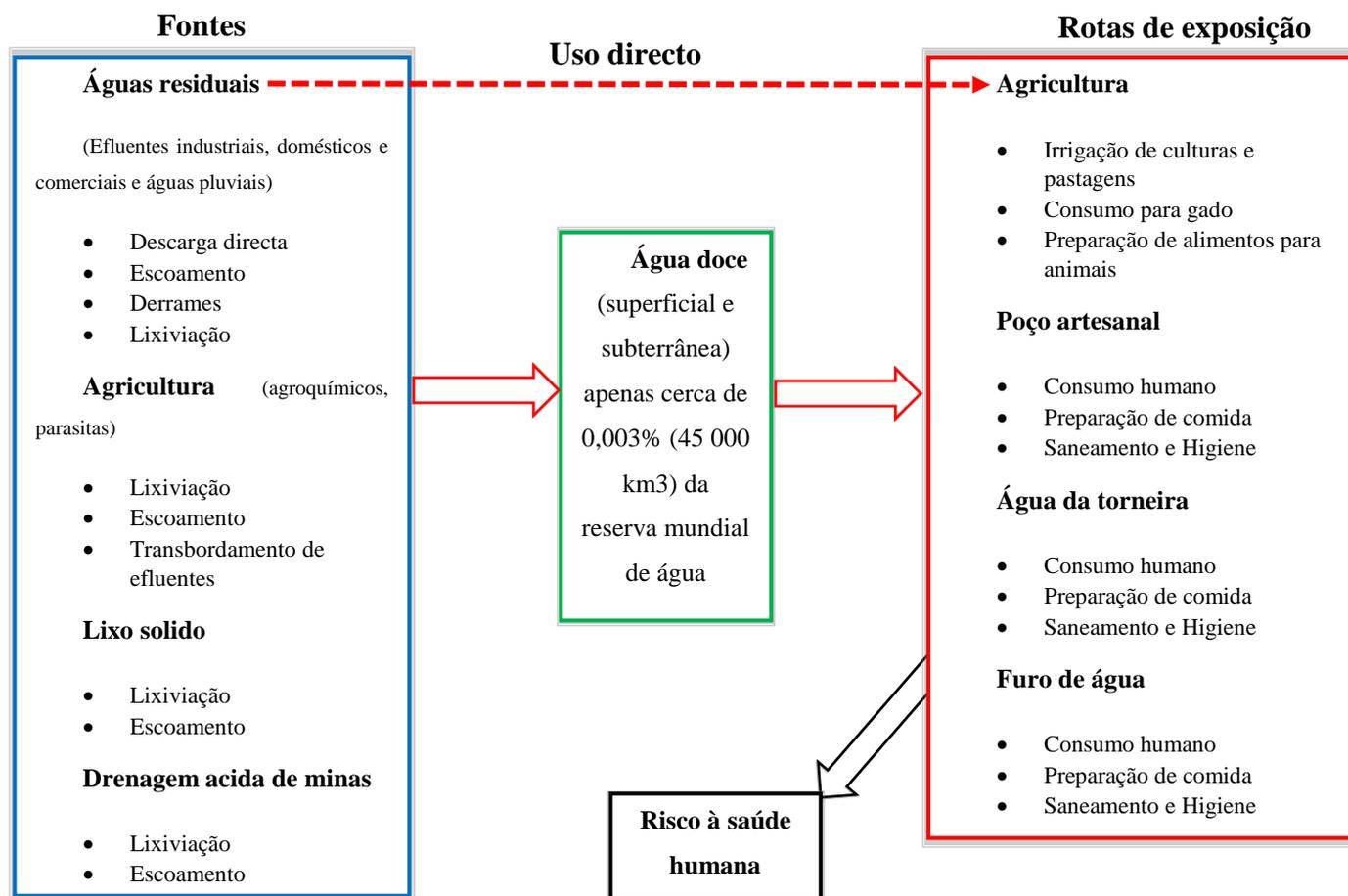


Figura 4. Principais Fontes de Poluição da Água e as Principais Rotas de Exposição aos Seres Humanos.

Fonte: Adaptado de Tongesayi & Tongesayi (2017).

2.2.1 Parâmetros de Qualidade da Água

A qualidade da água pode ser descrita em termos de concentração e estado (dissolvido ou particulado) de parte ou todo o material orgânico e inorgânico presente na água, juntamente com certas características físicas da água. É determinado por medições *in situ* e pela análise de amostras de água no local ou no laboratório. Os principais elementos de monitoramento da qualidade da água são, portanto, medições no local, a colecta e análise de amostras de água, o estudo e a avaliação dos resultados analíticos, e o relatório dos resultados (UNEP/WHO, 1996).

Os parâmetros físicos incluem cor, odor, temperatura, sólido (resíduos) e turbção. Os parâmetros químicos incluem a dureza, pH, alcalinidade e presença de substâncias como ferro, manganês, sódio, cálcio, magnésio, potássio, cloretos, sulfatos, sulfetos, metais pesados (mercúrio, chumbo, crómio, cobre e zinco), nitrogénio (amónio, nitrito e nitrato) e fósforo.

Os parâmetros biológicos incluem coliformes totais, coliformes fecais, *E. coli* e patógenos específicos (Carlson, 2018). A seguir são descritos alguns parâmetros de qualidade de água.

2.2.1.1. Parâmetros Físico-Químicos

A **condutividade eléctrica (CE)** está relacionada com a presença de sólidos dissolvidos na forma de sais e, quanto maior for a concentração dos iões destes sais, maior será a condutividade eléctrica da água (Costa *et al.*, 2003). Altos níveis de CE afectam o crescimento das plantas, a qualidade da água e a qualidade do solo. A composição iónica das fontes de água subterrânea depende do ambiente circundante e da poluição por fontes antropogénicas (Li & Liu, 2019). Os **sólidos totais dissolvidos (TDS)** indicam as pequenas partículas sólidas presentes na água (diâmetro inferior a 10^{-3} μm). Água com alto teor de TDS pode ser esteticamente insatisfatória para o uso diário, incluindo o banho. Um TDS alto também impede a luz solar de penetrar na água e as plantas no ambiente aquático não podem realizar a fotossíntese (Li & Liu, 2019). A maioria dos sólidos dissolvidos são constituídos por matéria orgânica (MO), algas e/ou bactérias (Bondy & Campbell, 2018).

A **turvação** indica a quantidade de partículas finas suspensas na água. É causada por matéria suspensa e coloidal, como argila, silte, matéria orgânica e inorgânica, plâncton e outros organismos microscópicos. Uma alta concentração de partículas pode danificar o habitat dos peixes e outros organismos aquáticos. A turvação excessiva está geralmente relacionada com uma possível contaminação microbiológica (Brasington & Richards, 2015).

O **pH** representa a condição de acidez ou de basicidade da água que se refere à concentração de iões de hidrogénio. Esta concentração afecta o desenvolvimento da flora aquática e de microrganismos contidos na água (Costa *et al.*, 2003). À medida que o pH da água muda, muitos processos de precipitação, co-precipitação e adsorção podem ocorrer e alterar a composição química da água e as taxas com que essas reacções decorrem (Trick *et al.*, 2018). Valores extremos de pH também podem ter um efeito corrosivo nos sistemas de distribuição de água, por isso, existem alguns índices que ajudam a perceber o comportamento corrosivo da água, tais como, o Índice de Saturação de Langelier (ISL), Índice de Agressividade (IA), Índice de Ryznar (IR) e Índice de Puckorius (IP), sendo que os índices mais utilizados são o IA e o ISL (Kumar, 2019). Neste estudo, foram determinados o ISL e IA para todas as amostras de água através das expressões (5) e (6) (ver secção 3.6.2).

A **dureza total (DT)** é a soma de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e é tida como uma medida da capacidade da água de precipitar na forma de sabão. O sabão é precipitado principalmente pela presença de íons cálcio e magnésio. Outros catiões, como por exemplo, ferro, manganês e zinco, podem precipitar o sabão, porém, geralmente estão presentes na água sob a forma de complexos, frequentemente com constituintes orgânicos, e a sua participação na dureza da água é mínima (Mareddy, 2017). De acordo com a dureza, as águas podem ser classificadas da seguinte forma:

- (a) Menor que 50 mg/L CaCO_3 - água mole;
- (b) Entre 50 e 150 mg/L CaCO_3 - água com dureza moderada;
- (c) Entre 150 e 300 mg/L CaCO_3 - água dura;
- (d) Maior que 300 mg/L CaCO_3 - água muito dura.

O **cálcio (Ca)** e **magnésio (Mg)** são os principais responsáveis pela dureza da água (Möller & de Lucia, 2020). O Ca compõe 4,90% da superfície da terra e 0,07% a 1,70% do solo. A sua concentração nos rios é de 15 mg/L e nas águas subterrâneas varia entre 1 a 500 mg/L (Jahnen-Dechent & Ketteler, 2012). Nos corpos de água a concentração de Mg situa-se entre 1 a 40 mg/L. As concentrações de Ca e Mg nas águas naturais estão relacionadas tal que em águas onde o TDS é inferior a 500 mg/L, o rácio varia entre 4:1 e 2:1, respectivamente. Geralmente, a água doce contém muito mais Ca do que Mg devido à abundância de Ca na crosta terrestre. Entanto, como o MgCl_2 e o MgSO_4 têm um grau de hidrólise mais elevado do que CaCl_2 e o CaSO_4 na água alcalina, o teor de Mg é superior ao de Ca (Möller & de Lucia, 2020).

O **ião cloreto (Cl⁻)** é um dos aniões frequentemente presentes na água, e nas águas com elevada salinidade pode ser encontrado em grandes quantidades. A sua presença na água é devida à contaminação por águas de esgotos, dissolução de minerais ou da intrusão de águas do mar. O cloreto em grandes quantidades provoca sabor salgado na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250 mg/L, valor este que é tomado como padrão de potabilidade (Mareddy, 2017).

O **sódio (Na)** é um elemento comum no ambiente e ocorre amplamente nos solos, plantas, água e alimentos. O íon sódio é omnipresente na água, devido à alta solubilidade dos seus sais e à abundância de depósitos minerais contendo sódio. Existem várias fontes antropogénicas de sódio que podem contribuir com quantidades significativas de Na na água superficial, incluindo efluentes domésticos (Cañedo-Argüelles *et al.*, 2019). O **potássio (K)** é um

elemento essencial nos seres humanos e raramente é encontrado na água potável a níveis que possam ser uma preocupação para os seres humanos saudáveis. A necessidade diária recomendada é superior a 3000 mg (WHO, 2011).

A presença do **ião Sulfato (SO_4^{2-})** na água potável pode causar um sabor perceptível, e níveis muito elevados podem causar um efeito laxante em consumidores não habituados. A diminuição do sabor depende da natureza do catião associado; verificou-se que os limites de sulfatos variam entre 250 mg L⁻¹ para o sulfato de sódio e 1000 mg L⁻¹ para o sulfato de cálcio. Considera-se geralmente que a deterioração do sabor é mínima a níveis inferiores a 250 mg L⁻¹ (WHO, 2011).

O **nitrogénio amoniacal (NH_4^+)** é um indicador de toxicidade em ambientes aquáticos quando está em excesso. Este é causador de efeitos ambientais nocivos ao promover o crescimento abundante de algas e plantas aquáticas causando falta de oxigénio nos cursos de água. Porém, este composto está naturalmente presente em águas superficiais e subterrâneas, resultando da amonificação do nitrogénio orgânico e pela hidrólise da ureia (de Mello, 2016).

O **nitrogénio na forma de nitratos (NO_3^-)** é um composto que se encontra geralmente em pequenas quantidades em águas superficiais. Porém, pode atingir altas concentrações em algumas águas subterrâneas (Temkin *et al.*, 2019). A presença do ião nitrato, na água, pode causar a metemoglobinemia. As fontes do aumento do nitrogénio na água são devidas aos esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, excrementos de animais (Trick *et al.*, 2018).

A **alcalinidade** é causada por sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio; mede a capacidade da água de neutralizar os ácidos fortes até um determinado pH; em teores elevados, pode proporcionar sabor desagradável à água, tem influência nos processos de tratamento da água. A alcalinidade é devida principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Os compostos mais comuns são os seguintes: hidróxidos de cálcio ou de magnésio, carbonatos de cálcio ou de magnésio, bicarbonatos de cálcio ou de magnésio, bicarbonatos de sódio ou de potássio. A presença demasiada dos iões HCO_3^- e CO_3^{2-} pode provocar a precipitação do cálcio nas tubulações, e elevando o risco de maior quantidade de sódio (Terzi & Verep, 2012).

O **ferro (Fe)** é encontrado em três estados de oxidação zero (0), Ferro II e Ferro III, sendo o Ferro III a forma mais comum. Na água, ocorre como ferro férrico dissolvido, ferro ferroso e como hidróxidos de ferro em suspensão (Dallas & Day, 2004). Quando se complexa com ácidos húmicos em águas naturais, confere a água uma coloração castanha, afectando o valor

estético da água. A concentração de ferro em águas não poluídas varia de 0,001 a 0,5 mg L⁻¹. O ferro é libertado no ambiente através de lixiviação de arenitos com óxidos e hidróxidos de ferro. As fontes industriais incluem descargas das indústrias petroquímica, fungicida e cloro-alcalina e o ferro é utilizado como minério em processos metalúrgicos. A ingestão prolongada de água com elevada concentração de ferro causa danos nos tecidos ou hemocromatose, como resultado da acumulação de ferro nas células do tecido (WHO, 2011).

2.2.1.2. Parâmetros Microbiológicos

A presença de microrganismos na água afecta a sua qualidade. Diversos organismos presentes na água são patogénicos e, por isso, perigosos à saúde humana, tais como bactérias, vírus e protozoários (de Siqueira *et al.*, 2022; Holcomb *et al.*, 2020; van den Berg *et al.*, 2021). Neste sentido, para a avaliação microbiológica da água recorre-se a indicadores da presença de matéria fecal no meio, que pode ser tanto de origem animal como humana (Holcomb *et al.*, 2020). Água é adequada para consumo somente quando coliformes totais, termotolerantes, incluindo *Escherichia coli* (*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, principalmente da zona rural (de Siqueira *et al.*, 2022).

A presença de **coliformes termo tolerantes** pode indicar contaminação de origem fecal e a existência de patógenos que se encontram em menores concentrações; essas bactérias são encontradas em abundância em fezes de humanos e animais homeotérmicos. É considerada o bioindicador mais usualmente indicado na avaliação de contaminação por matéria fecal (Peixoto & Johann, 2021). A *E. coli* é uma bactéria que vive no intestino humano e pode promover contaminação hídrica. Vale destacar que a mesma não causa problemas à saúde quando está no intestino, pois é uma bactéria normal nesse local. Entretanto, algumas variantes podem desencadear distúrbios gastrointestinais caracterizados por diarreia aquosa. Além disso, está relacionada com infecções urinárias, pneumonias e meningites e quando em contacto com a corrente sanguínea pode acarretar vários danos à saúde do indivíduo (de Siqueira *et al.*, 2022).

2.3. Tratamento de Água Para o Consumo Humano

Á água no seu estado natural, apresenta características físico-químicas e microbiológicas, na maior parte das vezes inadequadas, possuindo partículas indesejáveis e prejudiciais à

saúde; desta forma, é preciso que ela passe por processos de tratamentos físico-químicos para que fique apropriada para o consumo humano (Kareem *et al.*, 2021).

Além do requisito de que a água deve ser segura para beber, a água para uso doméstico também deve ser esteticamente agradável (ter boa aparência, sabor e odor) e deve, além disso, ser quimicamente estável, ou seja, não deve causar corrosão ou formar depósitos em água nos tubos de distribuição e tanques de depósitos (Komolafe *et al.*, 2013).

Comumente, os sistemas de abastecimento de água são compostos por estações elevatórias, estação de tratamento de água (ETA), reservatórios e adutoras (Dingane, 2022). Uma ETA utiliza vários processos de tratamento individual designados por processos unitários e operações unitárias, interligados para formar a ETA (Rodríguez-Narvaez *et al.*, 2017).

Em uma ETA são diversas as etapas que a água bruta precisa passar para se tornar potável; essas etapas podem ser classificadas como: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, para poder assim, estar dentro dos padrões de potabilidade para o consumo. Essas etapas são essenciais para que resulte uma água de qualidade e que não traga riscos à saúde (da Silva *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2020; Vergínia, 2017).

2.3.1. Coagulação

Diversos tipos de contaminantes orgânicos e inorgânicos geralmente estão presentes na água, assim como a cor, turvação, o sabor e odor que estão directamente associados a partículas suspensas ou dissolvidas que podem dificultar a remoção das mesmas, sendo necessário o processo de coagulação química da água para facilitar a remoção dessas impurezas (Rocha *et al.*, 2020).

A coagulação química visa desestabilizar os contaminantes suspensos de modo que as partículas entrem em contacto e se aglomerem, formando flocos que decantam. A desestabilização de colóides hidrofóbicos é obtida através da adição de coagulantes químicos como, por exemplo, os sais de alumínio e de ferro (Tang *et al.*, 2016; Teh *et al.*, 2016). Os coagulantes comumente empregados em ETAs são o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), cloreto férrico (FeCl_3), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) e o policloreto de alumínio (PAC) (Sun *et al.*, 2019).

Em razão da grande gama de produtos químicos e da natureza distinta das águas brutas, é essencial a realização de experiências em instalação-piloto ou em *Jar-Test* para definir as condições adequadas de coagulação e mistura rápida. A escolha do tipo de coagulante dependerá de criteriosa avaliação técnica e económica (Vergínia, 2017).

A eficácia do coagulante depende, principalmente, do ajuste conveniente do pH, existindo para cada coagulante uma zona óptima, à qual ocorre o máximo de precipitação. Os produtos químicos mais usados em Moçambique nas ETA's com fins de coagulação e/ou floculação são $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}]$ e o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal hidratada), devido à facilidade de transporte e de utilização, além de possuir baixo custo e ser amplamente utilizado em ETA's. O primeiro é usado para a formação de flocos através da desestabilização das partículas em suspensão e o segundo possui uma função dupla, por ser usado como coadjuvante na formação de flocos e ser responsável pela correcção do pH (Teh *et al.*, 2016).

O $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, para além de possibilitar uma facilidade de transporte e utilização, é um electrólito trivalente, o que lhe confere a maior vantagem ao ser o agente coagulante mais usado no tratamento de água (Sun *et al.*, 2019).

2.3.2. Floculação

Após o processo de coagulação, é necessária agitação relativamente lenta, pois o objectivo é de proporcionar contacto entre as partículas menores para se agregarem e formarem partículas maiores ou flocos (Moran, 2018; Vergínia, 2017). A floculação representa a etapa onde se torna mais favorável a agregação de partículas previamente desestabilizadas por coagulação química, facilitando a formação de flocos com pesos e tamanhos que favorecem sua remoção seja ela por sedimentação, flotação ou filtração directa (Tang *et al.*, 2016). A eficiência da floculação depende directamente do desempenho da unidade de mistura rápida, que depende dos factores como coagulante, pH de coagulação, qualidade da água bruta, temperatura da água, entre outros (Tang *et al.*, 2016; Teh *et al.*, 2016). A Figura 5 mostra a sequência das etapas dos processos de coagulação e floculação.

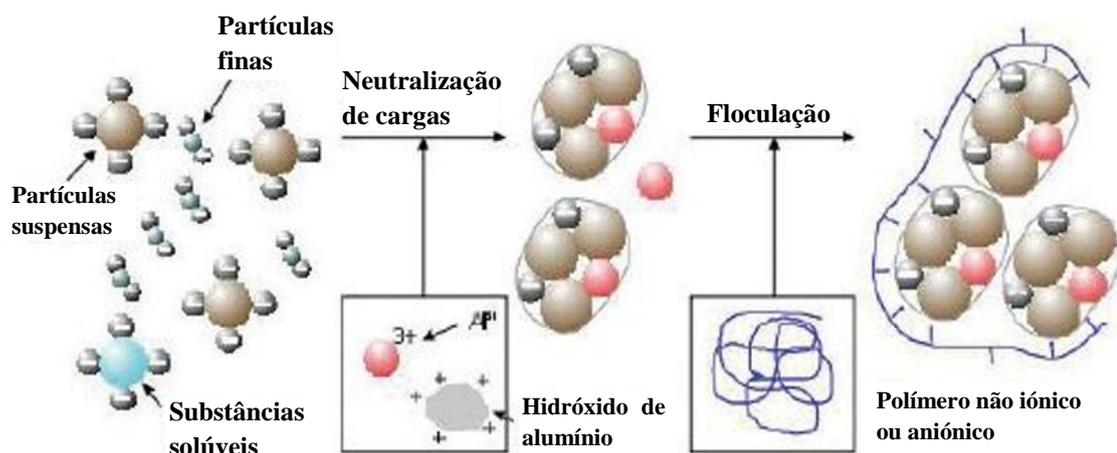


Figura 5. Ilustração das Etapas Coagulação e Floculação.

Fonte: Sun *et al.* (2019).

O mecanismo mais comum de floculação consiste na agregação das partículas por pontes poliméricas (do polímero usado como floculante). Neste mecanismo, os polímeros adsorvem-se na interface partícula/solução, via pontes de hidrogénio, forças hidrofóbicas, interacções químicas e/ou atracção electrostática, e formam flocos de acordo com a Figura 6 (Oliveira & Rubio, 2011).

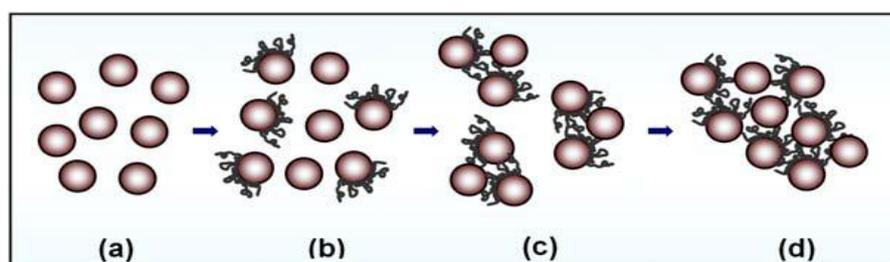


Figura 6. Mecanismos de Floculação por Pontes Poliméricas.

Fonte: Oliveira & Rubio (2011).

Na Figura 6 as etapas consideradas são: (a) difusão das moléculas poliméricas sob condições hidrodinâmicas semi-turbulentas, seguida de adsorção na interface sólido/líquido; (b) conformação (configuração) superficial das moléculas poliméricas formando laços, caudas e trens; (c) formação de pontes poliméricas por adsorção dos laços e caudas; (d) formação de flocos e crescimento sob agitação lenta (Oliveira & Rubio, 2011).

2.3.3. Decantação

A decantação é a operação unitária que se segue à coagulação/floculação, permitindo a remoção dos flocos formados, através da sua sedimentação por acção da gravidade. Os flocos acumulam-se no fundo do decantador, constituindo as lamas (Sun *et al.*, 2019). De acordo com Rocha *et al.* (2020), as partículas que não são removidas na sedimentação, seja pelo seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima da água, deverão ser removidas na filtração. A sedimentação, com coagulação prévia, é um processo de clarificação usado na maioria das estações de tratamento, visando reduzir a carga de sólidos aplicada aos filtros. Para o bom desempenho operacional dos decantadores, os dispositivos de entrada e de saída da água devem assegurar uma distribuição da água homogénea para evitar turbulência hidráulica (Sun *et al.*, 2019).

2.3.4. Filtração

A filtração é uma operação unitária que tem como objectivo a remoção do material em suspensão que não foi removido durante a etapa de decantação (Silva *et al.*, 2012). No controlo da filtração, os parâmetros relevantes são: a velocidade de filtração, o caudal de entrada no filtro, a turvação e a cor da água filtrada. A filtração pode ser lenta ou rápida, dependendo da granulometria do material filtrante utilizado e da própria configuração da unidade de filtração (Tang *et al.*, 2016; Vergínia, 2017).

Os filtros podem ser classificados de acordo o seu fluxo e podem ser: (1) os **filtros ascendentes** são também denominados de clarificadores de contacto. Nenhum desses nomes faz justiça ao que esses filtros são, de facto. No interior dos filtros ascendentes, ocorrem, simultaneamente, a floculação, a decantação e a filtração. Basicamente os filtros ascendentes são constituídos de uma camada de areia cerca de 2 m de espessura colocada sob uma camada suporte de seixos rolados (cerca de 60 cm) (Ratnayaka *et al.*, 2009); (2) os **filtros descendentes** (Figura 7) são os mais utilizados em estações clássicas de tratamento de água. A água a filtrar é introduzida na parte superior do filtro, percola, em seguida, através do leito filtrante e, logo em seguida, através da camada suporte, atravessa o fundo falso e é encaminhada, finalmente, ao outro reservatório de água filtrada (Moran, 2018).

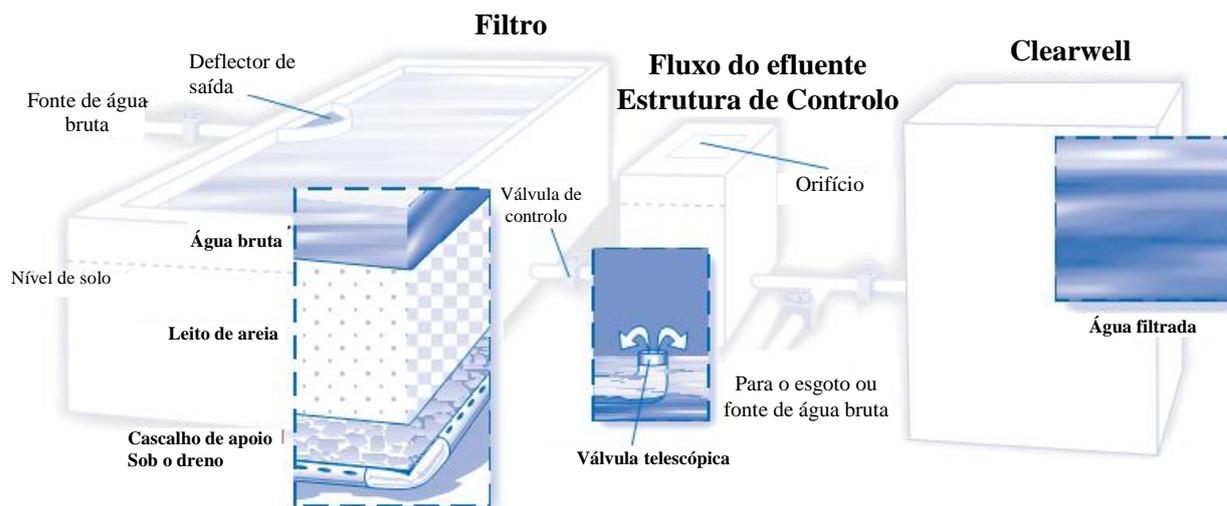


Figura 7. Sistema de Filtragem Lenta com Areia.

Fonte: Tech Brief (2000).

A Tabela 1 apresenta as eficiências de remoção de um filtro descendente.

Tabela 1. Desempenho Típico do Tratamento Convencional com Filtro Lento de Areia.

Parâmetro de qualidade de água	Capacidade de remoção
Turvação	<1.0 NTU
Coliformes	10-1000 CFU
Vírus entéricos	10-10000 CFU
Carbono orgânico dissolvido	<15-25%
Percursos de THMs	<20-30
Zn, Cu, Cd, Pb	>95-99%
Fe	>67%
As	<47%

Fonte: Tech Brief (2000)

Os filtros descendentes ou filtração lenta em areia tem sido indicada pela literatura especializada como alternativa de largo potencial de aplicabilidade, especialmente em pequenas comunidades de países em desenvolvimento por ser um processo de purificação extremamente simples e eficiente (Moran, 2018).

2.3.5. Desinfecção

Os processos de desinfecção têm como objectivo a destruição ou inactivação de organismos patogénicos, capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis (Vergínia, 2017). A desinfecção não implica, necessariamente, a destruição completa de todas as formas vivas (esterilização), embora muitas vezes o processo de desinfecção seja levado até ao ponto de esterilização. A morte de organismos pela acção de um desinfetante, fixando-se os outros factores, é proporcional à concentração do desinfetante e ao tempo de reacção. Entre os agentes de desinfecção o mais frequentemente empregado na purificação da água é o cloro, pois, além de ser barato, pode ser facilmente aplicado devido à sua alta solubilidade. O cloro deixa um resíduo em solução, de concentração que pode ser facilmente determinada, sendo que, não é perigoso para o homem e é capaz de destruir a maioria dos microrganismos patogénicos presentes na água (Vergínia, 2017).

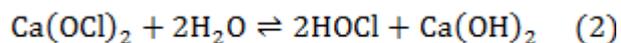
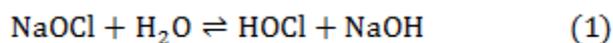
Para a desinfecção, o cloro pode ser aplicado na forma de cloro gasoso (Cl_2), hipocloritos de sódio ou de cálcio (NaClO e $\text{Ca}(\text{ClO})_2$), dicloroisocianurato de sódio ($\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{NaO}_3$) e ácido tricloroisocianúrico ($\text{C}_3\text{Cl}_3\text{N}_3\text{O}_3$). A todos estes produtos se atribui, no contexto da desinfecção de água a denominação de “cloro” (Vilanculo, 2014). A Tabela 2 mostra algumas características dos compostos clorados geralmente usados no tratamento de águas.

Tabela 2. Compostos Clorados e suas Características.

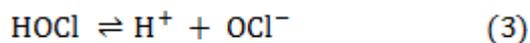
Características	Hipoclorito de sódio	Hipoclorito de cálcio	Cloro gasoso	Ácido tricloroisocianúrico	Dicloroisocianurato de sódio
Cloro disponível (%)	10 – 12	65 – 78	100	90	50 – 63
Força activa (%)	10 – 12	65 – 78	100	>99	>99
pH em 1% de solução	13	8,5 – 11	0	2,8 – 3,5	6,5 – 6,8
Efeito no pH da água	Aumenta	Aumenta	Diminui	Diminui	Neutro

Fonte: Matos (2013).

De acordo com Matos (2013) quando se adiciona hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio em água ocorre a formação de ácido hipocloroso de acordo com as reacções:



Por sua vez o ácido hipocloroso formado é um ácido fraco e dissocia-se de acordo com a reacção (3).



Esta reacção de dissociação depende pouco da temperatura e muito mais do pH do ácido responsável pela desinfecção da água, pelo que é importante garantir uma concentração adequada deste ácido para que a desinfecção seja eficaz (Matos, 2013). Os níveis de cloro livre considerados aceitáveis para uma desinfecção adequada e com mínimo desconforto para os utilizadores variam de país para país. Por exemplo, níveis de cloro livre, entre 0,2 – 0,5 mg L⁻¹ são considerados aceitáveis pela legislação Moçambique (BR, 2004).

2.4. Métodos Analíticos Usados para Caracterizar a Qualidade da Água

2.4.1. Físico-Químicos

Para a análise das amostras da água foram usados métodos clássicos como a volumetria para a determinação de Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, alcalinidade, MO e DT. Também foram usados métodos instrumentais como espectrofotometria UV-Visível para análise de Na⁺ e K⁺, Fe, NO₃⁻, NH₄⁺ e NO₂⁻ e SO₄²⁻, pelo método de kits rápidos; turvação por turbidimetria, CE e TDS por condutimetria, cloro residual por colorimetria.

2.4.1.1. Volumetria

Os métodos volumétricos baseiam-se na determinação do volume de uma solução, cuja concentração é conhecida com exactidão, necessário para reagir quantitativamente com um volume determinado da solução que contém a substância a ser analisada. Numa análise volumétrica ou titulação o reagente cuja concentração é conhecida é denominado por titulante e a substância em estudo, titulado e esta titulação ocorre na presença dum indicador (Skoog *et al.*, 2014).

2.4.1.2. Turbidimetria

A turbidimetria baseia-se no fenómeno do espalhamento da radiação electromagnética por partículas em suspensão com dimensões de 1 nm a 1 µm. Quando se faz passar um feixe de

radiação através de uma suspensão não absorvente, uma parte deste feixe de radiação é espalhada e isto faz com que ocorra uma atenuação na potência do feixe incidente. A turbidimetria utiliza a medida da atenuação na potência do feixe incidente, relacionando com a concentração da espécie química em suspensão (Lawler, 2019).

2.4.1.3. Condutimetria

A condutimetria baseia-se em medidas da condutividade ou condutância eléctrica das soluções iónicas. A condução da electricidade está relacionada com a migração de iões negativos e positivos, quando se aplica uma diferença de potencial entre dois eléctrodos mergulhados na solução electrolítica. Os iões negativos migram para o eléctrodo positivo e os iões positivos para o eléctrodo negativo. A condutância de uma solução iónica depende da natureza dos iões, ou seja, da carga, da mobilidade dos iões e do número de iões presentes (EPA, 2001).

2.4.1.5. Espectrofotometria UV-Visível

Nesta técnica um feixe de luz dos comprimentos de onda da região do ultravioleta e visível atravessa pelo espécimen e a sua intensidade antes e depois da interacção com a amostra é medida de modo a determinar a luz transmitida ou absorvida pela amostra (Skoog *et al.*, 2014).

As análises nesta técnica são realizadas em um espectrofotómetro de absorção molecular. Este aparelho é constituído basicamente por 5 componentes a saber: (1) uma fonte estável de energia radiante (p. ex., lâmpadas de filamento de tungsténio, lâmpadas de tungsténio-halogénio e lâmpada de arco de deutério); (2) um selector de comprimento de onda (monocromador) que isola uma região limitada do espectro para a medida (p. ex., prisma e rede de difracção); (3) um ou mais recipientes para a amostra (p. ex., cuvetas ou células); (4) um detector de radiação, o qual converte a energia radiante para um sinal eléctrico mensurável (p. ex., fotomultiplicadores, semicondutores de fotodíodos) e (5) uma unidade de processamento e de leitura do sinal, geralmente constituída por um circuito electrónico e, nos instrumentos modernos, por um computador (Skoog *et al.*, 2014).

Na Figura 8 são apresentados os principais componentes de um espectrofotómetro de absorção molecular.

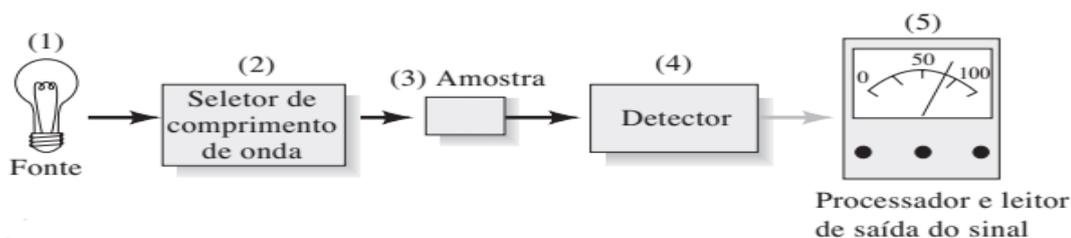


Figura 8: Componentes de um Espectrofotómetro de Absorção Molecular.

Fonte: Skoog *et al.* (2014).

De forma resumida o processo de funcionamento do espectrofotómetro de absorção molecular pode ser explicado da seguinte forma: A luz proveniente de uma fonte contínua passa por um monocromador que selecciona uma estreita faixa de comprimento de onda do feixe incidente. Essa luz monocromática passa pela amostra de um certo comprimento de onda e a energia radiante da amostra é detectada por um detector, por fim medida e lida num dispositivo de leitura (Skoog *et al.*, 2014).

2.4.2. Microbiológicos

Os métodos usados para a detectar a presença de *E. coli*, coliformes fecais e totais são comumente baseados na contagem após fermentação em lactose. O método mais difundido para análise desses indicadores é o método do Número Mais Provável (NMP), que é um ensaio estatístico, em várias etapas, consistindo em fases presuntivas, confirmadas e concluídas (Bari & Yeasmin, 2022). No ensaio, diluições em série de uma amostra são inoculadas em meios de caldo de carne. Os analistas pontuam o número de tubos de gás positivo (fermentação da lactose), a partir dos quais são realizadas as outras 2 fases do ensaio, e depois utilizam as combinações de resultados positivos para consultar uma Tabela estatística, para estimar o número de organismos presentes. Normalmente, apenas as 2 primeiras fases são realizadas na análise de coliformes totais e fecais, enquanto são realizadas 3 fases para a *E. coli* (Percival & Wyn-Jones, 2013)

2.5. Descrição do Local de Estudo (Goba)

A localidade de Goba situa-se no posto administrativo de Changalane, a Sudoeste do distrito de Namaacha, província de Maputo, cerca de 74 km da cidade de Maputo, sendo limitada a Norte, pelo rio Umbelúzi, a Sul pelos rios Bassope e Changalane, a Oeste pelo Reino de Essuatíni e a Este pelo posto administrativo de Changalane (Área do “Cardiga). A

sua superfície é 9474 ha, estendendo-se entre as latitudes 26°11'15'' e 26°20' 00'' Sul e longitude 32°04'26'' e 32°09' 00'' Este (Mavanga, 2007). A Figura 9 apresenta o mapa da área de estudo.



Figura 9. Delimitação da Área de Estudo.

O distrito de Namaacha apresenta um clima tropical húmido com uma temperatura média anual de 21°C. Apresenta solos vermelhos, argilosos e arenosos, planaltos médios, encostas e planícies de 100 – 200 m nas valas aluvionares, cordilheira dos Pequenos Libombos no sentido N – S. O ponto mais alto no distrito é o monte Mpondaine com cerca de 800 m. É rico em minerais como ágata (pedra de variedade microcristalina de quartzo, é caracterizada por camadas alternantes e concêntricas de diferentes cores em relação ao núcleo) (Filimão, 1998; Mavanga, 2007).

Apresenta bentonite (argila de cor esbranquiçada constituída essencialmente de motmorilonite), obsidiana (rocha vulcânica vítrea de cor negra), jaspe (pedra de variedade microclínica granular de quartzo, a sua cor varia entre vermelho, castanho, amarelo e verde), pedras de construção (riolito, basalto e seixos) (Filimão, 1998; Mavanga, 2007). A localidade de Goba possui uma população de 1575 de habitantes, sendo 804 homens e 771 mulheres. Estes são distribuídos por agregados familiares com a seguinte composição: 265 são agregados chefiados por homens e 84 por mulheres. Destes, 48,9% são mulheres e 51,1% são homens, tendo 41% da população entre 15 e 39 anos e 14% com idade pré-escolar de 0-4 anos (INE, 2019), conforme ilustra a Tabela 3.

Tabela 3. População da Localidade de Goba

	Nr da população		% da População	
	Homens	Mulheres	Homens	Mulheres
População	804	771	51,1	48,9
Chefe dos agregados	265	84	76	24

Fonte: INE (2019)

Os aglomerados populacionais encontram-se na sua maioria confinados à vila de Goba e ao longo das bacias hidrográficas como é o caso do rio Umbelúzi e as três lagoas existentes nesta região. Este facto faz com que se verifique nestes locais e arredores, um maior desbravamento da vegetação para fins de habitação, pastagens, agricultura e abertura de acessos para extracção de combustível lenhoso (Duarte, 1999). Os agregados familiares são constituídos em média por 4 – 7 pessoas cada, havendo uma diversidade de situações onde o elemento mais pertinente é a heterogeneidade das populações. Os habitantes que residem nos bairros, são provenientes de diversas províncias do país, encontrando-se presentemente na vila pessoas provenientes de 10 províncias, sendo de Inhambane a maior predominância (Filimão, 1998). A população dedica-se na sua maioria à agricultura, sendo as culturas de milho, mandioca e o feijão as mais comercializadas (Mavanga, 2007).

CAPÍTULO III. PARTE EXPERIMENTAL

Neste capítulo são descritos os 4 locais de amostragem bem como os métodos de análise, os materiais, os reagentes e os equipamentos usados para a realização da amostragem, análises físico-químicas e microbiológicas e os respectivos locais de realização das análises.

3.1. Descrição da ETAG

A ETAG é a menor estação em termos do nível de caudal de entrada de água bruta com capacidade de receber 3.000 m³ por dia, com uma câmara de mistura de 250 m³. A ETAG é composta por seis etapas, distinguidas por (1) captação, (2) coagulação, (3) decantação, (4) cloração; (5) filtração; (6) distribuição, conforme pode ser visto no fluxograma da Figura 10. Após o tratamento a água é bombeada para um tanque elevatório de 1500 m³, que está ligado à ETA por uma conduta. A ETAG opera em dois turnos: das 6:00-12:00 h (ciclo da manhã) e das 15:00-19:00 h (ciclo da tarde). A água desinfectada e filtrada é armazenada num reservatório de 1000 m³ e numa torre de água de 500 m³ antes de ser distribuída na rede. A água tratada é fornecida intermitentemente à vila de Goba das 6:00-10:00 h (ciclo da manhã) e 15:00-18:00 h (ciclo da tarde).

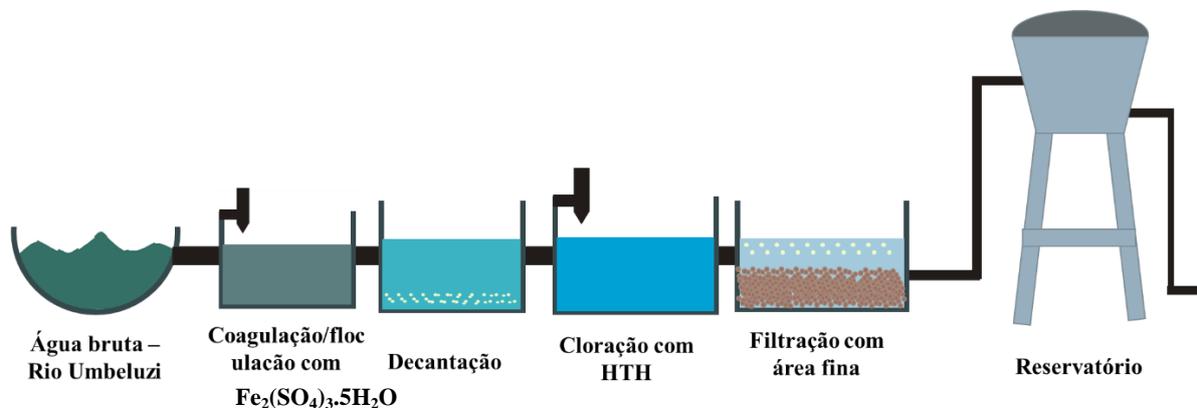


Figura 10. Fluxograma Simplificado do Funcionamento da ETAG.

❖ Captação de água

A captação da água bruta para tratamento na ETA é feita no rio Umbelúzi, por meio de bombas e sob pressão é conduzida através duma conduta que tem em determinado ponto um medidor de caudal até à câmara de mistura. A conduta utilizada para o efeito possui uma altura de 200 m e a bomba uma potência de 4,25 kW. A Figura 11 apresenta a tubulação usada na ETA. A água é direccionada a tanques de capacidade de 200 m³ onde vai ser iniciada a próxima fase, o tratamento propriamente dito.



Figura 11. Tubulação Usada Para a Captação de Água na ETAG.

❖ **Coagulação – Floculação – Decantação**

A água captada passa até à câmara de mistura onde é aplicado o coagulante sulfato férrico num processo de mistura rápida. Na ETAG, os processos de coagulação e de floculação ocorrem no mesmo tanque. Após a adição de sulfato férrico, a água é deixada repousar durante 24 h, para promover as reacções químicas entre o coagulante e os sólidos suspensos, em especial os responsáveis pela turvação formando os coágulos e em seguida ocorre a formação dos flóculos. O período de 24 h permite não só a coagulação-floculação, mas também a decantação, onde os flóculos são depositados na parte inferior dos tanques pela acção da força de gravidade. Segundo informações colhidas no local, a sua lavagem destes tanques é efectuada de 5 em 5 meses através da injeção de grande volume de água sob elevada pressão; sendo assim, todas as impurezas e sólidos indesejáveis vão para duas calhas e em seguida caem directo para o esgoto da ETA que desagua no rio Umbelúzi.

❖ **Cloração de H₂O**

Após o referido período para decantação são adicionados cerca de 5 L de cloro para promover a desinfecção da água tratada com o objectivo de eliminar microrganismos patogénicos presentes na água bruta e que não foram eliminados nas etapas anteriores. A cloração é feita antes da filtração, o que mostra um desvio do tratamento convencional, onde a água passa primeiro pela filtração e depois para cloração.

❖ **Filtração de H₂O**

Depois das etapas de clarificação preliminar da água nos decantadores esta passa aos filtros onde ocorre a clarificação final da mesma. O sistema de filtração usado na ETAG do

Umbelúzi é a filtração rápida em leito de areia. Esse sistema é constituído por seis filtros de pressão com uma capacidade de 40 m³ por hora. Ela consiste em fazer passar a água decantada por meio de um leito poroso de areia com granulometria seleccionada para o efeito. A essência deste processo é remover os flóculos remanescentes do efluente da decantação. A água tratada na ETAG é então bombeada para um reservatório elevatório para devido armazenamento e posterior distribuição para as residências por gravidade.

3.2. Materiais e Instrumentos

Proveta de 50 e 100 mL; copos de Becker de 50 mL; balões de fundo chato de 250 e 1000 mL; pipetas graduadas de 1, 5, 10 e 25 mL; espátula; funil de separação; Erlenmeyer de 500 mL; balança analítica (Denver Instrument, max 210 g; e=0.001g); estufa de secagem (Brender), agitador magnético (Labcon); pHmetro (Simokit portátil), conductímetro (Simoki portátil), espectrofotómetro (HACH DR/2010); turbidímetro (EUTECH TN-100 portátil);

3.3. Reagentes

Para a realização das análises laboratoriais foram usados os reagentes listados na Tabela 4.

Todos os reagentes utilizados com a excepção dos kits de reagentes para análise de metais foram adquiridos na SKYLABS.

Tabela 4. Lista de Reagentes

Reagentes necessários		
Ácido sulfúrico (1:3) a 99%	Amido	Indicador fenolftaleína
Iodeto de potássio a 99%	Indicador misto	Indicador preto de eriocromo T
Álcool a 70%,	Hidróxido de sódio a 98%	Nitrato de prata a 99%
EDTA (0,02 N) a 99,9%	Solução tampão	Murexida a 99%
Ácido oxálico (0,01 N) a 98%	Cromato de potássio a 99,5%	Ácido sulfúrico (0,02 N) a 98%
Permanganato de potássio (0,01 N) a 99%	Água destilada	Kit de reagentes da PERMACHEM REAGENTS
Tiosulfato de sódio (0,01 N) a 10%	Ácido acético glacial a 99%	Kit de reagentes da PERMACHEM REAGENTS

3.4. Procedimentos de Amostragem

Para a recolha de amostras de água existem muitas técnicas, mas escolheu-se a técnica proposta pelo Laboratório Nacional de Higiene de Águas e Alimentos (LNHAA, 1997). Foram colectadas quatro amostras de água, uma retirada directamente da fonte de captação (rio Umbelúzi), a segunda após o processo de tratamento de modo a facilitar a quantificação da eficiência da estação, e a terceira e a quarta foram colectadas em furos de operadores privados que distribuem água para o consumo humano. Estes furos foram escolhidos devido à sua posição e também à quantidade de clientes que consomem águas dos furos. A distribuição espacial e a respectiva localização geográfica dos locais de amostragem são apresentadas na Figura 12 e Tabela 5. As amostras colectadas no rio Umbelúzi foram designadas por P01 (Figura D-1), e as amostras dos furos com 70 e 80 m de profundidade foram designadas de P02 (Figura D-2) e P03 (Figura D-3), respectivamente. Por fim, as amostras colectadas após o tratamento de água na ETAG foram designadas por P04 (Figura D-4). As imagens da colheita das amostras podem ser vistas no anexo D.

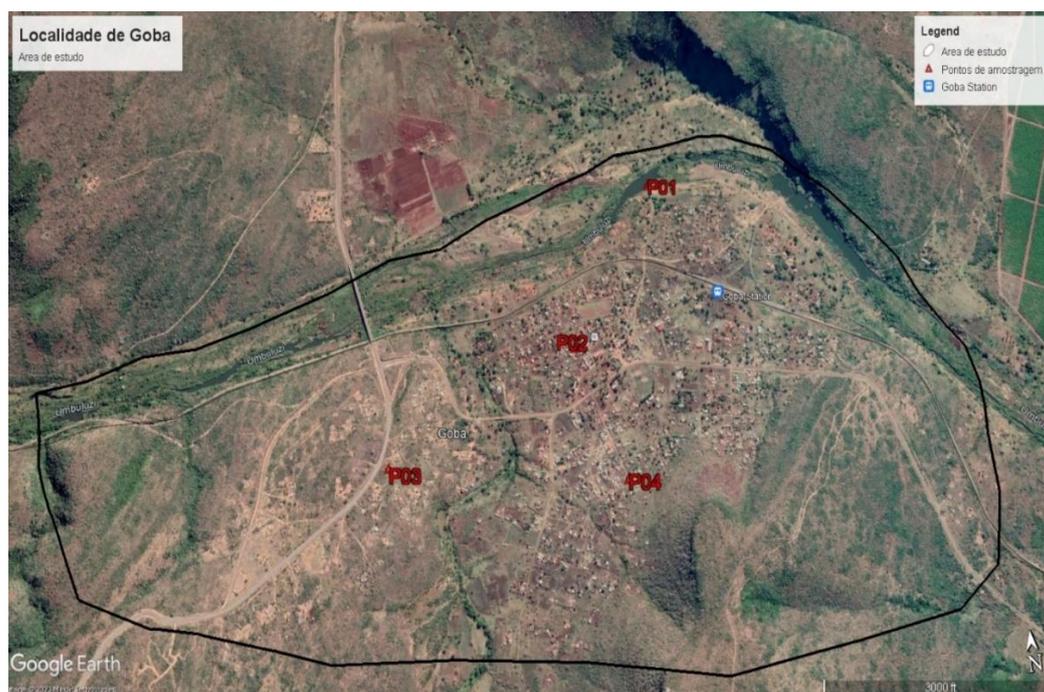


Figura 12. Localização dos Pontos de Amostragem.

A Tabela 5 apresenta a designação das 4 amostras, a sua localização e as coordenadas geográficas fixadas através do *software google maps*.

Tabela 5. Designação, Localização e Coordenadas Geográficas das Amostras.

Amostras	Local de amostragem	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
P01	Água bruta – Rio Umbelúzi	26°11'40.14"S	32° 8'29.87"E
P02	Furo de água próximo do centro da vila	26°12'0.05"S	32° 8'14.90"E
P03	Furo de água próximo da estrada EN3	26°12'11.26"S	32° 7'45.75"E
P04	Água tratada na ETA	26°12'16.70"S	32° 8'19.80"E

S: Sul; E: Leste

Para o presente estudo foram feitas duas campanhas de amostragem nas duas estações (tempo seco e tempo chuvoso), realizadas entre os meses de Fevereiro e Agosto de 2022. No mês de Agosto (estação seca), as precipitações estão quase ausentes e a vegetação é seca e Fevereiro foi um dos meses relativamente de elevadas precipitações. As amostras para análises físico-químicas foram conservadas em garrafas PET de 2L e para análises microbiológicas em frascos de vidro previamente esterilizados de 0,5 L e armazenadas em *colemans* contendo gelo.

Antes da amostragem, as garrafas de vidro foram esterilizadas no laboratório da Águas da Região Metropolitana de Maputo (AdRMM), usando-se uma autoclavagem durante 15-20 minutos a 120 °C para evitar contaminação. As garrafas PET foram lavadas e enxaguadas com água destilada. Para a água tratada, a recolha de amostras foi realizada utilizando garrafas de vidro que são autoclavadas com 1 mL de tiosulfato de sódio a 10% ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) para neutralizar o cloro presente na amostra.

As colectas foram realizadas no período da manhã, entre 09:00 h e 12:00 h. Nos furos com torneiras manuais e na saída da ETA, as torneiras foram desinfectadas utilizando álcool a 70% e a água foi deixada a fluir durante 5 minutos. Em seguida os frascos de vidro e as garrafas PET foram abertos para recolher amostras de água, segurando a garrafa firmemente sob o jacto de água, enquanto o copo de cobertura foi mantido na posição ascendente. No rio, as amostras foram colhidas mergulhando os recipientes a 20 cm de profundidade do rio, de acordo com o procedimento de amostragem de água do LNHA (1997). Após a colecta as amostras foram seladas, etiquetadas e transportadas em *colemans* refrigerados com gelo, a temperatura menor que 4°C até à chegada ao Laboratório de Química Analítica no Departamento de Química (DQ) da Universidade Eduardo Mondlane. As amostras para análise de metais foram então acidificadas com HNO_3 concentrado até pH <2.

3.5. Métodos de Análise

Os parâmetros físico-químicos foram determinados no laboratório da AdRMM e no laboratório de Química Analítica do DQ, com base na adaptação dos métodos e materiais contidos no livro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999) e no manual LNHAA (1997). Os parâmetros microbiológicos foram determinados no laboratório da AdRMM. A Tabela 6 apresenta os métodos usados para a determinação dos parâmetros de qualidade de água.

Tabela 6. Métodos de Análise

Parâmetros	Métodos
pH	Potenciométrico
Turvação	Turbidimétrico
CE e TDS	Conduítmétrico
Dureza total	Compleximétrico com EDTA
Ca e Mg	Compleximétrico com EDTA
Cl ⁻	Método de Mohr
Cloro total	Colorímetro
Alcalinidade total	Titrimétrico
Na e K	Espectrofotometria de absorção molecular
NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ e NH ₄ ⁺	Espectrofotometria de absorção molecular
Fe total	Espectrofotometria de absorção molecular
SO ₄ ²⁻	Espectrofotometria de absorção molecular
Matéria orgânica	Método de Kübel
<i>E. coli</i> , coliformes totais e fecais	Substrato Enzimático (cromogénico – fluorogénico)

3.5.1. Determinação de Parâmetros Físico-Químicos

Para a quantificação do pH foi utilizado um pH metro portátil Simokit calibrado com soluções-tampão de pH igual a $4,00 \pm 0,02$ e $7,00 \pm 0,02$ da Skylabs. A turvação das amostras foi determinada utilizando um turbidímetro portátil EUTECH TN-100. Para o cloro livre foi utilizado um colorímetro portátil HACH modelo DR 900 de acordo com o método DPD (N,N-dietil-1,4-benzenodiamina). As quantidades de Na, K, NO₃⁻, NO₂⁻ e NH₄⁺, Fe total e SO₄²⁻ foram determinadas utilizando o espectrofotómetro HACH modelo DR/2010 utilizando kits de análise, conforme a Tabela E-1 (Anexo E).

A determinação da dureza total e dos iões Ca^{2+} e Mg^{2+} pela norma NMA-C13, norma NMA-C15 e NMA-C16, respectivamente, foi modificada pois ao invés de se usar uma solução do indicador, utilizou-se um comprimido (*Indicator tablets*, Prod. N° 37424, da marca *Fisher Scientific*) (LNHAA, 1997). Todas as análises foram conduzidas em triplicado.

3.5.2. Determinação de Parâmetros Microbiológicos

Ao todo foram determinados os coliformes totais, coliformes fecais e *Escherichia coli*. 20 minutos antes de se iniciar a preparação da amostra ligou-se o selador *quanti-tray*. De seguida colocou-se 100 mL da amostra num frasco erlenmeyer esterilizado com antiespuma. Adicionou-se 2,80 g do meio Enteroleit-E (determinação de E. fecais) e Colilert-18 (determinação de coliformes totais, fecais e *E. coli*). Colocou-se a mistura do frasco dentro do *quanti-tray* (Figura E-1, Anexo E) e fechou-se com ajuda do selador. Depois colocou-se o *quanti-tray* com poços virados para cima na estufa de incubação a $41,00 \pm 0,50$ °C durante 24 horas (determinação de E. fecais), $44,00 \pm 0,50$ °C durante 20 horas (determinação c. fecais), $36,00 \pm 2,00$ °C durante 20 horas (coliformes totais e *E. coli*) (LNHAA, 1997).

3.6. Análise e Interpretação dos Dados

3.6.1. Eficiência da ETAG

As análises laboratoriais forneceram dados da água bruta e tratada depois dos processos de tratamento, assim foi possível aferir a eficiência geral da ETAG, através da equação (1).

$$\text{Ef}(\%) = \left[1 - \left(\frac{C_f}{C_i} \right) \right] \times 100\% \quad \text{Eq. (1)}$$

onde Ef (%) representa a eficiência; C_f e C_i são as concentrações dos parâmetros na água tratada e bruta, respectivamente.

3.6.2. Índices Calculados

I. Índice de Agressividade

O IA é derivado do pH, dureza total em $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ como (DT) e alcalinidade total (AT), através da equação (2) (Kumar, 2019; Yadav, 2016).

$$IA = pH + \log(DT \times AT) \quad \text{Eq. (2)}$$

II. Índice de Saturação de Langelier

A corrosividade e a tendência de formação de deposição durante a distribuição da água podem ser determinadas através do índice de ISL segundo a equação (3) (Kumar, 2019; Yadav, 2016).

$$ISL = pH_{amostra} - pH_{saturado} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde $pH_{amostra}$ corresponde ao pH da água medido e o $pH_{saturado}$ é o valor de pH no qual a água seria apenas saturada com carbonato de cálcio. O índice ISL leva em conta a concentração de cálcio (na forma de dureza total - DT), alcalinidade (AT), pH, temperatura e TDS da água, assim o $pH_{saturado}$ é calculado pela equação (4):

$$pH_{saturado} = (9,3 + A + B) - (C + B) \quad \text{Eq. (4)}$$

onde A, B, C e D são parâmetros que dependem dos TDS, temperatura, DT e AT, respectivamente, e foram calculados de acordo com as equações C-1 a C-4 (anexo C). As interpretações dos índices AI e ISL podem ser encontradas na Tabela C-1 (anexo C).

3.6.3. Tratamento Estatístico dos Resultados

O tratamento estatístico dos dados consistiu na comparação dos teores médios dos parâmetros de qualidade de água obtidos nas épocas seca e chuva através de um teste t de *student* bilateral ao nível de confiança de 95%. O tratamento foi realizado com auxílio do software Minitab 19. A aplicação do teste t foi antecedida pela realização do teste F para avaliar se as variâncias são ou não significativamente iguais. O Valor de $F_{calculado}$ foi obtido pela equação (5) e o respectivo número de graus de liberdade (GL) foi determinado pela equação (6).

$$F = \frac{s_A^2}{s_B^2} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$GL = n - 1 \quad \text{Eq. (6)}$$

As hipóteses para o teste F foram:

❖ Hipótese nula

As variâncias dos dois grupos não diferem significativamente entre si.

$H_0: s_A = s_B$ é aceite se o valor de P do teste for $> 0,05$ (ou $F_{cal} < F_{crit}$).

❖ Hipótese alternativa

As variâncias dos dois grupos diferem significativamente entre si.

$H_a: s_A \neq s_B$ é aceite se o valor de P do teste for $< 0,05$ (ou $F_{cal} > F_{crit}$).

Em casos em que as variâncias não são significativamente diferentes o valor de $t_{calculado}$ foi determinado pela equação (7) e o respectivo número de GL pela equação (8).

$$t_{calc.} = \frac{|\bar{X}_A - \bar{X}_B|}{s} \sqrt{\frac{n_A \cdot n_B}{n_A + n_B}} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$GL_{\text{caso A}} = n_A + n_B - 2 \quad \text{Eq. (8)}$$

Quando as variâncias são significativamente diferentes o valor de F foi determinado pela equação (9) e o respectivo número de GL pela equação (10).

$$t_{calc.} = \frac{|\bar{X}_A - \bar{X}_B|}{\sqrt{\frac{S_A^2}{n_A} + \frac{S_B^2}{n_B}}} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$GL_{\text{caso B}} = \frac{\left(\frac{S_A^2}{n_A} + \frac{S_B^2}{n_B}\right)^2}{\frac{S_A^4}{n_A^2(n_A - 1)} + \frac{S_B^4}{n_B^2(n_B - 1)}} \quad \text{Eq. (10)}$$

onde: \bar{X}_A e \bar{X}_B são as médias (épocas seca e chuvosa); S_A^2 e S_B^2 são as variâncias e n_A e n_B são os tamanhos dos grupos para a comparação. As hipóteses para o teste t foram:

❖ Hipótese nula

As médias dos dados de parâmetros em estudo medidos no tempo chuvoso não diferem significativamente dos dados de parâmetros em estudo medidos no tempo seco.

$H_0: \mu_{T. \text{chuvoso}} = \mu_{T. \text{seco}}$ é aceite se o valor de P do teste for $> 0,05$ (ou $F_{cal} < F_{crit}$).

❖ **Hipótese alternativa**

As médias dos dados de parâmetros em estudo medidos no tempo chuvoso diferem significativamente das médias dos dados de parâmetros em estudo medidos no tempo seco.

$H_a: \mu_{T. \text{chuvoso}} \neq \mu_{T. \text{seco}}$ é aceite se o valor de P do teste for $< 0,05$ (ou $F_{cal} > F_{crit}$).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Apresentação dos Resultados das Análises

Nesta secção são apresentados os resultados do estudo obtidos a partir das análises laboratoriais da qualidade da água para as principais fontes de água para o consumo humano. Os resultados da qualidade da água são apresentados nas Tabelas 7 e 8, em forma de intervalo a 95% de nível de confiança (IC_{95%}), também é apresentado para cada parâmetro o respectivo desvio padrão relativo (%RSD), por forma a avaliar a precisão dos métodos de determinação. A conformidade da qualidade de água em termos de parâmetros físico-químicos, químicos e bacteriológicos da água das fontes na localidade de Goba foi determinada utilizando as directrizes de qualidade de água de Moçambique, e também pelas directrizes da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011). Os resultados dos testes estatísticos aplicados para avaliar se há diferenças significativas entre a qualidade de água dessas fontes nas épocas seca e chuvosa são apresentados na Tabela 10. Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os dados experimentais dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos nas análises das águas subterrâneas dos furos de operadores e do rio Umbelúzi e a água tratada na ETAG.

Tabela 7. Resultados dos Parâmetros Físicos obtidos nas Análises das Amostras de Água.

Parâmetros		Época Chuvosa				Época Seca			
		P01	P02	P03	P04	P01	P02	P03	P04
Temperatura (°C)	IC _{95%}	21,30±1,51	21,37±2,07	21,17±1,52	20,77±2,08	20,93±2,36	22,03±1,03	20,97±0,94	21,13±0,80
	%RSD	2,86	3,90	2,89	4,01	4,53	1,89	1,81	1,52
pH	IC _{95%}	6,88±0,06	7,32±0,01	8,25±0,03	6,92±0,02	6,97±0,12	7,34±0,04	8,30±0,02	6,78±0,17
	%RSD	0,80	0,08	0,37	0,30	1,58	0,49	0,24	2,18
CE (µS cm ⁻¹)	IC _{95%}	562,33±2,36	2011,67±3,27	2020,33±4,71	572,00±1,13	555,00±2,26	2007,33±2,85	2013,67±5,1	557,33±1,73
	%RSD	0,37	0,14	0,21	0,17	0,36	0,13	0,22	0,27
TDS (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	286,67±1,73	1035,00±4,93	1045,67±4,57	291,00±1,96	276,00±2,99	1029,67±5,35	1034,33±5,81	282,00±3,39
	%RSD	0,53	0,42	0,39	0,60	0,96	0,46	0,50	1,06
Turvação (NTU)	IC _{95%}	146,33±1,73	<0,50*	<0,50*	148,33±1,73	147±2,26	<0,50*	<0,50*	150,33±0,65
	%RSD	1,04	-	-	1,03	1,36	-	-	0,38

A precisão dos métodos para a determinação dos parâmetros apresentados na Tabela 7 foi muito boa por apresentar RSD abaixo de 5%. <0,50 significa abaixo do limite de detecção do método de 0,50 NTU para o caso da turvação.

Tabela 8. Resultados dos Parâmetros Químicos e Microbiológicos Obtidos nas Análises das Amostras de Água.

Parâmetros		Época Chuvosa				Época Seca			
		P01	P02	P03	P04	P01	P02	P03	P04
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	175,60±3,85	34,45±5,16	26,80±5,69	150,47±3,21	190,73±7,99	36,67±5,62	30,40±0,45	171,73±3,66
	%RSD	1,94	13,24	18,78	1,89	3,70	13,55	1,32	1,88
Dureza Total (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	IC _{95%}	583,93±4,53	606,87±6,01	590,67±6,01	564,33±4,57	574,07±4,64	613,33±3,46	590,67±6,91	580,67±4,71
	%RSD	0,69	0,88	1,03	0,72	0,71	0,50	1,03	0,72
Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	234,04±1,82	243,23±2,41	226,85±3,27	226,18±1,83	232,73±1,89	245,82±1,39	236,74±2,77	230,06±1,81
	%RSD	0,69	0,88	1,27	0,71	0,72	0,50	1,03	0,70
Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	85,31±0,68	88,73±0,88	88,77±1,02	82,51±0,67	83,29±1,11	89,67±0,50	86,36±1,02	85,5±1,22
	%RSD	0,70	0,87	1,01	0,72	1,18	0,49	1,05	1,26
Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	56,81±0,46	331,90±6,79	370,31±1,67	157,58±4,90	56,69±0,8	329,66±8,02	374,31±1,67	153,56±12,26
	%RSD	0,72	1,81	0,40	2,75	1,25	2,15	0,39	7,05
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	651,62±0,00	36,69±0,00	35,96±0,00	84,31±0,00	640,87±0,00	36,2±0,00	33,78±0,00	82,28±0,00
	%RSD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ⁺ (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	73,75±0,00	7,26±0,00	8,62±0,00	8,21±0,00	70,35±0,00	6,9±0,00	7,51±0,00	8,15±0,00
	%RSD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl ₂ residual (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	0,06±0,01	0,27±0,02	0,27±0,02	0,15±0,02	0,05±0,01	0,24±0,04	0,27±0,03	0,15±0,03
	%RSD	18,23	5,73	7,81	13,33	10,83	15,02	9,8	17,16
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	57,40±0,00	15,20±0,00	13,10±0,00	76,20±0,00	55,80±0,00	16,30±0,00	12,30±0,00	73,20±0,00
	%RSD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	0,19±0,00	0,10±0,00	0,12±0,00	0,07±0,00	0,17±0,00	0,10±0,00	0,22±0,00	0,03±0,00
	%RSD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 8. Continuação

Parâmetros		Época Chuvosa				Época Seca			
		P01	P02	P03	P04	P01	P02	P03	P04
NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	0,60±0,15	<0,04*	<0,04 *	0,17±0,04	0,62±0,09	<0,04*	<0,04*	0,19±0,00
	%RSD	22,26	-	-	21,07	12,87	-	-	18,98
Fe total (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	0,17±0,00	0,03±0,00	0,05±0,00	0,3±0,00	0,15±0,00	0,05±0,00	0,13±0,00	0,33±0,00
	%RSD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	269,36±1,04	4,86±0,92	5,07±0,7	84,42±1,2	270,24±0,85	4,87±0,35	5,15±0,35	82±2,53
	%RSD	0,34	16,73	12,21	1,25	0,28	6,39	6,02	2,72
MO (mg L ⁻¹)	IC _{95%}	13,07±0,35	0,82±0,06	0,74±0,04	1,63±0,28	12,9±0,45	0,8±0,01	0,7±0,02	1,6±0,3
	%RSD	2,34	5,99	4,87	15,41	3,1	0,72	2,86	16,54
Coliformes Totais		7,00	<1**	<1	3,00	5,00	<1	<1	2,00
Coliformes fecais		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<i>E. coli</i>		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

*<LOD - menor que o limite de detecção do método; **<1 – nenhuma colónia de microrganismos foi detectada

Na Tabela 8, <0,04 para o ião NH₄⁺ significa abaixo do limite de detecção do método de análise (amostras P02 e P03 em ambas as épocas). De acordo com a % do RSD, pode-se afirmar que a precisão na determinação de alcalinidade (P02 e P03 na época chuvosa e P02 na época seca), cloro residual (todas as amostras), iões NH₄⁺ (P01 e P04 em ambas épocas) e SO₄²⁻ (P02 e P03 na época chuvosa e P02, P03 e P04 na época seca) e matéria orgânica (P04 em ambas as épocas) não foi boa.

Os resultados do índice de agressividade e do índice de Saturação de Langelier determinados para avaliar a corrosividade da água nas épocas seca e chuvosa são apresentados na tabela 9.

Tabela 9. Resultados do Cálculo dos Índices de Agressividade e de Saturação de Langelier.

Amostras	Índice de agressividade (IA)		Índice de Saturação de Langelier (ISL)	
	Época chuvosa	Época seca	Época chuvosa	Época seca
P01	11,37	12,01	-0,11	0,00
P02	10,39	11,69	-0,42	-0,35
P03	11,10	12,55	0,38	0,49
P04	11,27	11,78	-0,17	-0,23

A tabela 10 apresenta os resultados da análise estatística na comparação dos resultados obtidos nas épocas chuvosa e seca do presente estudo. Devido a variância ser igual a 0 para os iões Na^+ , K^+ , NO_3^- , NO_2^- e Fe total, não foi possível utilizar os testes estatísticos. Do mesmo modo, os parâmetros microbiológicos que foram analisados numa única réplica.

Tabela 10. Resultados dos Testes Estatísticos Aplicados para a Comparação dos Resultados

Parâmetros	Amostras	F cal	Fcrit	valor-P	Obs.	t cal	t crit	valor-P	Obs.
pH	P01	4,00	19,00	0,20	Aceita-se H_0	1,27	2,78	0,27	Aceita-se H_0
	P02	39,00	19,00	0,03	Rejeita-se H_0	1,11	4,30	0,38	Aceita-se H_0
	P03	2,33	19,00	0,30	Aceita-se H_0	2,53	2,78	0,06	Aceita-se H_0
	P04	50,15	19,00	0,02	Rejeita-se H_0	1,63	4,30	0,24	Aceita-se H_0
Alcalinidade	P01	4,31	19,00	0,19	Aceita-se H_0	3,34	2,78	0,03	Rejeita-se H_0
	P02	1,19	19,00	0,46	Aceita-se H_0	0,56	2,78	0,60	Aceita-se H_0
	P03	158,25	19,00	0,01	Rejeita-se H_0	1,24	4,30	0,34	Aceita-se H_0
	P04	1,30	19,00	0,44	Aceita-se H_0	8,56	2,78	0,00	Rejeita-se H_0
Conductividade	P01	1,08	19,00	0,48	Aceita-se H_0	4,40	2,78	0,01	Rejeita-se H_0
	P02	1,32	19,00	0,43	Aceita-se H_0	1,96	2,78	0,12	Aceita-se H_0
	P03	1,17	19,00	0,46	Aceita-se H_0	1,88	2,78	0,13	Aceita-se H_0
	P04	2,33	19,00	0,30	Aceita-se H_0	13,91	2,78	0,00	Rejeita-se H_0
TDS	P01	3,00	19,00	0,25	Aceita-se H_0	6,05	2,78	0,00	Rejeita-se H_0
	P02	1,18	19,00	0,46	Aceita-se H_0	1,44	2,78	0,22	Aceita-se H_0
	P03	1,61	19,00	0,38	Aceita-se H_0	3,01	2,78	0,04	Rejeita-se H_0
	P04	3,00	19,00	0,25	Aceita-se H_0	4,50	2,78	0,01	Rejeita-se H_0
Turvação	P01	1,71	19,00	0,37	Aceita-se H_0	0,46	2,78	0,67	Aceita-se H_0
	P04	7,00	19,00	0,13	Aceita-se H_0	2,12	2,78	0,10	Aceita-se H_0
Dureza	P01	1,05	19,00	0,49	Aceita-se H_0	2,98	2,78	0,04	Rejeita-se H_0
	P02	3,03	19,00	0,25	Aceita-se H_0	1,83	2,78	0,14	Aceita-se H_0
	P03	1,04	19,00	0,49	Aceita-se H_0	0,07	2,78	0,95	Aceita-se H_0
	P04	1,06	19,00	0,49	Aceita-se H_0	0,75	2,78	0,49	Aceita-se H_0

Tabela 10. Continuação

Parâmetros	Amostras	F cal	Fcrit	valor-P	Obs.	t cal	t crit	valor-P	Obs.
Cálcio	P01	1,08	19,00	0,48	Aceita-se H ₀	0,98	2,78	0,38	Aceita-se H ₀
	P02	3,02	19,00	0,25	Aceita-se H ₀	1,82	2,78	0,14	Aceita-se H ₀
	P03	1,39	19,00	0,42	Aceita-se H ₀	4,52	2,78	0,01	Rejeita-se H ₀
	P04	1,02	19,00	0,49	Aceita-se H ₀	2,95	2,78	0,04	Rejeita-se H ₀
Magnésio	P01	2,69	19,00	0,27	Aceita-se H ₀	3,04	2,78	0,04	Rejeita-se H ₀
	P02	3,05	19,00	0,25	Aceita-se H ₀	1,84	2,78	0,14	Aceita-se H ₀
	P03	1,01	19,00	0,50	Aceita-se H ₀	3,27	2,78	0,03	Rejeita-se H ₀
	P04	3,28	19,00	0,23	Aceita-se H ₀	4,19	2,78	0,01	Rejeita-se H ₀
Cloretos	P01	3,00	19,00	0,25	Aceita-se H ₀	0,26	2,78	0,81	Aceita-se H ₀
	P02	1,40	19,00	0,42	Aceita-se H ₀	0,42	2,78	0,70	Aceita-se H ₀
	P03	1,08	19,00	0,48	Aceita-se H ₀	3,35	2,78	0,03	Rejeita-se H ₀
	P04	6,26	19,00	0,14	Aceita-se H ₀	0,60	2,78	0,58	Aceita-se H ₀
Cloro residual	P01	4,00	19,00	0,20	Aceita-se H ₀	1,34	2,78	0,25	Aceita-se H ₀
	P02	5,57	19,00	0,15	Aceita-se H ₀	1,18	2,78	0,30	Aceita-se H ₀
	P03	1,62	19,00	0,38	Aceita-se H ₀	0,17	2,78	0,87	Aceita-se H ₀
	P04	1,58	19,00	0,39	Aceita-se H ₀	0,18	2,78	0,87	Aceita-se H ₀
Amónio	P01	2,80	19,00	0,26	Aceita-se H ₀	0,22	2,78	0,84	Aceita-se H ₀
	P04	1,05	19,00	0,49	Aceita-se H ₀	0,80	2,78	0,47	Aceita-se H ₀
Sulfatos	P01	1,50	19,00	0,40	Aceita-se H ₀	1,29	2,78	0,27	Aceita-se H ₀
	P02	6,84	19,00	0,13	Aceita-se H ₀	0,01	2,78	0,99	Aceita-se H ₀
	P03	3,97	19,00	0,20	Aceita-se H ₀	0,24	2,78	0,82	Aceita-se H ₀
	P04	4,47	19,00	0,18	Aceita-se H ₀	1,70	2,78	0,17	Aceita-se H ₀
Matéria Orgânica	P01	1,71	19,00	0,37	Aceita-se H ₀	0,57	2,78	0,60	Aceita-se H ₀
	P02	73,00	19,00	0,01	Rejeita-se H ₀	0,70	4,30	0,56	Aceita-se H ₀
	P03	3,25	19,00	0,24	Aceita-se H ₀	1,68	2,78	0,17	Aceita-se H ₀
	P04	1,11	19,00	0,47	Aceita-se H ₀	0,16	2,78	0,88	Aceita-se H ₀

4.2. Apresentação dos Resultados da Análise Comparativa

pH, CE, TDS e Turvação

Como se mostra na Figura 13a, os valores de pH das amostras de águas nas épocas chuvosa e seca variaram de $6,88 \pm 0,06$ (P01 – Rio Umbelúzi) a $8,25 \pm 0,03$ (P03 – Furo próximo da EN3) e de $6,78 \pm 0,17$ (P04 – ETAG) a $8,30 \pm 0,02$ (P03). De acordo com as directrizes do BR (2004), o pH das águas que se destinam ao consumo humano deve-se encontrar entre 6,5 e 8,5. Assim, os resultados indicam que a água das principais fontes de Goba estão dentro do intervalo desejável e adequado para o consumo humano.

O Diploma Ministerial nº180/2004 (BR, 2004), estabelece que o intervalo aceitável para condutividade eléctrica das águas destinadas ao consumo humano é de 50 a 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Os valores médios de CE obtidos nas amostras do P02 (2011,67 \pm 3,27 e 2007,33 \pm 2,85 $\mu\text{S cm}^{-1}$, épocas chuvosa e seca, respectivamente) e P03 (2020,33 \pm 4,71 e 2013,67 \pm 5,10 $\mu\text{S cm}^{-1}$ épocas chuvosa e seca, respectivamente) encontraram-se acima do limite máximo admissível de água para o consumo humano. Por outro lado, as águas do Rio Umbelúzi (P01) e ETAG (P02) possuem valores de CE em conformidade com as directrizes de água para o consumo humano. Assim, como para CE, as concentrações de TDS para as amostras dos furos de operadores privados encontram-se acima do limite aceitável de 1000 mg L^{-1} em ambas as épocas, sendo que as concentrações de TDS da água dos furos variaram de 1035,00 \pm 4,93 mg L^{-1} (P02) a 1045,67 \pm 4,57 mg L^{-1} (P03) na época chuvosa e 1029,67 \pm 5,35 a 1034,33 \pm 5,81 mg L^{-1} , na época seca.

A Figura 13c, por outro lado, mostra que as águas dos furos de operadores privados (amostras P02 e P03) possuem turvação abaixo de 0,5 NTU (limite de detecção do método), enquanto as águas do rio e da ETAG possuem turvação que variou entre 146,33 \pm 1,73 e 148,33 \pm 1,73 NTU (época chuvosa) e entre 147 \pm 2,26 e 150,33 \pm 0,65 NTU (época seca). Os elevados valores de turvação observados nas águas do rio Umbelúzi e na água tratada na ETAG não estava em conformidade com a norma moçambicana de água para o consumo humano durante ambos os períodos de estudo. A maior concentração de turvação de 150,33 \pm 0,65 NTU foi observada na época seca na amostra da ETAG.

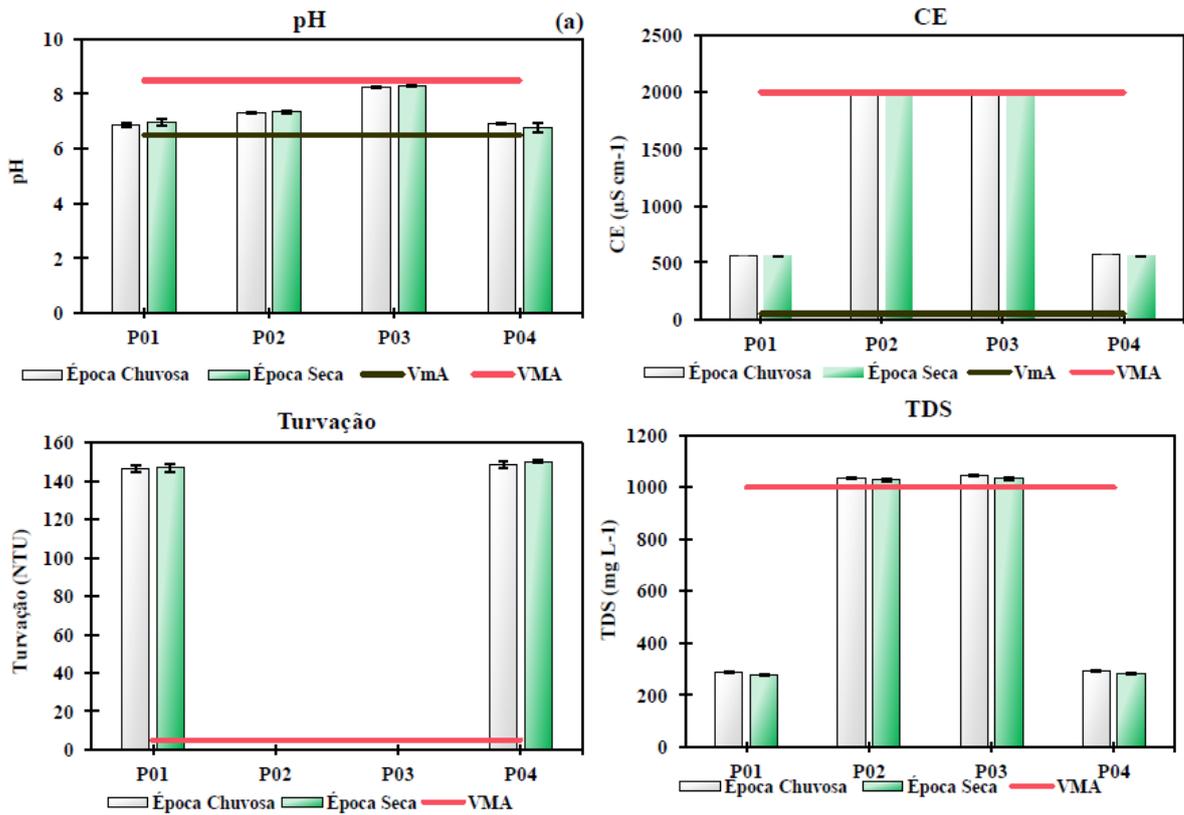


Figura 13. Resultados dos Parâmetros Físicos. (a) pH; (b) CE; (c) Turvação e (d) TDS.

Alcalinidade Total

A Alcalinidade total da água para todas as fontes de água na localidade de Goba estava em conformidade com os padrões de potabilidade de água do BR (2004) de 200 mg L^{-1} , durante as épocas chuvosa e seca, conforme pode ser visto na Figura 14. Os valores da alcalinidade apresentam variações consideráveis entre as fontes, uma vez que as menores concentrações foram observadas nas águas subterrâneas dos furos de operadores privados (amostra P03), $26,80 \pm 5,69$ e $30,40 \pm 0,45 \text{ mg L}^{-1}$ durante as épocas chuvosa e seca, respectivamente, enquanto as maiores concentrações foram observadas no rio Umbelúzi, $175,60 \pm 3,85 \text{ mg L}^{-1}$ (época chuvosa) e $190,73 \pm 7,99 \text{ mg L}^{-1}$ (época seca).

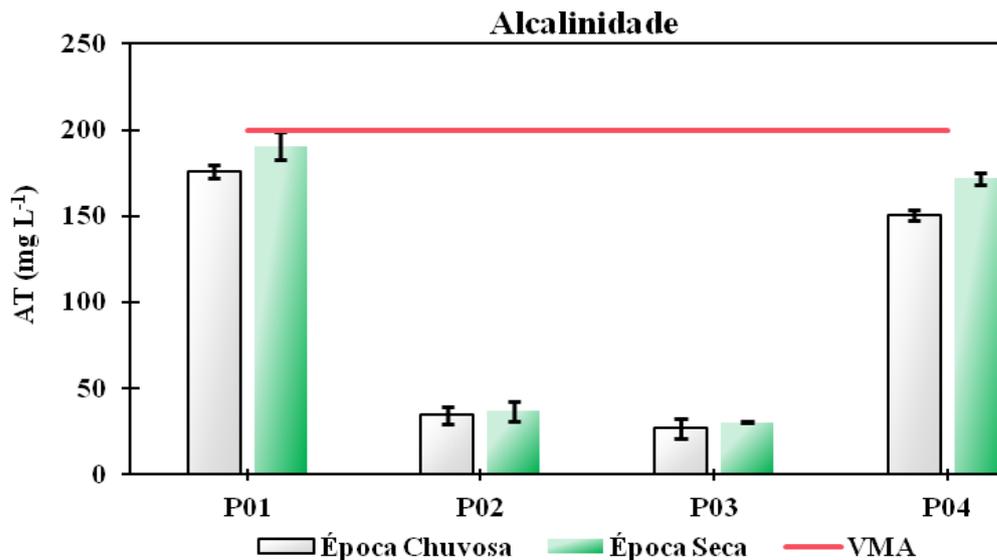


Figura 14. Variação das Zoncentrações de Alcalinidade Total Durante os Períodos de Estudo.

Dureza Total

A Figura 15 apresenta os resultados experimentais da dureza total obtidos nos locais estudados e o valor máximo da dureza total admissível pela norma moçambicana (BR, 2004).

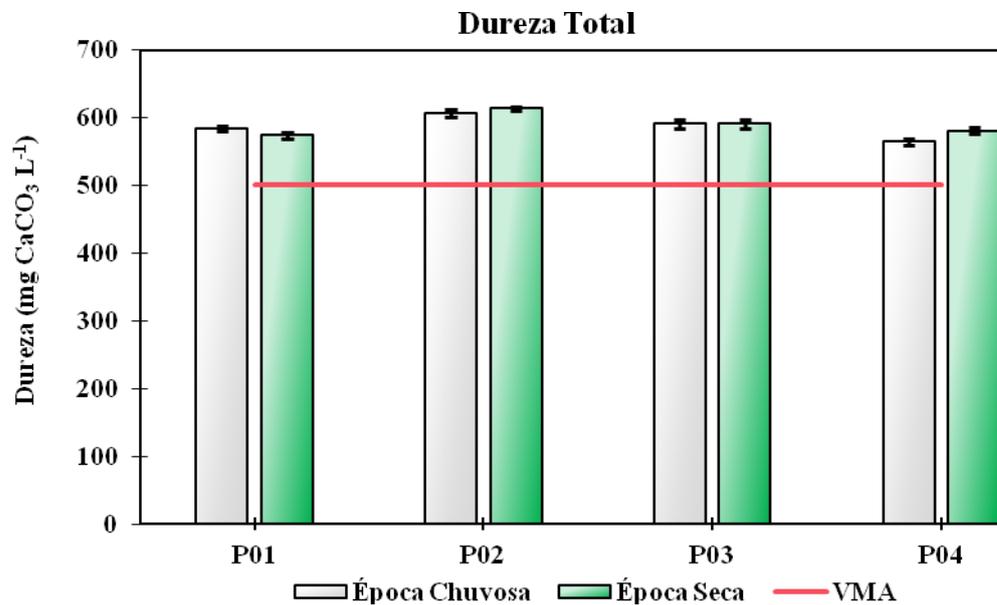


Figura 15. Variação da Dureza Total das Águas Durante as Épocas Seca e Chuvosa.

Na época chuvosa, o valor médio mais alto de Dureza total foi de $606,87 \pm 6,01 \text{ mg L}^{-1}$ no furo de água próximo do centro da vila (amostra P02) e o mais baixo foi $564,33 \pm 4,57 \text{ mg L}^{-1}$ na água tratada na ETAG. Por outro lado, durante a época seca os valores máximos e mínimos de $613,33 \pm 3,46$ e $574,07 \pm 4,64 \text{ mg L}^{-1}$, foram observados nas amostras P02 (furo de

água próximo o centro da vila) e P01 (rio Umbelúzi), respectivamente. Apesar das variações de dureza serem pequenas nas duas épocas em estudo e entre as fontes de água da localidade de Goba, todas amostras não estão em conformidade com os padrões de potabilidade de água, uma vez que os teores de dureza total observados estão acima do limite aceitável pela norma moçambicana. Assim, os resultados indicam que a água das principais fontes de Goba está fora do intervalo desejável e adequado para o consumo humano.

Concentração dos iões Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+

Durante a época chuvosa, a concentração de Ca^{2+} variou entre $226,18 \pm 1,83$ (amostra P04) e $243,23 \pm 2,41$ mg L^{-1} (amostra P02), a concentração Mg^{2+} de variou de $82,51 \pm 0,67$ (amostra P04) a $88,77 \pm 1,02$ mg L^{-1} (amostra P03), enquanto a concentração de Na^+ apresentou uma variação de $35,96 \pm 0,00$ (amostra P03) e $651,62 \pm 0,00$ mg L^{-1} (amostra P01), e a concentração de K^+ variou entre $7,26 \pm 0,00$ (amostra P02) a $73,75 \pm 0,00$ (amostra P01), conforme pode ser visto na Figura 16.

A Figura 16 mostra que durante a época seca as concentrações mínimas dos iões Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ foram observadas nas amostras P04 ($230,06 \pm 1,81$ mg L^{-1}), P01 ($83,29 \pm 1,11$ mg L^{-1}), P03 ($33,78 \pm 0,00$ mg L^{-1}) e P02 ($6,9 \pm 0,00$ mg L^{-1}), respectivamente, enquanto que as concentrações máximas dos referidos iões foram observadas nas amostras P02 ($245,82 \pm 1,39$ e $89,67 \pm 0,50$ mg L^{-1} , para Ca^{2+} e Mg^{2+} , respectivamente) e P01 ($640,87 \pm 0,00$ e $70,35 \pm 0,00$ mg L^{-1} , Na^+ e K^+ , respectivamente).

Os resultados observados na Figura 16, mostram que as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} nas águas da localidade de Goba estão acima do limite máximo aceitável pelo BR (2004), de 50 mg L^{-1} , para ambos os iões. Por outro lado, as concentrações de Na^+ e K^+ encontram-se dentro das recomendações da legislação moçambicana para o consumo, 200 mg L^{-1} e 50 mg L^{-1} , respectivamente, com excepção da água colectada no rio Umbelúzi. Relativamente às concentrações de iões Ca^{2+} e Mg^{2+} , as principais fontes de águas da localidade de Goba, possuem qualidade não adequada para o consumo, contudo em relação às concentrações de Na^+ e K^+ na água dos furos de operadores privados e água tratada na ETAG podem ser ingeridas sem risco à saúde humana.

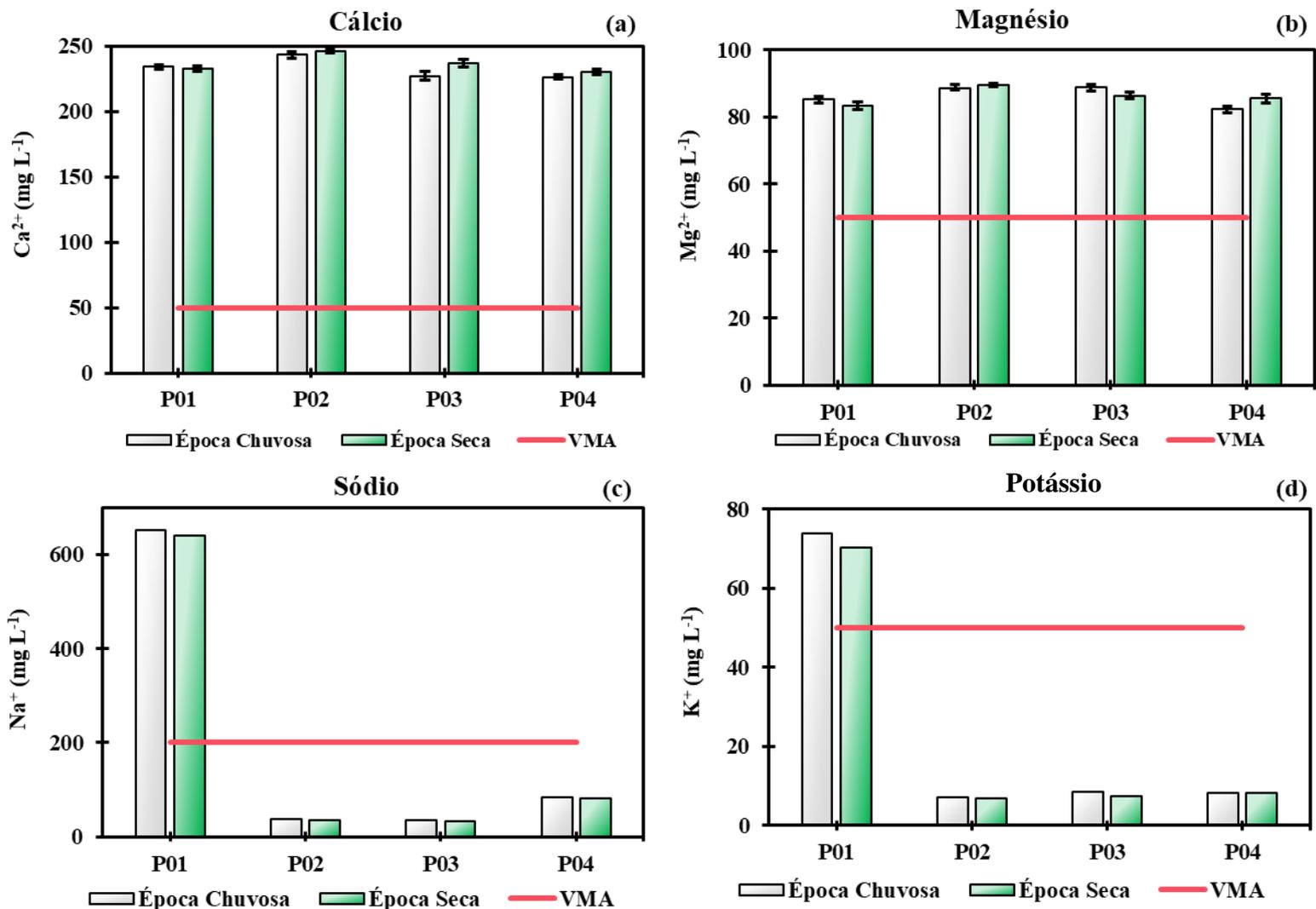


Figura 16. Variação das Concentrações dos Catiões na Água. (a) Cálcio; (b) Magnésio; (c) Sódio; (d) Potássio.

Concentração dos iões Cl^- e SO_4^{2-}

As concentrações dos iões cloretos e sulfatos variaram entre $56,81 \pm 0,46$ e $370,31 \pm 1,67$ mg L^{-1} e $4,86 \pm 0,92$ e $269,36 \pm 1,04$ mg L^{-1} , respectivamente, na época chuvosa, enquanto que na época seca as concentrações desses aniões na água variaram de $56,69 \pm 0,80$ a $374,31 \pm 1,67$ mg L^{-1} e $4,87 \pm 0,35$ a $270,24 \pm 0,85$ mg L^{-1} , respectivamente. As maiores concentrações de iões Cl^- foram observadas na amostra P03 (furo próximo da estrada EN3) em ambas as épocas. Por outro lado, as maiores concentrações de SO_4^{2-} foram observadas nas amostras do rio Umbelúzi, tanto na época chuvosa, assim como para a época seca. As concentrações de iões Cl^- nas águas subterrâneas dos furos de águas (amostras P02 e P03) encontram-se acima do valor máximo admissível (250 mg L^{-1}) pela norma moçambicana (BR, 2004). E as águas do rio Umbelúzi e da ETAG estão dentro do recomendável pela norma. As principais fontes de água na localidade de Goba possuem águas com teores de SO_4^{2-} dentro dos padrões estabelecidos ($<250 \text{ mg L}^{-1}$) pela norma moçambicana (BR, 2004), com a excepção da água do rio Umbelúzi.

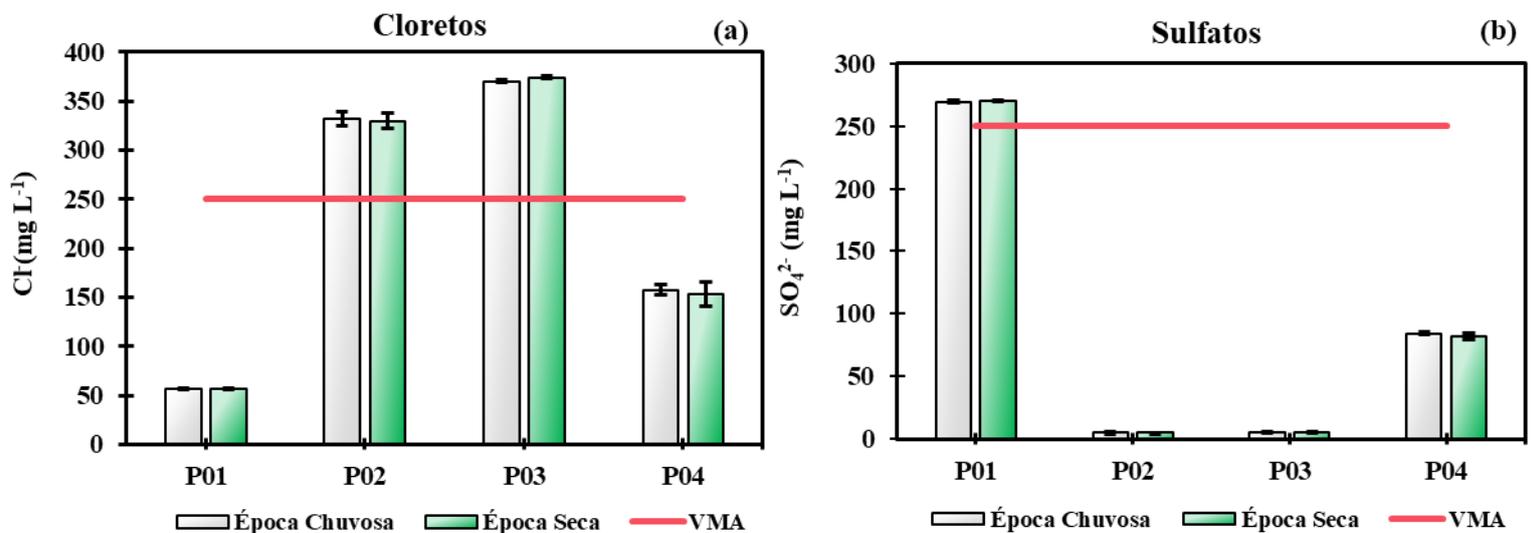


Figura 17. Variação das Concentrações dos Aniões na Água. (a) Cloretos; (b) Sulfatos.

Concentração das Espécies de Nitrogénio

A Figura 18 apresenta os resultados experimentais das espécies de nitrogénio (NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+) nas principais fontes de distribuição de águas para o consumo humano. Nota-se da Figura 18a, que a concentração de iões NO_3^- na época chuvosa e seca variaram entre $13,10 \pm 0,00$ a $76,20 \pm 0,00$ mg L^{-1} e $12,30 \pm 0,00$ a $73,20 \pm 0,00$ mg L^{-1} , respectivamente. As concentrações de NO_3^- nos furos de água estão abaixo dos limites aceitáveis, enquanto que a

água do rio Umbelúzi e da ETAG possuem níveis de NO_3^- acima do valor máximo admissível pelo BR (2004).

A Figura 18b, mostra que a concentração de iões NO_2^- na época chuvosa e seca variaram entre $0,07 \pm 0,00$ a $0,19 \pm 0,00$ e $0,03 \pm 0,00$ a $0,22 \pm 0,00$ mg L^{-1} , respectivamente. As maiores concentrações desses iões foram observadas na época seca na amostra P03 (furo de água próximo da estrada nacional EN3). Os níveis baixos de NO_2^- obtidos neste estudo encontram-se em conformidade com a norma moçambicana (BR, 2004) para todas as amostras e em ambas as épocas de estudo.

Conforme a Figura 18c, as concentrações de NH_4^+ foram observadas somente nas amostras P01 e P04, e os níveis também estão em conformidade com os padrões de qualidade de água estabelecidos pelo BR (2004). As maiores concentrações de NH_4^+ , de $0,60 \pm 0,15$ e $0,62 \pm 0,09$ mg L^{-1} , foram observadas nas águas do rio Umbelúzi durante as épocas chuvosa e seca.

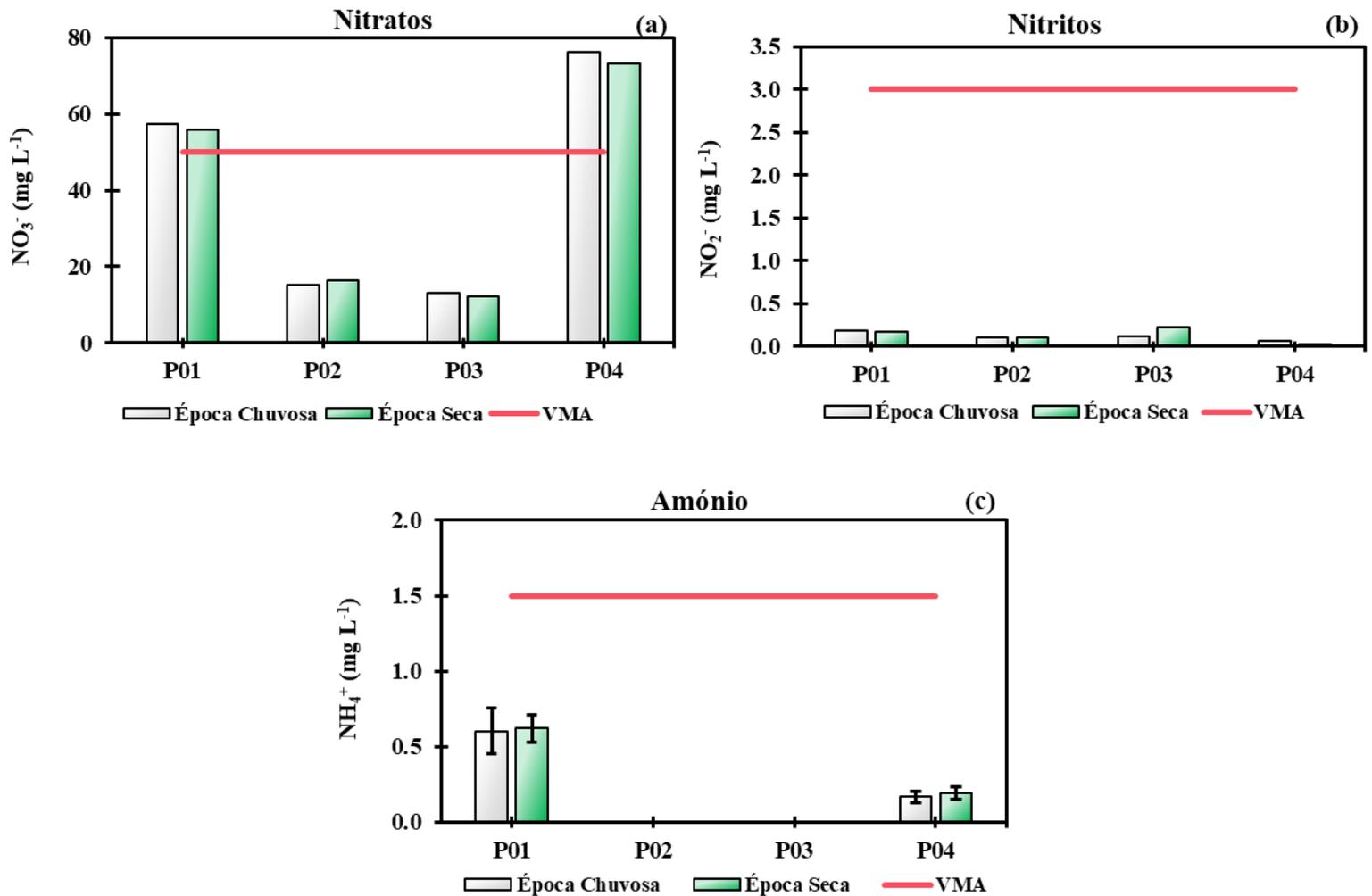


Figura 18. Variação das Concentrações das Espécies de Nitrogénio nas Águas. (a) Nitratos; (b) Nitritos e (c) Amónio.

Cloro Residual

As concentrações de cloro livre (ou residual) nos furos de águas (amostras P02 e P03) são mais elevados em comparação com a água do rio Umbelúzi e a água tratada na ETAG nas épocas chuvosa e seca. A concentração de cloro livre nas águas variou de $0,06 \pm 0,01$ a $0,27 \pm 0,02$ mg L⁻¹ na época chuvosa e de $0,05 \pm 0,01$ a $0,27 \pm 0,03$ mg L⁻¹ na época seca.

De acordo com Diploma Ministerial n° 180/2004 as águas para o consumo humano devem conter uma concentração mínima de cloro residual compreendida no intervalo entre 0,2 e 0,5 mg L⁻¹ para evitar a contaminação por microrganismos. Portanto, nota-se da Figura 19, que a concentração de cloro livre nas águas captadas no rio Umbelúzi e na ETA encontram-se abaixo do valor mínimo aceitável. Porém, as águas dos furos possuem níveis de cloro adequados. Baixos valores de cloro livre nas águas estão relacionados com a

proliferação de microrganismos, enquanto que valores acima do limite estabelecido podem causar problemas de toxicidade ao organismo.

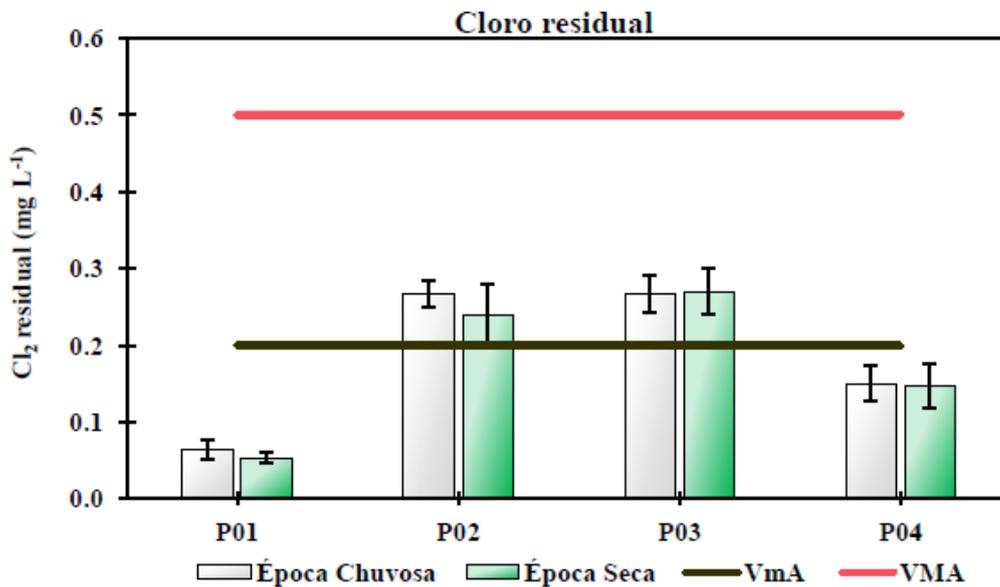


Figura 19. Variação da Concentração de Cloro Residual na Água nas Épocas Chuvosa e Seca.

Fe Total

Apresenta-se na Figura 20 as concentrações de Fe total nas épocas chuvosa e seca nos diferentes locais de amostragem. As concentrações de Fe total em ambas as épocas de estudo nos furos de águas são menores quando comparadas com as concentrações obtidas no rio e na ETA. As maiores concentrações de Fe total foram observadas na água tratada na ETAG, tendo variado entre as épocas chuvosa e seca de $0,30 \pm 0,00$ a $0,33 \pm 0,00$ mg L⁻¹. Porém, somente a água tratada analisada na época seca, possui concentração de Fe total acima do limite máximo de $0,3$ mg L⁻¹ recomendável para o consumo humano.

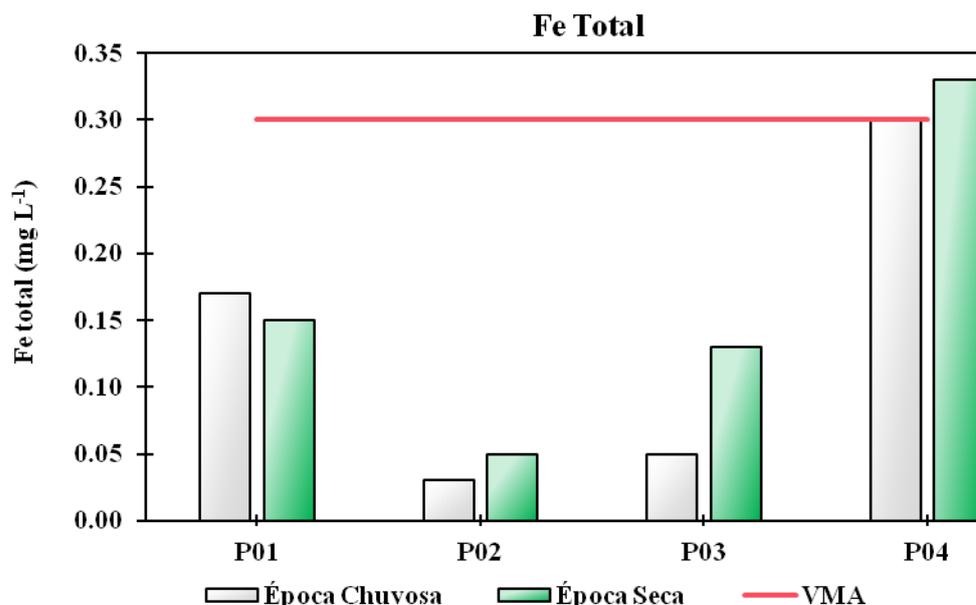


Figura 20. Variação da Concentração de Ferro Total na Água nas Épocas Chuvosa e Seca.

Matéria Orgânica

Na Figura 21 apresentam-se os resultados experimentais da determinação da MO obtidos nos locais estudados e o valor máximo admissível pelo BR (2004). Na época chuvosa as concentrações de matéria orgânica variaram entre $0,74 \pm 0,04$ e $13,07 \pm 0,35$ mg L⁻¹. E na época seca de $0,70 \pm 0,02$ a $12,90 \pm 0,45$ mg L⁻¹. Para ambas as épocas, as mínimas e máximas concentrações de matéria orgânica foram observadas na amostra P03 e na amostra P01, respectivamente. Contudo, a Figura 21 mostra que todas as amostras de água possuem teor de MO dentro dos padrões recomendáveis para o consumo humano de 2,5 mg L⁻¹, com a exceção da água do rio Umbelúzi.

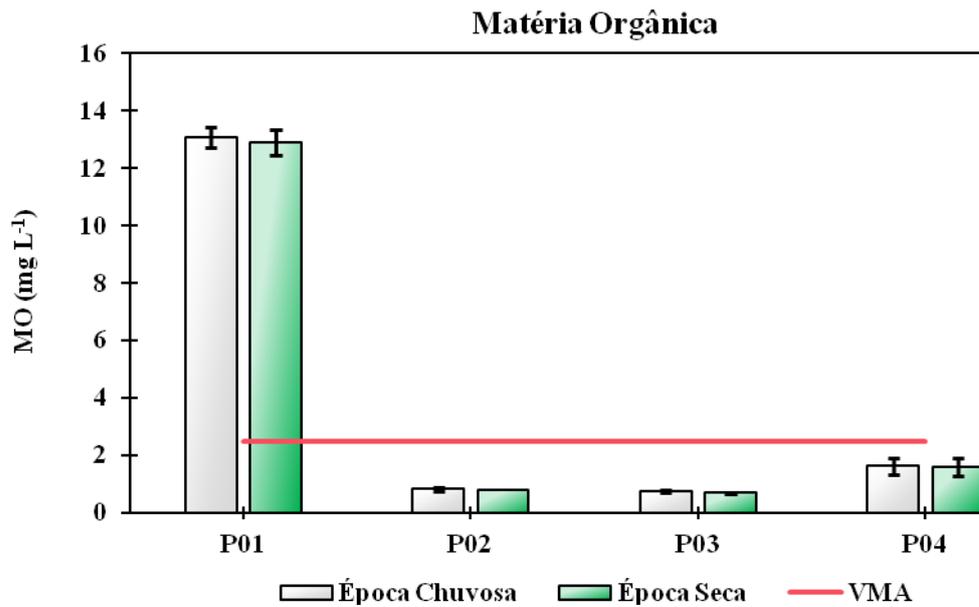


Figura 21. Variação da Concentração de MO na Água nas Épocas Chuvosa e Seca.

Parâmetros Microbiológicos

Na análise microbiológica foram determinados os parâmetros coliformes totais, coliformes fecais e *Escherichia coli*, sendo que os resultados mostram que não foi detectada a presença de coliformes fecais e *Escherichia coli* nas principais fontes de águas destinadas ao consumo humano na localidade de Goba; no entanto, foi detectada a presença de coliformes totais nas águas dos pontos de amostragem P01 e P04, 7 e 3 coliformes/100 mL, respectivamente na época chuvosa e 5 e 2 coliformes/100 mL, respectivamente na época seca, como pode ser ver na Figura 22.

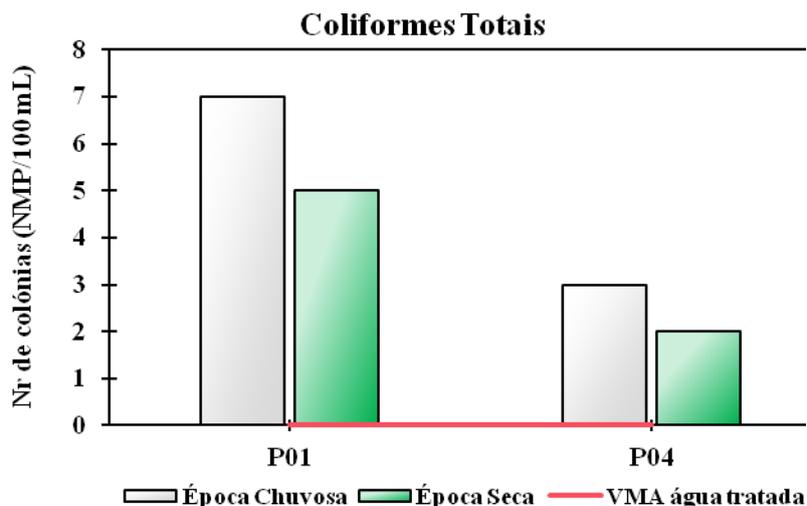


Figura 22. Variação dos Níveis de Coliformes Totais na Água nas Épocas Chuvosa e Seca.

Índices de Corrosividade das Águas

O potencial de corrosão correspondente aos valores dos índices de corrosividade (IA e ISL) é apresentado na Tabela 9. Os valores calculados de IA na época chuvosa, variaram de 10,39 (amostra P02) a 11,37 (amostra P01), e na época seca 11,69 (amostra P02) a 12,55 (amostra P03). O índice de agressividade é mais simples que ISL, pois não necessita dos valores de temperatura e TDS, contudo, é menos preciso que a ISL, pelo que é considerado como um indicador geral. Os valores de ISL, variam geralmente entre - 3 e + 3, e os valores negativos representam a água sub saturada com tendência a corroer. Neste estudo, os valores de ISL variaram de -0,17 a 0,38 na época chuvosa, e de -0,35 a 0,49 na época seca conforme pode ser visto na Tabela 9.

4.3. Eficiência da ETAG

A Tabela 11 apresenta as eficiências de remoção dos contaminantes físicos, químicos e microbiológicos na ETAG. Durante a época chuvosa, as concentrações dos parâmetros alcalinidade (14,31%), dureza total (3,36%), cálcio (3,36%), magnésio (3,28%), sódio (87,06%), potássio (88,87%), nitritos (63,16), amónio (71,67%), sulfatos (68,66%), matéria orgânica (87,53%) e coliformes totais (57,14%) diminuem nas proporções indicadas.

A ETAG, por outro lado, mostrou-se ineficiente para a remoção de certos parâmetros, uma vez que alguns parâmetros registaram aumentos na sua concentração após as etapas de

tratamento na ETAG: turvação (-1,37%), condutividade (-1,72%), TDS (-1,51%), Nitratos (-32,75%) e ferro total (-76,47%).

Durante a época seca, resultados similares são observados, sendo que parâmetros como dureza total (-1,15%) e magnésio (-2,65%), nesta época registam aumento de suas concentrações ao longo das etapas de tratamento na ETA. Estes resultados mostram que a ETAG possui uma baixa performance para aquilo que desenhada. Especialmente, para a redução de turvação e a presença de iões dissolvidos. Porém, a mesma tem desempenho aceitável para remoção da matéria orgânica, sódio, sulfatos, amónio, potássio e nitritos com percentagem de remoção acima de 60% em ambas as épocas.

No que diz respeito aos coliformes totais a percentagem de remoção esteve acima de 50% em ambas as épocas mas é importante referir que para este parâmetro a remoção deve ser completa

Tabela 11. Eficiência da ETAG

Parâmetros	Época Chuvosa			Época Seca		
	Água bruta*	Água tratada**	EF (%)	Água bruta*	Água tratada**	EF (%)
Alcalinidade	175,60	150,47	14,31	190,73	171,73	9,96
Condutividade	562,33	572,00	-1,72	555,00	557,33	-0,42
TDS	286,67	291,00	-1,51	276,00	282,00	-2,17
Turvação	146,33	148,33	-1,37	147,00	150,33	-2,27
Dureza	583,93	564,33	3,36	574,07	580,67	-1,15
Ca ²⁺	234,04	226,18	3,36	232,73	230,06	1,15
Mg ²⁺	85,31	82,51	3,28	83,29	85,50	-2,65
Cl ⁻	56,81	157,58	-177,38	56,69	153,56	-170,88
Na ⁺	651,62	84,31	87,06	640,87	82,28	87,16
K ⁺	73,75	8,21	88,87	70,35	8,15	88,42
NO ₃ ⁻	57,40	76,20	-32,75	55,80	73,20	-31,18
NO ₂ ⁻	0,19	0,07	63,16	0,17	0,03	82,35
NH ₄ ⁺	0,60	0,17	71,67	0,62	0,19	69,35
Fe total	0,17	0,30	-76,47	0,15	0,33	-120,00
SO ₄ ²⁻	269,36	84,42	68,66	270,24	82,00	69,66
MO	13,07	1,63	87,53	12,90	1,60	87,60
C. totais	7,00	3,00	57,14	5,00	2,00	60,00

*corresponde à água do Rio Umbelúzi (P01); ** corresponde a água da ETAG

4.4. Discussão dos Resultados

Este estudo envolveu a avaliação da qualidade da água para determinar se as principais fontes de água na localidade de Goba possuem padrões de potabilidade aceitáveis para o consumo humano.

A maioria dos parâmetros físico-químicos avaliados, tais como turvação, dureza total, iões Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NO_3^- e SO_4^{2-} , cloro residual e matéria orgânica, nas águas do rio Umbelúzi (amostras P01) estavam fora dos limites permitidos para a qualidade da água para uso doméstico em ambas as estações do ano, mostrando que as águas deste rio não podem ser consumidas sem tratamento prévio.

Os resultados mostram que a estação de tratamento de água de Goba (representada pelas amostras P04), apresenta baixa eficiência de redução das concentrações desses parâmetros, sendo que os níveis de turvação, dureza total, Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- e cloro residual, estavam fora dos limites permitidos para a qualidade da água para o consumo humano em ambas as estações do ano.

As fontes de água alternativa dos furos de operadores privados em Goba, amostras P02 e P03, apresentaram a maioria dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos dentro dos limites permitidos para a qualidade da água destinada ao consumo humano, excepto para a CE, TDS e iões cloretos (relacionados com a salinidade), dureza total e iões Ca^{2+} e Mg^{2+} (relacionados com a dureza total), desta forma estas águas são impróprias para o consumo humano.

A maior parte das amostras possuem valores de índice de agressividade (IA) entre 10 e 12, sendo classificadas como moderadamente corrosivas, não sendo, portanto, agressivas ao sistema de distribuição de águas em Goba. Por outro lado, as águas do rio Umbelúzi e do furo P03, na época seca apresentaram valores de IA acima de 12, mostrando uma tendência não agressiva, mas com possibilidade de deposição de carbonatos. De acordo com Kumar (2019), um ISL de zero indica que a água é estável, se o valor do ISL for negativo, a água tenderá a dissolver o carbonato de cálcio e, por inferência, ser corrosiva. Por fim, um ISL positivo indica que a água possui propensões de formar depósitos. Assim, as águas do rio Umbelúzi são ligeiramente corrosivas na época chuvosa (ISL de -0,11) e balanceadas na época seca. Por outro lado, os furos de água próximos da estrada EN3 (amostras P03) possuem características de formar depósitos com valores de ISL de 0,38 e 0,487 durante as épocas chuvosa e seca,

respectivamente. Contudo, o furo nas proximidades do centro da vila de Goba (amostra P02) apresentou águas com características mais corrosivas, especialmente na época chuvosa, com valor de ISL de -0,42. Em geral, as águas da localidade de Goba são pouco agressivas e possuem tendência de formar depósitos de calcários, especialmente na época seca, contudo essas tendências são baixas, demonstrando que o sistema de distribuição e abastecimento de água não será comprometido pela água dessas fontes.

A Tabela 10 revela diferenças estatisticamente significativas entre as amostras de água coletadas em duas estações do ano distintas ($p < 0,05$) para diversos parâmetros. Notavelmente, a alcalinidade (amostras P01 e P04), condutividade elétrica (amostras P01 e P04), dureza total (amostra P01), concentrações de Ca^{2+} (amostras P03 e P04), Mg^{2+} (P01, P03 e P04) e Cl^- (P03) demonstraram variações sazonais significativas nos locais especificados. Este fenómeno, conforme destacado por Desye et al. (2021), pode ser atribuído às características geológicas naturais e à composição mineral das rochas locais presentes nas fontes de água.

Estudos conduzidos por Trasviña (2018) indicam que os elevados valores de CE, TDS e Cl^- nos furos de água na província de Maputo devem-se à intrusão salina resultante da infiltração natural da camada semipermeável dos aquíferos confinados e à água salina fossilizada aprisionada. Porém, esses problemas de salinização das águas subterrâneas podem estar relacionados com as actuais práticas de abstração de água no aquífero que circunda a província (Verlicchi & Grillini, 2020).

Para a maioria das amostras os parâmetros de qualidade de água são maiores durante a época chuvosa em comparação com a época seca. Isto pode ser atribuído ao escoamento superficial, dissolvendo-se assim os iões pela chuva que correm aos rios (Dlamini *et al.*, 2021). Para os furos nesta situação, este facto pode ser a contaminação dos aquíferos durante a recarga dos mesmos na estação chuvosa, com sais e nutrientes a serem lixiviados para o lençol freático (Hussain *et al.*, 2015). Além disso, o aumento desses parâmetros na época chuvosa pode ser causado por factores como a geologia e os solos da área, bem como pelas actividades agrícolas (Shabalala *et al.*, 2013). Por outro lado, o aumento das concentrações de alcalinidade, turvação, dureza, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe total e SO_4^{2-} durante a época seca em comparação com a época chuvosa pode ser atribuído à diluição durante a época chuvosa (Mmualefe & Torto, 2011).

A concentração de ferro na água do rio Umbelúzi é maior na época chuvosa em comparação com a época seca. Como ilustrado nos dados meteorológicos da localidade de Goba (fig. B-1, Anexo B), a precipitação média medida, 103 mm (mês de Fevereiro de 2022), foi mais elevada durante a época chuvosa em comparação com a época seca, 13 mm (mês de Agosto 2022). De acordo com Ekström *et al.* (2016), uma maior precipitação leva a maior escoamento de ferro dos solos para as águas de superfície. Por outro lado, a concentração de ferro aumenta na ETA, e isto pode ser explicado pela dosagem excessiva do coagulante e, além disso, as etapas de coagulação e floculação são realizadas no mesmo tanque, mostrando que existe pouca eficiência para a floculação. Além disso, de acordo com a WHO (2011) se na água bruta existem compostos ferrosos, uma etapa de aeração prévia é necessária.

Os nutrientes, principalmente nitrogénio, são aplicados em campos agrícolas sob a forma de fertilizantes para promover o crescimento das culturas. Uma quantidade excessiva destes nutrientes pode causar problemas de qualidade da água ao entrar em ambientes aquáticos (Dlamini *et al.*, 2021). Elevados teores de nitratos (NO_3^-) no rio Umbelúzi, podem ser devido a escoamento de terras agrícolas, águas pluviais, sistemas sépticos com mau funcionamento e defecação a céu aberto. Elevados teores de nitratos em massas de água contribuem para a eutrofização e podem resultar na proliferação de algas e no esgotamento do oxigénio no rio. Consequentemente, o esgotamento do oxigénio resulta na mortalidade de muitos organismos aquáticos (Ekström *et al.*, 2016).

As comunidades de Goba que consomem a água tratada na ETA, têm ingerido elevados teores de nitratos, acima de 50 mg L^{-1} , causando a exposição a curto prazo. De acordo com a WHO (2011), o valor máximo aceitável de NO_3^- na água de consumo humano deve ser de 50 mg L^{-1} , pois concentrações acima deste valor são relacionadas com a metahemoglobinemia ou síndrome do bebé azul, principalmente em bebés de 3 a 6 meses. Porém, esta entidade afirma que águas com teores de nitratos entre 50 e 100 mg L^{-1} , não causam problemas se a água for microbiologicamente segura.

É notório a partir dos resultados deste estudo que existe risco de desenvolvimento da síndrome do bebé azul devido a presença de contaminação microbiana observada no rio Umbelúzi e na água tratada. Segundo a WHO (2011), a síndrome do bebé azul raramente tem sido associada com NO_3^- na ausência de contaminação fecal da água potável. A metahemoglobinemia é associada a doenças diarreicas, portanto, as autoridades médicas devem estar ainda mais vigilantes de que a água a ser ingerida por bebés é

microbiologicamente segura quando o teor NO_3^- é próximo do VMA ou na presença de diarreia infantil endémica.

O estudo conduzido por Gustafsson & Johansson (2006), ao longo do rio Umbelúzi, sugere que a concentração de NO_3^- de $0,08 \text{ mg L}^{-1}$, pode ser considerada como a concentração natural do rio uma vez que neste período havia poucas interferências humanas. Assim, pode ser notado que os elevados teores de NO_3^- são resultantes de contaminação por fontes antropogénicas que proliferam o enriquecimento em nutrientes.

A concentração de outras espécies de nitrogénio, NH_4^+ e NO_2^- , por outro lado, é muito baixa, em todos os locais em estudo. Nota-se que o teor de NO_2^- , ao longo do tratamento na ETA, diminui significativamente e a concentração de NO_3^- aumenta; de acordo com a WHO (2011), as espécies de nitrogénio são difíceis de remover em uma ETA convencional, embora a etapa de desinfecção com espécies de cloro oxide os NO_2^- , a forma mais tóxica, para formar NO_3^- .

As actividades agrícolas e alta mineralização podem ser responsáveis pela ocorrência de SO_4^{2-} no rio Umbelúzi (Elphick *et al.*, 2011). Elevados teores de sulfatos podem contribuir para um sabor indesejável na água. Além disso, o sulfato promove a metilação do mercúrio à sua forma mais tóxica e bioacumulativa, o metilmercúrio, que também promove a libertação de nutrientes dos sedimentos resultando em eutrofização (Magutywa, 2021).

As águas captadas nos furos são microbiologicamente seguras, uma vez que os resultados mostram que nos furos, P02 e P03, não foi detectada a presença dos indicadores biológicos de qualidade de água, coliformes totais, fecais e *E. coli*. A norma moçambicana para a qualidade de água assim como a WHO (2011), recomendam que os coliformes totais devem estar ausentes da água destinada ao consumo humano, sendo que a água tratada na ETAG apresenta níveis de coliformes totais acima do que é recomendável para o consumo humano, o que pode ser uma indicação de que existe um saneamento e higiene deficientes na captação e recipientes de água, uma vez que a presença de coliformes totais na água pode dar uma ideia geral sobre a qualidade da água e da saúde.

Embora a ETAG tenha reduzido o número de coliformes totais, 57% e 60%, nas épocas chuvosa e seca, respectivamente, as amostras de água tratada contêm ainda presença de bactérias e, de acordo com a WHO (2011), os coliformes totais devem estar ausentes imediatamente após a desinfecção, e a presença destes organismos indica um tratamento inadequado. Aliado a esse facto os teores de cloro livre na água tratada estão abaixo do nível

desejado para que haja uma possível desinfecção da água pós-tratamento na ETAG, durante a distribuição e abastecimento de água; contudo nas águas de Goba, a presença de coliformes totais no sistema pode permitir o recrescimento de bactérias até à chegada na torneira dos consumidores finais.

A presença de coliformes na água do rio Umbelúzi e ETAG é maior durante a época chuvosa devido a lixiviação e inadequação da estação de tratamento. De acordo com Desye *et al.*, (2021), a baixa eficiência de remoção de bactérias na etapa de desinfecção pode ser influenciada pela elevada turvação da água do rio que dificulta a desinfecção adequada, pois as partículas suspensas (responsáveis pela turvação) proporcionam protecção aos microrganismos. Além disso, alta turvação na água bruta pode sobrecarregar os processos de tratamento, permitindo a entrada de agentes patogénicos entéricos na água tratada e no sistema de distribuição.

A falta de monitorização regular da qualidade da água na estação de tratamento e no sistema de distribuição pode ser uma explicação possível para a presença de bacteriologia. Assim, para evitar que a interligação entre o local da ETAG e a torneira dos domicílios dos consumidores não acumule microrganismos patogénicos através da formação de biofilmes, é altamente recomendado que as fontes de água sejam tratadas ou fervidas a nível doméstico antes de serem utilizadas para fins domésticos.

CAPÍTULO V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Neste estudo, a avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das principais fontes de abastecimento de água na localidade de Goba, distrito de Namaacha foi utilizada para verificar a adequação das águas de furos e da ETA para o consumo humano. À luz dos objectivos e perguntas de pesquisa estabelecidos, com base nos resultados que foram apresentados, pode-se tecer as seguintes conclusões:

- a) Feita a análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos mostrou-se que as águas da localidade de Goba não possuem padrões de qualidade para o consumo humano, em virtude de todas as amostras apresentarem pelo menos um parâmetro fora dos intervalos recomendados pelo diploma ministerial n° 180/2004 de 15 de setembro de 2004;
- b) Em ambas as estações do ano, as águas do rio Umbelúzi apresentaram teores dos seguintes parâmetros fora dos padrões: turvação (146,33 e 147,00 NTU), dureza (583,93 e 574,07 mg L⁻¹), NO₃⁻ (57,40 e 55,80 mg L⁻¹), SO₄²⁻ (269,36 e 270,24 mg L⁻¹), MO (13,07 e 12,90 mg L⁻¹);
- c) Após o tratamento na ETA, notou-se que existem parâmetros fora dos padrões: turvação (148,33 e 145,33 NTU), dureza (564,33 e 580,67 mg L⁻¹), Cl₂ (0,15 mg L⁻¹), NO₃⁻ (76,20 e 73,20 mg L⁻¹), 3 e 2 coliformes/100 mL;
- d) A ETAG apresenta baixa eficiência de remoção de turvação, TDS, cloretos, nitratos e ferro total;
- e) A avaliar pelos valores do IA, as águas são moderadamente agressivas e segundo ISL estas águas possuem tendências corrosivas com a excepção da água do furo (P03) em ambas as épocas e da água do rio Umbelúzi (P01) na época seca que é saturada e estável;
- f) A presença de coliformes totais na água tratada mostra que a água que chega aos consumidores representa um risco à saúde humana;
- g) A água da ETAG possui elevados teores de NO₃⁻, o que representa um risco de desenvolvimento de metahemoglobinemia em bebés de 3 a 6 meses, sendo necessário melhorar o sistema de tratamento.

5.2. Recomendações

Com a necessidade de melhorar os serviços e elevar os padrões de qualidade da água da localidade e da estação de tratamento de Goba, recomenda-se:

- A necessidade dum tratamento preliminar adequado da água bruta, com a colocação dum sistema de aeração e uma etapa de pré-cloração, além da monitoria da carga orgânica no rio Umbelúzi;
- A aquisição de equipamentos (pHmetro, turbidímetro e colorímetro portáteis) para a monitoria operacional dos parâmetros (pH, turvação e cloro residual), durante as etapas de coagulação, sedimentação, filtração e desinfecção e o envio de amostras para análise de parâmetros microbiológicos;
- A análise dos tanques de coagulação/floculação e realização de um *Jar-test* para determinar a dosagem óptima do coagulante e a necessidade de aumentar a dosagem de cloro ou a combinação de mais de um desinfectante atendendo à elevada turvação da água do rio Umbelúzi;
- Aos operadores dos furos P02 e P03, a instalação de um sistema de tratamento de água, composto essencialmente de um purificador;
- Implementar programas para monitorar a qualidade da água dos furos baseando-se no Diploma Ministerial nº 180/2004;
- Os efluentes domésticos e agrícolas devem receber antes um tratamento mínimo para os tornar ambientalmente seguros para deposição no rio Umbelúzi;
- Os excrementos humanos devem ser impedidos de se misturarem com as fontes de água através da melhoria das fossas sépticas da localidade, a fim de prevenir a poluição da água;
- À comunidade de Goba, a fervura da água destinada a beber por pelo menos 15 minutos antes do seu uso;
- As organizações governamentais e não governamentais (ONGs) devem sensibilizar as comunidades de Goba, através de campanhas educacionais ambientais porta-a-porta sobre a adopção de boas práticas higiénicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater standard*. American Public Health Association. Washington, DC. USA.
2. Balasubramanian, A. & Nagaraju, D. (2017). *The hydrologic cycle*. Centre for Advanced Studies in Earth Science. Acedido em 15 de Janeiro de 2023, em: <https://www.researchgate.net/publication/315125743>.
3. Barbieri, M., Ricolfi, L., Vitale, S., Muteto, P. V., Nigro, A. & Sappa, G. (2019). Assessment of groundwater quality in the buffer zone of Limpopo National Park, Gaza Province, Southern Mozambique. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(1), 62–77. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3474-0>.
4. Bari, M. L. & Yeasmin, S. (2022). Microbes culture methods. In N. Rezaei (ed.). *Encyclopedia of Infection and Immunity*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818731-9.00128-2>
5. BR. (2004). *Decreto-lei no 180/2004 de 15 de Setembro - Regulamento sobre a Qualidade da Água para o Consumo Humano*. - Boletim da República, Imprensa pública de Moçambique. Maputo, Moçambique.
6. Bondy, S. C. & Campbell, A. (2018). Water quality and brain function. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1), 2–16. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010002>.
7. Brasington, J. & Richards, K. (2015). Turbidity and suspended sediment dynamics in small catchments in the Nepal Middle Hills. *Hydrological Processes*, 14(14), 2559–2574.
8. Cañedo-Argüelles, M., Kefford, B. & Schäfer, R. (2019). Salt in freshwaters: causes, effects and prospects - introduction to the theme issue. *Philosophical Transactions B*, 374(1764), 1–6. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0002>
9. Carlon, M. P. (2018). Water Quality and Contaminants, Chapter 80. In R. C. Gupta (ed.). *Veterinary Toxicology* (3rd ed.). Academic Press. Cambridge, USA. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811410-0.00080-5>.
10. Casmo, V., Lebbad, M., Maungate, S. & Lindh, J. (2018). Occurrence of *Cryptosporidium spp.* and *Cystoisospora belli* among adult patients with diarrhoea in Maputo, Mozambique. *Heliyon*, 4(9), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018>.
11. Comé, A. E. (2019). *Estudo da qualidade de água subterrânea e superficial dos distritos, de Manhiça e Matutuine - para fins do consumo humano*. Tese de

- Licenciatura em Química. Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane. 87 pp.
12. Costa, L., Ceballos, B., Meira, C. & Cavalcanti, M. (2003). Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colíforos e bacteriófagos. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 3(1), 1–23.
 13. da Silva Alves, L., Alencar Martins, L. & Bispo de Jesus, L. (2019). Avaliação da qualidade da água na bacia do rio Camarajipe (Salvador-Brasil): diagnóstico dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e determinação do IQA. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 6(1), 1–10.
 14. Dallas, H. F. & Day, J. A. (2004). *The effect of water quality Determinants on Aquatic ecosystems: A Review*. Water Research Commission. Pretoria. South Africa.
 15. de Deus, N., João, E., Cuamba, A., Cassocera, M., Luís, L., Acácio, S., Mandomando, I., Augusto, O. & Page, N. (2018). Epidemiology of rotavirus infection in children from a rural and urban area, in Maputo, Southern Mozambique, before vaccine introduction. *Journal of Tropical Pediatrics*, 64(2), 141–145.
 16. de Mello, D. (2016). *Avaliação do uso de sistemas de wetlands construídas no tratamento de esgotos sanitários*. Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 112 pp.
 17. de Siqueira, C. G., Lima, T. M. & dos Santos, M. (2022). Potability of water from artesian wells in rural communities of Sergipe Central Agreste. *Águas Subterrâneas*, 35(3), 1–9. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30112>.
 18. Desye, B., Belete, B., Asfaw Gebrezgi, Z. & Terefe Reda, T. (2021). Efficiency of treatment plant and drinking water quality assessment from source to household, Gondar City, Northwest Ethiopia. *Journal of Environmental and Public Health*, 2021(1), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2021/9974064>.
 19. Dingane, A. A. (2022). *Considerações técnicas do abastecimento de água por fornecedores privados de água em Moçambique e as suas implicações*. Tese de Licenciatura em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane. 80 pp.
 20. Dlamini, M., Chirima, G., Jovanovic, N. & Adam, E. (2021). Assessing the effects of land use on surface water quality in the lower umfolozi floodplain system, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020561>.

21. Duarte, L. G. (1999). *Maneio comunitário dos recursos naturais. Solução para os problemas de gestão do espaço na localidade de Goba?*. Tese de licenciatura em sociologia. Faculdade de letras e ciências sociais, Universidade Eduardo Mondlane. 65 pp.
22. Ekström, S. M., Regnell, O., Reader, H. E., Nilsson, P. A., Löfgren, S. & Kritzberg, E. S. (2016). Increasing concentrations of iron in surface waters as a consequence of reducing conditions in the catchment area. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 121(2), 479–493. <https://doi.org/10.1002/2015JG003141>.
23. Elphick, J. R., Davies, M., Gilron, G., Canaria, E. C., Lo, B. & Bailey, H. C. (2011). An aquatic toxicological evaluation of sulfate: The case for considering hardness as a modifying factor in setting water quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(1), 247–253. <https://doi.org/10.1002/etc.363>.
24. EPA. (2001). *Parameters of water quality: Interpretation and standards*. Environmental Protection Agency. Washington DC. USA.
25. Ferreira, J. M., Brito, A., Silva, A. R., Sampaio, J. & Tavares, T. (2012). *Manual de boas práticas para execução e exploração de furos de captação de águas subterrâneas*. Instituto Português da Qualidade. Porto, Portugal.
26. Filimão, E. (1998). *O significado do carvão nas estratégias de sobrevivência e de rendimento. O caso de Goba*. Memórias da 1ª Conferência Nacional Sobre o Maneio Comunitário dos Recursos Naturais. Maputo. Moçambique.
27. Gustafsson, A. & Johansson, M. (2006). *An investigation of nutrient levels along the Mbuluzi River - A background for sustainable water resources management*. Master Thesis in Environmental Engineering. Faculty of Engineering, Lund University. 96 pp.
28. Holcomb, D. A., Knee, J., Sumner, T., Adriano, Z., de Bruijn, E., Nalá, R., Cumming, O., Brown, J. & Stewart, J. R. (2020). Human fecal contamination of water, soil, and surfaces in households sharing poor-quality sanitation facilities in Maputo, Mozambique. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 226(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113496>.
29. Horn, L. M., Hajat, A., Sheppard, L., Quinn, C., Colborn, J., Zermoglio, M. F., Gudo, E. S., Marrufo, T. & Ebi, K. L. (2018). Association between precipitation and diarrheal disease in mozambique. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 709–719. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040709>.

30. Howard, G. & Bartram, J. (2003). *Domestic water quantity, service, level and health*. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
31. Hussain, B. A., Chandra, B. R. & Amalesh, D. (2015). A Study of the limnology and ichthyology of Dhir Beel at Dhubri, Assam, India. *International Research Journal of Biological Sciences*, 4(8), 1–12.
32. INE. (2019). *Anuário Estatístico*. Instituto Nacional de Estatística. Maputo, Moçambique.
33. Jahnen-Dechent, W. & Ketteler, M. (2012). Magnesium basics. *Clinical Kidney Journal*, 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.1093/ndtplus/sfr163>.
34. Kareem, S. L., Jaber, W. S., Al-Maliki, L. A., Al-husseiny, R. A., Al-Mamoori, S. K. & Alansari, N. (2021). Water quality assessment and phosphorus effect using water quality indices: Euphrates River- Iraq as a case study. *Groundwater for Sustainable Development*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100630>.
35. Komolafe, C. A., Agboola, B. S., Adejumo, A. O. D. & Areola, J. B. (2013). Modern conventional water treatment technologies and challenges for optimal utilization in Nigeria. *International Conference and Annual General Meeting of Nigerian Society of Engineers*, 3(1), 1–10.
36. Kumar, S. P. J. (2019). Assessment of corrosion and scaling potential of the groundwater in the Thanjavur district using hydrogeochemical analysis and spatial modeling techniques. *SN Applied Sciences*, 1(5), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0423-6>
37. Langa, E. F. (2017). *Estudo da Qualidade da Água das Principais Fontes de Abastecimento do Distrito de Namaacha-Província de Maputo para Fins Domésticos*. Tese de Licenciatura. Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane. 86 pp.
38. Lawler, D. M. (2019). Turbidity, turbidimetry, and nephelometry. In P. Worsfold, C. Poole, A. Townshend & M. Miró (eds.). *Encyclopedia of Analytical Science* (3rd ed.). Elsevier. Amsterdam, Netherland. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11006-6>.
39. Li, D. & Liu, S. (2019). *Water Quality Monitoring and Management*. 1st Edition, Academic Press. Cambridge, USA. 211–220 pp. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811330-1.00007-7>
40. Li, Y. & Migliaccio, K. (2010). *Water Quality Concepts, Sampling, and Analyses*. 1st Edition, CRC Press. Boca Raton City. <https://doi.org/10.1201/b10157>.

41. LNHA. (1997). *Métodos de análise de águas*. Laboratório Nacional de Higiene de Águas e Alimentos, Ministério da saúde. Maputo, Moçambique.
42. Magutywa, S. F. (2021). *Assessment of the water quality and quantity of the upper Liesbeek River dominated by Cannon Spring discharges: Ecological considerations for the Cannon Spring development*. Master Thesis. Department of Earth Science, University of the Western Cape. 131 pp.
43. Mareddy, A. R. (2017). *Environmental impact assessment: Theory and practice*. 1st Edition, Butterworth-Heinemann. Oxford, United Kingdom.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811139-0.00006-2>.
44. Marshall, S. J. (2013). Hydrology. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. Amsterdam, Netherland.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05356-2>.
45. Matos, A. O. (2013). *Desinfecção de água de piscinas públicas : cloro , bromo , ozono e radiação UV*. Tese de mestrado em Engenharia Sanitária. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
46. Mavanga, A. G. (2007). *Dinâmicas interactivas em projectos de manejo comunitário: O caso de Goba (2000-2005)*. Tese de Licenciatura em Sociologia. Faculdade de Letras e ciências sociais, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.
47. Meteoblue. (2023). Simulated historical climate & weather data for Namaacha Maputo, Province, Mozambique. Acedido em 17 de Janeiro de 2023 em: https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/climatemodelled/namaacha_mozambique_1034421
48. Mmualefe, L. C. & Torto, N. (2011). Water quality in the Okavango Delta. *Water SA*, 37(3), 411–418. <https://doi.org/10.4314/wsa.v37i3.68492>.
49. Möller, P. & De Lucia, M. (2020). The impact of Mg²⁺ ions on equilibration of Mg-Ca carbonates in groundwater and brines. *Geochemistry*, 80(2), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125611>.
50. Moran, S. (2018). *An applied guide to water and effluent treatment plant design*. 1st Edition, Elsevier. Amsterdam, Netherland. 69–100 pp. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811309-7.00007-2>.
51. Narasimhan, T. N. (2009). Hydrological cycle and water budgets. In G. E. Likens (ed.). *Encyclopedia of inland waters*. Academic Press. Cambridge, USA. 714–720 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00010-7>.

52. Oliveira, C. & Rubio, J. (2011). *Mecanismos, técnicas e aplicações da agregação no tratamento mineral e ambiental*. CETEM. Rio de Janeiro. 16-20 pp.
53. Peixoto, C. V. A. D. V. & Johann, L. (2021). Water quality assessment of tabular wells in the groundwater in the city of Paracuru-Ceará, Brazil. *Águas Subterrâneas*, 35(1), 1–7. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.30002>.
54. Percival, S. L. & Wyn-Jones, P. (2014). Methods for the detection of waterborne viruses, Chapter 22. In S. L. Percival, M. V. Yates, D. W. Williams, R. M. Chalmers & N. F. Gray. *Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks* (2nd Ed.). Academic Press, Cambridge, USA. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415846-7.00022-6>.
55. Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Bartram, J., Clasen, T., Cumming, O., Freeman, M. C., Gordon, B., Hunter, P. R., Medlicott, K. & Johnston, R. (2019). Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 765–777.
56. Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J. & Johnson, K. M. (2009). *Water Supply*. 6th Edition, Butterworth-Heinemann. Oxford, United Kingdom. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6843-9.X0001-7>.
57. Ricolfi, L., Barbieri, M., Muteto, P. V., Nigro, A., Sappa, G. & Vitale, S. (2020). Potential toxic elements in groundwater and their health risk assessment in drinking water of Limpopo National Park, Gaza Province, Southern Mozambique. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(9), 2733–2745.
58. Rocha, V. V. F., dos Santos, I. F. S., Silva, A. M. L., Sant’Anna, D. O., Junho, A. L. & Barros, R. M. (2020). Clarification of high-turbidity waters: a comparison of *Moringa oleifera* and virgin and recovered aluminum sulfate-based coagulants. *Environment, Development and Sustainability*, 22(5), 4551–4562.
59. Rodriguez-Narvaez, O. M., Peralta-Hernandez, J. M., Goonetilleke, A. & Bandala, E. R. (2017). Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. *Chemical Engineering Journal*, 323(1), 361–380.
60. ROSC. (2013). *O Direito á água e ao saneamento como um pilar chave para o desenvolvimento humano, Moçambique*. Fórum da Sociedade Civil para os Direitos da Criança, Maputo, Moçambique.

61. Roy, R. (2018). An Introduction to water quality analysis. *ESSENCE-International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation*, 9(2), 94–100. <https://doi.org/10.31786/09756272.18.9.2.214>.
62. Semá Baltazar, C., Langa, J. P., Dengo Baloi, L., Wood, R., Ouedraogo, I., Njanpop-Lafourcade, B.-M., Inguane, D., Elias Chitio, J., Mhlanga, T., Gujral, L., D. Gessner, B., Munier, A. & Mengel, M. (2017). Multi-site cholera surveillance within the African Cholera Surveillance Network shows endemicity in Mozambique, 2011–2015. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 11(10), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005941>.
63. Shabalala, A. N., Combrinck, L., & McCrindle, R. (2013). Effect of farming activities on seasonal variation of water quality of Bonsma Dam, KwaZulu-Natal. *South African Journal of Science*, 109(8), 1–7. <https://doi.org/10.1590/sajs.2013/20120052>.
64. Silva, G. G., Naval, L. P., Bernardo, L. D & Dantas, A. D. B. (2012). Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 17(1), 71–80. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000100011>.
65. Silva, R. R., Santos, J. C. V. dos, Silva, Y. A. da, Paiva, S. C. de, Sarubbo, L. A. & Luna, J. M. de. (2021). Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química da água de um trecho do Rio Capibaribe, no município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 7(6), 62847–62866.
66. Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J. & Crouch, R. S. (2014). *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 9th edition, Brooks/Cole, Cengage Learning. San Francisco, USA.
67. Sun, Y., Zhou, S., Chiang, P.C. & Shah, K. J. (2019). Evaluation and optimization of enhanced coagulation process: Water and energy nexus. *Water-Energy Nexus*, 2(1), 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.01.001>.
68. Tamele, L. F. (2018). *Avaliação da Qualidade e Disponibilidade das Águas Subterrâneas do Grande Maputo*. Tese de Licenciatura. Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo. 102 pp.
69. Tang, X., Zheng, H., Teng, H., Sun, Y., Guo, J., Xie, W., Yang, Q. & Chen, W. (2016). Chemical coagulation process for the removal of heavy metals from water: a review. *Desalination and Water Treatment*, 57(4), 1733–1748.
70. Tech Brief. (2000). *Slow sand filtration: A national drinking water clearinghouse fact sheet*. National Drinking Water Clearinghouse. Washington DC, USA.

71. Teh, C. Y., Budiman, P. M., Shak, K. P. Y. & Wu, T. Y. (2016). Recent advancement of coagulation-flocculation and its application in wastewater treatment. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55(16), 4363–4389.
72. Temkin, A., Evans, S., Manidis, T., Campbell, C. & Naidenko, O. V. (2019). Exposure-based assessment and economic valuation of adverse birth outcomes and cancer risk due to nitrate in United States drinking water. *Environmental Research*, 176(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.009>.
73. Terzi, E. & Verep, B. (2012). Effects of water hardness and temperature on the acute toxicity of mercuric chloride on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Toxicology and Industrial Health*, 28(6), 499–504.
74. Tongesayi, S. & Tongesayi, T. (2017). Water quality and public health: Role of wastewater, Chapter 17. In S. Ahuja (ed.). *Chemistry and water: The science behind sustaining the world's most crucial resource*. Elsevier Inc. Amsterdam, Netherland. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809330-6.00017-9>
75. Trasviña, J. A. C. (2018). *Assessing saltwater intrusion in the Great Maputo aquifer under natural conditions and human pressure with numerical models*. Master thesis in science. UNESCO-IHE Institute for Water Education.
76. Trick, J. K., Stuart, M. & Reeder, S. (2018). Contaminated groundwater sampling and quality control of water analyses, Chapter 3. In B. De Vivo, H. E. Belkin & A. Lima (ed.). *Environmental Geochemistry: Site characterization, data analysis and case histories* (2nd ed.). Elsevier. Amsterdam, Netherland. doi.org/10.1016/B978-0-444-63763-5.00004-5.
77. Uamusse, A. J. (2015). *Estudo da qualidade de água dos poços e furos para fins domésticos no distrito de Chigubo, província de Gaza*. Tese de licenciatura em Química. Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, Moçambique.
78. UN. (2010). *The Human Right to Water and Sanitation*. United Nations, New York, USA.
79. UN. (2016). *Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations, New York, USA.
80. UNEP/WHO. (1996). *Water quality monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. United Nations Environment Programme and World Health Organization. Geneva, Switzerland.

81. van den Berg, H., Quaye, M. N., Nguluve, E., Schijven, J. & Ferrero, G. (2021). Effect of operational strategies on microbial water quality in small scale intermittent water supply systems: The case of Moamba, Mozambique. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 236(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113794>.
82. Vergínia, F. D. (2017). Monitoramento da estação de tratamento de água do município de Imbituba-SS. Tese de Licenciatura em Química. Universidade do Sul de Santa Catarina. Curitiba.
83. Verlicchi, P. & Grillini, V. (2020). Surface water and groundwater quality in South Africa and Mozambique-analysis of the most critical pollutants for drinking purposes and challenges in water treatment selection. *Water*, 12(1), 305–325.
<https://doi.org/10.3390/w12010305>.
84. Vilanculo, A. da S. (2014). *Avaliação da eficiência na remoção de turbidez usando o Sulfato de Alumínio [Al₂(SO₄)₃.10H₂O]. Caso de Estudo: ETA-Mutua/FIPAG-Beira* Tese de licenciatura em Engenharia Rural. Universidade Eduardo Mondlane. Inhambane. 57 pp.
85. WHO/UNICEF. (2017). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*. World Health Organization & United Nations Children's Fund. Geneva, Switzerland.
86. WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
87. Yadav, A. K. (2016). *Physicochemical studies on assessment of ground water quality of Kota District*. Bachelor thesis in Chemistry. Faculty of Science, University of Kota. Kota, India.

ANEXOS

ANEXO A. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Tabela A-1. Resultados das Análises para o Tempo Chuvoso

Parâmetros	Ponto de amostragem	Tempo chuvoso						
		R1	R2	R3	Média	s	IC	RSD
Temperatura	P01	22,00	21,00	20,90	21,30	0,61	1,51	2,86
	P02	20,70	22,30	21,10	21,37	0,83	2,07	3,90
	P03	21,30	20,50	21,70	21,17	0,61	1,52	2,89
	P04	20,10	21,70	20,50	20,77	0,83	2,07	4,01
pH	P01	6,82	6,92	6,91	6,88	0,06	0,06	0,80
	P02	7,31	7,32	7,32	7,32	0,01	0,01	0,08
	P03	8,22	8,28	8,24	8,25	0,03	0,03	0,37
	P04	6,94	6,90	6,91	6,92	0,02	0,02	0,30
Alcalinidade	P01	172,20	179,00	175,60	175,60	3,40	3,85	1,94
	P02	33,60	30,40	39,40	34,47	4,56	5,16	13,24
	P03	30,00	29,40	21,00	26,80	5,03	5,69	18,78
	P04	153,00	151,00	147,40	150,47	2,84	3,21	1,89
Condutividade	P01	560,00	563,00	564,00	562,33	2,08	2,36	0,37
	P02	2015,00	2010,00	2010,00	2011,67	2,89	3,27	0,14
	P03	2025,00	2017,00	2019,00	2020,33	4,16	4,71	0,21
	P04	571,00	573,00	572,00	572,00	1,00	1,13	0,17
TDS	P01	285,00	287,00	288,00	286,67	1,53	1,73	0,53
	P02	1040,00	1033,00	1032,00	1035,00	4,36	4,93	0,42
	P03	1050,00	1042,00	1045,00	1045,67	4,04	4,57	0,39
	P04	289,00	292,00	292,00	291,00	1,73	1,96	0,60
Turvação	P01	145,00	146,00	148,00	146,33	1,53	1,73	1,04
	P02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P04	150,00	148,00	147,00	148,33	1,53	1,73	1,03
Dureza	P01	583,80	580,00	588,00	583,93	4,00	4,53	0,69
	P02	604,00	613,00	603,60	606,87	5,32	6,01	0,88
	P03	584,00	592,00	596,00	590,67	6,11	6,91	1,03
	P04	560,00	565,00	568,00	564,33	4,04	4,57	0,72
Cálcio	P01	234,00	232,46	235,67	234,04	1,61	1,82	0,69
	P02	242,08	241,92	245,69	243,23	2,13	2,41	0,88
	P03	224,45	226,05	230,06	226,85	2,89	3,27	1,27
	P04	224,45	227,65	226,45	226,18	1,62	1,83	0,71

Continuação da Tabela A-1

Parâmetros	Ponto de amostragem	Tempo chuvoso						
		R1	R2	R3	Média	s	IC	RSD
Magnésio	P01	85,16	84,80	85,97	85,31	0,60	0,68	0,70
	P02	88,31	89,62	88,25	88,73	0,77	0,88	0,87
	P03	87,73	89,29	89,29	88,77	0,90	1,02	1,01
	P04	81,87	83,05	82,61	82,51	0,60	0,67	0,72
Cloretos	P01	57,05	57,05	56,34	56,81	0,41	0,46	0,72
	P02	326,82	338,52	330,37	331,90	6,00	6,79	1,81
	P03	370,78	368,65	371,49	370,31	1,48	1,67	0,40
	P04	153,80	162,30	156,63	157,58	4,33	4,90	2,75
Sódio	P01	651,62	651,62	651,62	651,62	0,00	0,00	0,00
	P02	36,69	36,69	36,69	36,69	0,00	0,00	0,00
	P03	35,96	35,96	35,96	35,96	0,00	0,00	0,00
	P04	84,31	84,31	84,31	84,31	0,00	0,00	0,00
Potássio	P01	73,75	73,75	73,75	73,75	0,00	0,00	0,00
	P02	7,26	7,26	7,26	7,26	0,00	0,00	0,00
	P03	8,62	8,62	8,62	8,62	0,00	0,00	0,00
	P04	8,21	8,21	8,21	8,21	0,00	0,00	0,00
Cloro residual	P01	0,07	0,05	0,07	0,06	0,01	0,01	18,23
	P02	0,28	0,27	0,25	0,27	0,02	0,02	5,73
	P03	0,29	0,26	0,25	0,27	0,02	0,02	7,81
	P04	0,15	0,13	0,17	0,15	0,02	0,02	13,33
Nitratos	P01	57,40	57,40	57,40	57,40	0,00	0,00	0,00
	P02	15,20	15,20	15,20	15,20	0,00	0,00	0,00
	P03	13,10	13,10	13,10	13,10	0,00	0,00	0,00
	P04	76,20	76,20	76,20	76,20	0,00	0,00	0,00
Nitritos	P01	0,19	0,19	0,19	0,19	0,00	0,00	0,00
	P02	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
	P03	0,12	0,12	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00
	P04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00
Amónio	P01	0,45	0,70	0,66	0,60	0,13	0,15	22,26
	P02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P04	0,13	0,20	0,17	0,17	0,04	0,04	21,07
Fe total	P01	0,17	0,17	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00
	P02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00
	P03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
	P04	0,30	0,30	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00

Continuação da Tabela A-1

Parâmetros	Ponto de amostragem	Tempo chuvoso						
		R1	R2	R3	Média	s	IC	RSD
Sulfatos	P01	268,33	270,08	269,68	269,36	0,92	1,04	0,34
	P02	5,63	4,01	4,95	4,86	0,81	0,92	16,73
	P03	4,38	5,20	5,59	5,06	0,62	0,70	12,21
	P04	84,10	85,60	83,56	84,42	1,06	1,20	1,25
Matéria Orgânica	P01	13,40	12,80	13,00	13,07	0,31	0,35	2,34
	P02	0,88	0,79	0,80	0,82	0,05	0,06	5,99
	P03	0,70	0,75	0,77	0,74	0,04	0,04	4,87
	P04	1,60	1,40	1,90	1,63	0,25	0,28	15,41
Coliformes Totais	P01	7,00	7,00	7,00	7,00	0,00	0,00	0,00
	P02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P04	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00

Tabela A-2. Resultados das Análises Para o Tempo Seco

Parâmetros	Ponto de amostragem	Época Seca						
		R1	R2	R3	Media	S	IC	RSD
Temperatura	P01	20,10	22,30	20,40	20,93	1,19	2,96	5,70
	P02	21,70	21,90	22,50	22,03	0,42	1,03	1,89
	P03	20,80	20,70	21,40	20,97	0,38	0,94	1,81
	P04	21,50	21,00	20,90	21,13	0,32	0,80	1,52
pH	P01	6,90	7,10	6,92	6,97	0,11	0,12	1,58
	P02	7,30	7,35	7,37	7,34	0,04	0,04	0,49
	P03	8,32	8,30	8,28	8,30	0,02	0,02	0,24
	P04	6,83	6,89	6,61	6,78	0,15	0,17	2,18
Alcalinidade	P01	183,20	191,80	197,20	190,73	7,06	7,99	3,70
	P02	34,00	33,60	42,40	36,67	4,97	5,62	13,55
	P03	30,00	30,40	30,80	30,40	0,40	0,45	1,32
	P04	171,20	168,80	175,20	171,73	3,23	3,66	1,88
Condutividade	P01	553,00	555,00	557,00	555,00	2,00	2,26	0,36
	P02	2010,00	2005,00	2007,00	2007,33	2,52	2,85	0,13
	P03	2018,00	2009,00	2014,00	2013,67	4,51	5,10	0,22
	P04	556,00	559,00	557,00	557,33	1,53	1,73	0,27

Continuação da Tabela A-2

Parâmetros	Ponto de amostragem	Época Seca						
		R1	R2	R3	Media	s	IC	RSD
TDS	P01	275,00	274,00	279,00	276,00	2,65	2,99	0,96
	P02	1035,00	1028,00	1026,00	1029,67	4,73	5,35	0,46
	P03	1040,00	1030,00	1033,00	1034,33	5,13	5,81	0,50
	P04	279,00	285,00	282,00	282,00	3,00	3,39	1,06
Turvação	P01	147,00	149,00	145,00	147,00	2,00	2,26	1,36
	P02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P04	151,00	150,00	150,00	150,33	0,58	0,65	0,38
Dureza	P01	578,20	574,00	570,00	574,07	4,10	4,64	0,71
	P02	610,00	614,00	616,00	613,33	3,06	3,46	0,50
	P03	584,00	592,00	596,00	590,67	6,11	6,91	1,03
	P04	584,00	576,00	582,00	580,67	4,16	4,71	0,72
Cálcio	P01	234,07	230,86	233,27	232,73	1,67	1,89	0,72
	P02	244,48	246,09	246,89	245,82	1,23	1,39	0,50
	P03	234,07	237,27	238,88	236,74	2,45	2,77	1,03
	P04	231,66	230,06	228,46	230,06	1,60	1,81	0,70
Magnésio	P01	83,97	83,73	82,16	83,29	0,98	1,11	1,18
	P02	89,19	89,77	90,06	89,67	0,44	0,50	0,49
	P03	85,38	86,55	87,16	86,36	0,90	1,02	1,05
	P04	85,97	84,26	86,26	85,50	1,08	1,22	1,26
Cloretos	P01	56,69	55,98	57,40	56,69	0,71	0,80	1,25
	P02	329,66	322,57	336,75	329,66	7,09	8,02	2,15
	P03	372,65	374,78	375,49	374,31	1,48	1,67	0,39
	P04	155,92	141,74	163,01	153,56	10,83	12,26	7,05
Sódio	P01	640,87	640,87	640,87	640,87	0,00	0,00	0,00
	P02	36,20	36,20	36,20	36,20	0,00	0,00	0,00
	P03	33,78	33,78	33,78	33,78	0,00	0,00	0,00
	P04	82,28	82,28	82,28	82,28	0,00	0,00	0,00
Potássio	P01	70,35	70,35	70,35	70,35	0,00	0,00	0,00
	P02	6,90	6,90	6,90	6,90	0,00	0,00	0,00
	P03	7,51	7,51	7,51	7,51	0,00	0,00	0,00
	P04	8,15	8,15	8,15	8,15	0,00	0,00	0,00
Cloro residual	P01	0,05	0,05	0,06	0,05	0,01	0,01	10,83
	P02	0,25	0,20	0,27	0,24	0,04	0,04	15,02
	P03	0,28	0,29	0,24	0,27	0,03	0,03	9,80
	P04	0,12	0,15	0,17	0,15	0,03	0,03	17,16

Continuação da Tabela A-2

Parâmetros	Ponto de amostragem	Época Seca						
		R1	R2	R3	Media	s	IC	RSD
Nitratos	P01	55,80	55,80	55,80	55,80	0,00	0,00	0,00
	P02	16,30	16,30	16,30	16,30	0,00	0,00	0,00
	P03	12,30	12,30	12,30	12,30	0,00	0,00	0,00
	P04	73,20	73,20	73,20	73,20	0,00	0,00	0,00
Nitritos	P01	0,17	0,17	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00
	P02	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
	P03	0,22	0,22	0,22	0,22	0,00	0,00	0,00
	P04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00
Amónio	P01	0,70	0,54	0,63	0,62	0,08	0,09	12,87
	P02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P04	0,15	0,22	0,20	0,19	0,04	0,04	18,98
Fe total	P01	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00
	P02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
	P03	0,13	0,13	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00
	P04	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00
Sulfatos	P01	270,83	270,50	269,40	270,24	0,75	0,85	0,28
	P02	5,21	4,80	4,60	4,87	0,31	0,35	6,39
	P03	5,28	4,80	5,38	5,15	0,31	0,35	6,02
	P04	80,20	84,50	81,30	82,00	2,23	2,53	2,72
Matéria Orgânica	P01	12,50	12,90	13,30	12,90	0,40	0,45	3,10
	P02	0,81	0,80	0,80	0,80	0,01	0,01	0,72
	P03	0,68	0,70	0,72	0,70	0,02	0,02	2,86
	P04	1,30	1,70	1,80	1,60	0,26	0,30	16,54
Coliformes Totais	P01	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00
	P02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P04	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00

ANEXO B. DADOS CLIMÁTICOS DE GOBA EM 2022

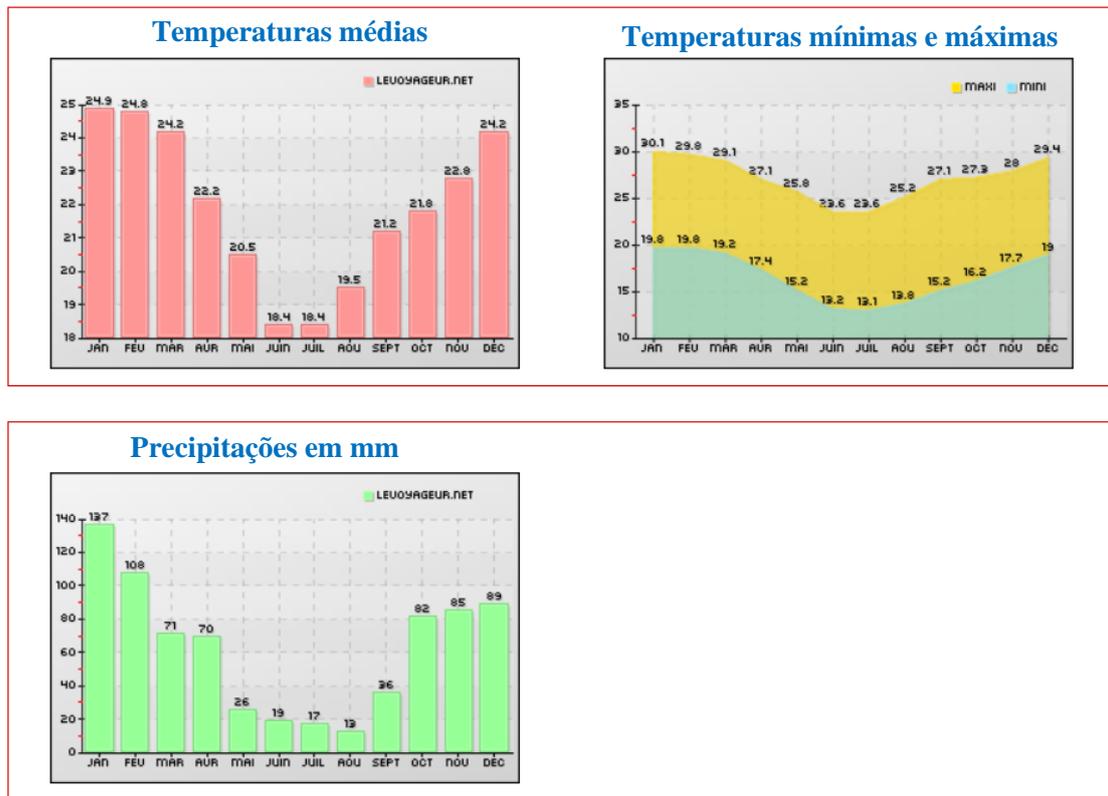


Figura B-1. Dados Meteorológicos da Localidade de Goba em 2022.

Fonte: Meteoblue (2023).

ANEXO C. CÁLCULO DOS ÍNDICES ISL E IA

As fórmulas abaixo são utilizadas para a calcular os parâmetros A, B, C e D necessários para o cálculo do pHs da equação do índice ISL.

$$A = \frac{\log[TDS] - 1}{10} \quad Eq. (C - 1)$$

$$B = -13.12 \times \log[T(^{\circ}C) + 273] + 34.55 \quad Eq. (C - 2)$$

$$C = \log[DT] - 0.4 \quad Eq. (C - 3)$$

$$D = \log[AT] \quad Eq. (C - 4)$$

Tabela C-1. Classificação das Águas de Acordo com os Índices IA e ISL.

Índice	Classificação da Água	Necessidade de Tratamento
Índice de Agressividade (IA)		
<10.0	Águas muito agressivas	Necessita de condicionamento
10 a 12	Moderadamente agressivas	Condicionamento não necessário
>12.0	Águas não agressivas	Condicionamento geralmente não necessário
Índice de Saturação de Langelier (ISL)		
< 0	A água não é saturada e possui tendência corrosiva	Necessita de condicionamento
= 0	A água é saturada e estável	Condicionamento não necessário
> 0	A água é supersaturada e possui tendência de depositar	Necessita de condicionamento

Tabela C-2. Resultados do Cálculo do IA.

Amostras	Época Chuvosa				Época Seca			
	pH	AT	DT	IA	pH	AT	DT	IA
P01	6,88	175,60	583,93	11,37	6,97	190,73	574,07	12,01
P02	7,32	34,47	606,87	10,39	7,34	36,67	613,33	11,69
P03	8,25	26,80	590,67	11,10	8,30	30,40	590,67	12,55
P04	6,92	150,47	564,33	11,27	6,78	171,73	580,67	11,78

Tabela C-3. Resultados do Cálculo do ISL na Época Chuvosa.

Amostras	Índice de ISL - Época Chuvosa										
	TDS	T	DT	AT	A	B	C	D	pHs	pH	ISL
P01	286,67	21,30	583,93	175,60	0,15	2,16	2,37	2,24	6,99	6,88	-0,11
P02	1035,00	21,37	606,87	34,47	0,20	2,16	2,38	1,54	7,74	7,32	-0,42
P03	1045,67	21,17	590,67	26,80	0,20	2,16	2,37	1,43	7,86	8,25	0,38
P04	291,00	20,77	564,33	150,47	0,15	2,17	2,35	2,18	7,09	6,92	-0,17

Tabela C-4. Resultados do Cálculo do ISL na Época Seca

Amostras	Índice de ISL - Época Seca										
	TDS	T	DT	AT	A	B	C	D	pHs	pH	ISL
P01	276,00	20,93	574,07	190,73	0,14	2,17	2,36	2,28	6,97	6,97	0,00
P02	1029,67	22,03	613,33	36,67	0,20	2,15	2,39	1,56	7,69	7,34	-0,35
P03	1034,33	20,97	590,67	30,40	0,20	2,17	2,37	1,48	7,81	8,30	0,49
P04	282,00	21,13	580,67	171,73	0,15	2,16	2,36	2,23	7,01	6,78	-0,23

ANEXO D. FOTOGRAFIAS DE AMOSTRAGEM



Figura D-1. Colecta das Amostras no Rio Umbelúzi (P01).



Figura D-2. Colecta das Amostras no furo Próximo da Vila de Goba (P02).



Figura D- 3. Colecta das Amostras no Furo Próximo da EN3 (P03).



Figura D-4. Colecta das Amostras na ETAG (P04).

ANEXO E. PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM

A Tabela E-1 mostra as referências das técnicas experimentais usadas no laboratório da AdRMM

Tabela E-1. Tabela E-1. Técnicas Experimentais Indexadas no Catálogo da MERCK.

Parâmetros	Nº do Catálogo	Métodos de Análise
Sódio (Na)	100885	Método colorimétrico com tiocianato de mercúrio (II)
Potássio (K)	114562	Método colorimétrico com tetrafenilborato de sódio
Ferro (Fe)	114761	Método colorimétrico com triazina tamponada com tioglicolato
Sulfato (SO₄²⁻)	101812	APHA 4500-SO ₄ ²⁻ - Método turbidimétrico com cloreto de bário
Nitratos (NO₃⁻)	109713	DIN 38405-9 - Método colorimétrico com 2,6-dimetilfenol
Nitritos (NO₂⁻)	114776	APHA 4500-NO ₂ ⁻ - Método colorimétrico com ácido sulfanílico
Amónio (NH₄⁺)	114657	4500-NH ₄ – Método colorimétrico com indofenol – fenato



a)



b)

Figura E-1. Instrumentos de Análises Microbiológicas. a) Quanti-tray; b) Incubadora da marca IncoTherm para Determinação de Coliformes Fecais.