



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LICENCIATURA EM GEOLOGIA APLICADA

PROJECTO CIENTÍFICO

Estudo comparativo espacial e temporal das águas superficiais a partir dos parâmetros físico-químicos, no Posto Administrativo de Bela Vista, Distrito de Matutuine

Autora: Lenilde Júlia Inguana Mabjaia

Maputo, Dezembro de 2025



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LINCENCIATURA EM GEOLOGIA APLICADA

PROJECTO CIENTÍFICO

Estudo comparativo espacial e temporal das águas superficiais a partir dos parâmetros físico-químicos, no Posto Administrativo de Bela Vista, Distrito de Matutuine

Autora: Lenilde Júlia Inguana Mabjaia

Supervisor: Prof. Doutor Elónio Muiuane (UEM, Departamento de Geologia).

Maputo, Dezembro de 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde, força e perseverança durante toda esta caminhada.

Agradeço profundamente aos meus pais, que sempre acreditaram em mim e foram meu porto seguro em todos os momentos e nas horas de incerteza

Ao meu supervisor Professor Doutor Elónio Muiuane, pela paciência e pelas orientações que foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos e aos colegas do curso, em especial ao “*hotspot*” (Elizabeth, Jenifa, Milene, Fernando, João, Jesse, Mário, Gladys, Wilva, Zainadino, Vicente, Valto), Evelina, Prudence, Leocádia e Cenissa, que transformaram os momentos difíceis em aprendizado e os dias cansativos em risadas e leveza, e pelas palavras de encorajamento durante esta trajetória.

Ao Departamento de Geologia da UEM e os docentes do curso, pelos ensinamentos transmitidos e pela contribuição à minha formação académica, e aos funcionários em geral do departamento

Por fim, agradeço a todos que, directa ou indirectamente, contribuíram para esta conquista.

DEDICATÓRIA

Eu dedico este trabalho aos meus pais, Carlos Dinis Arão Majaia (*in memorial*) e a Paula Elisa Inguane Majaia, que sempre me apoiaram com amor, paciência e incentivo em cada etapa da minha vida acadêmica.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Lenilde Júlia Inguana Mabjaia**, declaro por minha honra que este Projecto Científico é da minha autoria, não foi submetido ou apresentado em nenhuma outra instituição de ensino nacional ou estrangeira para obtenção de qualquer grau académico e é resultante da investigação sob orientações do meu supervisor.

Maputo, Novembro de 2025

(Lenilde Júlia Inguana Mabjaia)

RESUMO

Este trabalho tem como objectivo avaliar a variação da qualidade da água usada para fins domésticos pela população da vila de Bela vista. Constitui-se na análise de amostras laboratoriais para a determinação de parâmetros físico-químicos, e na visita a área de estudo previamente seleccionado, com o objectivo de colecta das amostras de água para fins de análises laboratoriais. Para a determinação dos parâmetros físico-químicos das amostras de água colectadas, foram usados os seguintes métodos, Volumetria, Turbidimetria, Potenciometria, Condutimetria, Fotometria de chama. As análises das amostras colhidas foram realizadas no Laboratório Nacional de Higiene de Águas e Alimentos (LNHAA). No entanto, os dados não abrangem a totalidade dos parâmetros físico-químicos necessários para uma avaliação completa da água destinada ao consumo, limitando-se apenas aos parâmetros considerados mais relevantes para esse fim. Os resultados obtidos das análises mostram um comportamento normal das concentrações dos iões analisados, devido ao pouco ou nenhum impacto das actividades de mineração de calcário para a produção de cimento naquela área de estudo. Em relação a hidrogeologia da região, os furos mais próximos sob a gestão de DNGRH estão situados, o mais próximo, a 50km, tornando a análise comparativa difícil devido a distância em relação a outras fontes consideradas para o estudo.

Palavras-chave: água superficial; parâmetros físico-químicos, qualidade de água.

Índice

AGRADECIMENTOS	i
DEDICATÓRIA	ii
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	iii
RESUMO.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ANEXOS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS	viii
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Apresentação do problema.....	2
1.2. Relevância do estudo.....	3
1.3. Objectivos	3
1.3.1. Objectivo geral.....	3
1.3.2. Objectivos específicos	3
CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Ciclo hidrológico	4
2.2. Água subterrânea	5
2.2.1. Meios de exploração de águas subterrâneas	7
2.2.2. Relevância das águas subterrâneas	7
2.2.3. Reservatórios naturais de água subterrânea	8
2.3. Qualidade da água subterrânea	10
2.3.1. Parâmetros de qualidade das águas subterrâneas.....	11
CAPÍTULO III: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
3.1. Enquadramento geográfico	19
3.1.1. Localização geográfica da área de estudo.....	19
3.1.2. Clima e Hidrografia	20
3.1.3. Geomorfologia e Solos	21
3.2. Enquadramento geológico	22
3.2.1. Geologia regional.....	22
3.2.2. Geologia local	23
3.3. Enquadramento hidrogeológico	26
3.3.1. Recursos hídricos superficiais.....	26
3.3.2. Hidrogeologia	27
CAPITULO IV: MATERIAS E METODOLOGIA.....	30

4.1. Materiais	30
4.2. Metodologia	30
4.2.1. Revisão bibliográfica	30
4.2.2. Trabalho de campo.....	30
4.2.3. Trabalho de laboratório.....	31
4.2.4. Elaboração de relatório final.....	33
CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	34
5.1. Parâmetros físicos	34
5.1.1. Conductividade Eléctrica	34
5.1.2. Turvação	35
5.1.3. pH.....	35
5.1.4. Dureza Total.....	36
5.2. Parâmetros químicos	37
5.2.1. Nitratos.....	37
5.2.2. Nitritos	37
5.2.3. Cloretos	38
5.2.4. Amoníacos	38
5.3. Discussão dos resultados.....	39
CAPÍTULO VI. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	41
6.1. Conclusão.....	41
6.2. Recomendações.....	41
Anexos	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo da água	5
Figura 2. Esquema representando zona não saturada, saturada e nível freático.	7
Figura 3. Tipos de aquífero quanto á pressão.	9
Figura 4. Tipo dos aquíferos quanto à porosidade.	10
Figura 5. Mapa de localização do Distrito de Matutuíne.	19
Figura 6. Mapa topográfico da área de estudo.	22
Figura 7. Mapa de geologia local.	26
Figura 8: Batimetria da zona costeira do Distrito de Matutuíne	27
Figura 9: Rede Hidrográfica do Distrito de Matutuíne	29
Figura 10. Colecta de amostras (A). Amostra identifica e pronta para as análises (B) (Autora, 2025).	31
Figura 11: Diagrama ilustrativo dos valores de CE das águas do Rio e do furo.	34
Figura 12: Diagramas ilustrativo dos valores da turvação para as águas do Rio e do Furo	35
Figura 13: Diagramas ilustrativos dos valores de pH para água do Rio e água do Furo.	36
Figura 14: Diagramas ilustrativos dos valores de Dureza total para água do Rio e água do Furo.	36
Figura 15: Diagramas ilustrativos dos valores de Nitratos para água do Rio e água do Furo.	37
Figura 16: Diagramas ilustrativos dos valores de Nitritos para água do Rio e água do Furo.	38
Figura 17: Diagramas ilustrativos dos valores de Cloretos para água do Rio e água do Furo.	38
Figura 18: Diagramas ilustrativos dos valores de Amoníaco para água do Rio e água do Furo.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das águas segundo a Dureza.	14
Tabela 2. Domínios e características das águas subterrâneas	28

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Garrafa de água de marca Bela Vista	46
Anexo 2. Garrafas de água prontas para as análises.	47
Anexo 3. Resultados das análises laboratoriais.	47
Anexo 4. Parâmetros físicos das águas destinadas ao consumo humano.	48
Anexo 5. Parâmetros químicos das águas destinadas ao consumo humano.	49

LISTA DE ABREVIATURAS

% - Percentagem

cm/s - Centímetro por segundo

°C - Grau Centígrado

µS/cm – Micro-Siemens por centímetro

AVI - Aquifer Vulnerability Index

CE – Conductividade Eléctrica

DNGRH – Direcção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos

et al. - e outros

GTK - The Geological Survey of Finland

INNOQ – Instituto Nacional de Normalização e Qualidade

km - Quilómetro

km² - Quilómetro ao quadrado

mg/L – Miligrama por litro

m - Metro

MMA - Ministério do Meio Ambiente (Brasil)

NTU – Unidades Nefelométricas de Turbidez

pH – Potencial Hidrogeniónico

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

A água é o único recurso natural que tem a ver com todos os aspectos da civilização humana, desde o desenvolvimento agrícola e industrial aos valores culturais e religiosos arraigados na sociedade. Segundo as estatísticas, as águas constituem 70% da superfície do planeta, desta percentagem, o maior volume é de água salgada e somente 2,5% são de água doce e, destes míseros 2,5%, quase 98% estão “escondidos” na forma de água subterrânea. Isto quer dizer que a maior parte da água facilmente disponível e própria para consumo humano é mínima perto da quantidade total de água existente na Terra.

As águas subterrâneas encontram-se protegidas por camadas de solo, rochas e/ou suas alterações. Assim, são menos propensas à contaminação do que as águas superficiais, funcionando como reservatórios. Por outro lado, quando contaminadas, a sua descontaminação torna-se difícil (Fernandes, 2011).

Nos últimos anos os recursos hídricos vêm sendo modificados por acção antrópica, resultando em prejuízo na qualidade e disponibilidade de água, sendo notória a necessidade crescente do monitoramento das alterações na qualidade da água, de forma a não comprometer seu aproveitamento múltiplo e minimizar os impactos negativos do ambiente (Franco, 2009).

Segundo Bonfim (2017), as actividades de mineração têm causado impactos ambientais de grande relevância, comprometendo o funcionamento dos ecossistemas. Oliveira, Dias e Silva (2018) afirmam que as principais consequências das actividades mineradoras para o meio ambiente, incluem-se a perda e alteração dos solos, a liberação de substâncias tóxicas para cursos de água a partir das minas, das bacias e pilhas de rejeitos, e a provável alteração das águas subterrâneas, da flora e da fauna originais.

Na área de estudo, no Posto Administrativo de Bela Vista, observa-se a exploração de calcário para a fabricação do cimento. Como se referiu acima, estas actividades impactam negativamente o ambiente. Para além da alteração da paisagem, levantamento de poeiras e movimentação de grandes quantidades de solos para ter acesso ao minério, estas actividades lançam substâncias que alteram a composição das águas subterrâneas. Neste âmbito, o presente estudo visa avaliar o impacto destas actividades na qualidade das águas subterrâneas desta região, a partir dos parâmetros físico-químicos.

1.1. Apresentação do problema

Em Moçambique, os estudos relacionados com o controlo da variação da qualidade das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano têm vindo a aumentar. A vila de Bela Vista, situada no distrito de Matutuíne, tem vindo a crescer, devido, principalmente, à instalação da fábrica de cimentos, neste Distrito, e à exploração de calcário para a alimentação da fábrica. Com o crescimento demográfico, há necessidade de se incrementar as fontes de abastecimento de água, abrindo-se mais furos/poços, que na maioria das vezes, não observam critérios técnicos e estão quase sempre associados ao baixo custo de escavação de poços “rasos”. Estes poços estão expostos ao risco, sobretudo, os aquíferos considerados livres, e esta exposição constitui um problema social, uma vez que a contaminação das águas subterrâneas rasas pode gerar riscos à saúde pública através de doenças de veiculação hídrica (Freddo Filho, 2018).

Bonfim (2017), afirma que durante nas actividades de mineração, há um consumo elevado de água, principalmente no processamento mineirário para a recuperação de metais, limpeza, bombeamento, transporte, resfriamento, controle de poeira e necessidades dos trabalhadores.

A mineração de calcário traz vários benefícios económicos, sendo este a principal matéria-prima para a produção do cimento destinado à construção civil. Entretanto, as actividades mineiras afectam e deterioram a qualidade da água principalmente pela descarga no sistema de drenagem em superfície. A extracção de calcário, em particular, é responsável pelo lançamento de iões de cálcio nas águas subterrâneas, incrementando consideravelmente a dureza total das águas subterrâneas.

Além do aumento da concentração do ião cálcio, em regiões de intensa mineração verifica-se também o rápido crescimento populacional, pressionando o nível de abastecimento de água e produzindo mais resíduos que, quando não tratados, podem impactar a qualidade das águas subterrâneas por falta de tratamento dos esgotos domésticos, aterros sanitários, práticas agrícolas entre outras actividades.

Diante do exposto acima, surge a necessidade de avaliar o nível do impacto das actividades mineiras desenvolvidas na vila de Bela Vista, sobre as águas subterrâneas. O estudo não limitar-se-á apenas às actividades mineiras, avaliará também os impactos advindos de outras actividades antropogénicas evidenciados pelo nível de concentração de certos parâmetros físico-químicos.

1.2. Relevância do estudo

Embora as águas subterrâneas possuam muitas vantagens, o facto da sua contaminação poder se tornar um problema a longo prazo torna necessário o conhecimento das possíveis formas de contaminação das mesmas, de modo a evitá-las. Para isto, o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, serve como uma ferramenta que permite o conhecimento mais aprofundado destes recursos, uma vez que este conhecimento auxilia nas tomadas de decisão dos órgãos gestores, subsidiando informações para o planeamento, desenvolvimento e protecção desses recursos (Massango, 2022).

Neste sentido, a avaliação dos parâmetros físico-químicos fornece subsídios sobre comportamento das águas subterrâneas em relação a diversas interações que estas mantêm com a geologia local e com as potenciais fontes de contaminação.

Sabe-se que as formações calcárias (carbonáticas) são fontes primárias dos iões carbonato e cálcio nas águas subterrâneas. Entretanto, durante o processamento da calcário para a produção de cimento, alguns metais pesados podem ser lançados para as águas subterrâneas, concluíram Amadi e Olasehinde (2016), ao analisarem o impacto da extracção do calcário para produção de cimento, na vila de Ashaka, no Nordeste da Nigéria.

Neste sentido, torna-se relevante avaliar a variação dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas da área de estudo, de modo a apurar o nível do impacto das actividades realizadas nesta região sobre a qualidade das águas.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo geral

- ✓ Avaliar a variação da qualidade de água usada para fins domésticos pela população da Vila de Bela Vista, a partir dos parâmetros físico-químicos.

1.3.2. Objectivos específicos

- ✓ Analisar os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas da Vila de Bela Vista;
- ✓ Comparar os resultados obtidos com os padrões nacionais recomendados;
- ✓ Identificar as possíveis causas das variações dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas da área de estudo.

CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ciclo hidrológico

O conceito de ciclo hidrológico, também conhecido como ciclo de água, está ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos, que ocorre na Hidrosfera, entre os oceanos, os calotes de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Este movimento permanente deve-se ao Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação), e à gravidade, que faz com que a água condensada caia (precipitação) e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltre nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fracturas (escoamento subterrâneo) (Figura 1). Nem toda a água precipitada alcança a superfície terrestre, já que uma parte, na sua queda, pode ser interceptada pela vegetação e volta a evaporar-se (Carvalho & Silva, 2006). Segundo o ciclo hidrológico, as águas podem ser classificadas como:

- **Meteóricas** – chuvas, neves, granizo;
- **Superficiais** – rios, lagos, reservatórios;
- **Subterrâneas** – as águas subterrâneas podem ocorrer em aquíferos.

A água que se infiltra no solo é sujeita a evaporação directa para a atmosfera e é absorvida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera. Este processo chamado evapotranspiração ocorre no topo da zona não saturada, ou seja, na zona onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar como água. A água que continua a infiltrar-se, atinge a zona saturada, entra na circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (recarga dos aquíferos). (Carvalho & Silva, 2006).

No entanto, a água subterrânea pode ressurgir à superfície (nascentes) e alimentar as linhas de água ou ser descarregada directamente no oceano. A quantidade de água e a velocidade com que ela circula nas diferentes fases do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos factores como, por exemplo, a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia (Carvalho & Silva, 2006).

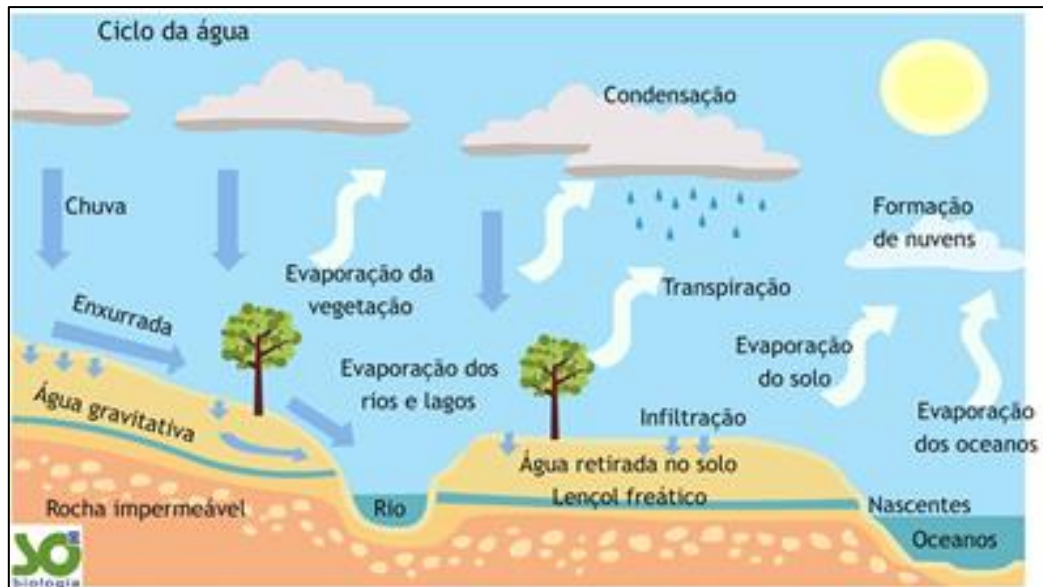


Figura 1. Ciclo da água

(Fonte¹:- acessado a 28 de Maio de 2024)

2.2. Água subterrânea

A Terra dispõe de um enorme potencial hídrico, porém, quase 97% desta água estão armazenadas nos mares e oceanos e 2% congeladas nas regiões polares. Apenas 1% da água doce está efectivamente disponível para o consumo humano, uso agrícola e industrial e se encontra em córregos, rios e lagos (recursos hídricos superficiais), assim como nos interstícios do solo e subsolo, formando os recursos hídricos subterrâneos. Estes últimos representam cerca de 97% do total de água doce existente no planeta Terra (Carvalho & Silva, 2006).

A água subterrânea corresponde à água que ocorre nos poros, fissuras e vazios sob a superfície do terreno/solo, tanto na zona não saturada quanto na zona saturada subjacente. Em sentido mais restrito, a água subterrânea é aquela que se encontra abaixo da superfície freática, ou seja, na zona de saturação (Custódio & Cardoso Júnior, 2008).

Água subterrânea é considerada aquela que se encontra armazenada nos poros abaixo da superfície freática, ou seja, onde todos os poros do solo ou rocha estão preenchidos por água, na zona saturada. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada (Marques, 2010).

¹ https://www.sobiologia.com.br/conteudos/bio_ecologia/ecologia27.php

Uma parte importante da água que chega à superfície terrestre em forma de chuva ou de neve escorre em torrente ou nos rios. Parte desta infiltra-se no solo, outra parte é devolvida à atmosfera em forma de vapor de água ou por transpiração das plantas. A parte restante infiltra-se no subsolo sob efeito da gravidade, dando origem às águas subterrâneas (Hipólito & Vaz, 2011).

Nem toda água subterrânea está integrada no ciclo hidrológico recente. No interior da Terra existe água que nunca fez parte da componente superficial ou atmosférica do ciclo hidrológico, a chamada água juvenil. Para além desta, podem ainda considerar-se outros tipos de águas subterrâneas, nomeadamente, a água magmática, água meteórica, água metamórfica e água de formação (Lima, 2010). Segundo este autor, os conceitos de água juvenil e água magmática têm sido frequentemente usados como sinónimos. As águas meteóricas são aquelas que derivam da precipitação e integram no ciclo hidrológico recente. Por sua vez, a água metamórfica é definida como a água associada a rochas metamórficas durante o processo de metamorfismo. Por último, a água de formação corresponde a água que ocorre naturalmente nos poros das rochas. Esta última resulta da entrada de água do mar ou de água meteórica nos poros das rochas.

A determinação da origem da água subterrânea pode ser feita através da aplicação de técnicas isotópicas, nomeadamente o estudo da composição em isótopos estáveis das próprias moléculas de água (Lima, 2010).

A composição química da água subterrânea é resultante da combinação da água que entra no solo e da evolução química influenciada diretamente pela litologia local, e/ou regional no caso de grandes aquíferos. O teor de substâncias dissolvidas vai aumentando à medida que prossegue o movimento e de acordo com o tempo de contacto entre a água subterrânea, o solo e rochas que o aprisionam (Carvalho & Silva, 2006).

As águas subterrâneas apresentam propriedades que fazem com que o seu uso tenha mais vantagens do que as águas de mananciais superficiais. Estas águas são filtradas e purificadas naturalmente através da percolação; não ocupam espaço em superfície; sofrem menor influência das variações climáticas; são passíveis de extração perto do local de uso; possuem temperatura constante; têm maior quantidade de reservas; necessitam de custos menores como fonte de água; as suas reservas e captações não ocupam área superficial e apresentam grande proteção contra agentes poluidores (Wrege, 1997). A Figura 2 mostra uma caracterização esquemática das zonas no subsolo.

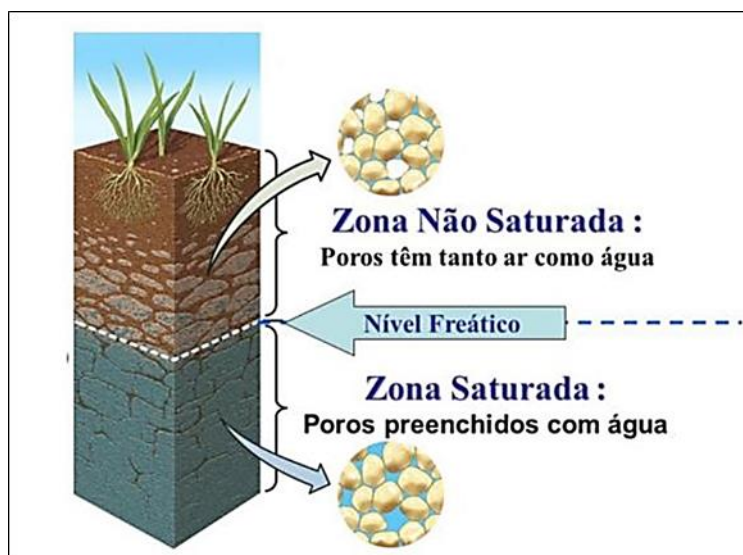


Figura 2. Esquema representando zona não saturada, saturada e nível freático.

Fonte: Press et al., (2006).

2.2.1. Meios de exploração de águas subterrâneas

Os meios mais comuns para exploração da água subterrânea são: os poços escavados, os furos, as captações de nascentes e as galerias de infiltração. Os parâmetros hidrogeológicos que determinam a escolha do tipo de construção são (Carvalho & Silva, 2006):

- As profundidades em que se encontram a toalha freática e o aquífero;
- A espessura e extensão do aquífero;
- O rebaixamento máximo aceitável do nível do aquífero;
- As potencialidades da formação aquífera.

2.2.2. Relevância das águas subterrâneas

A água é um recurso escasso por razões humanas, desta forma, há necessidade de um melhor controle no uso sustentável para que este recurso sirva para as gerações vindouras. As águas subterrâneas são uma das melhores fontes para as necessidades humanas e vida no mundo animal, por apresentar as seguintes razões (Hipólito & Vaz, 2011):

- Mais protegidas da poluição;
- A captação pode ser próxima da área consumidora, o que torna o processo de distribuição mais barata;
- Em geral não precisam de nenhum tratamento, o que além de ser uma vantagem económica é melhor para a saúde humana;

- Permite um planeamento modular na oferta de água à população, isto é, mais poços podem ser perfurados à medida que se aumenta a necessidade, dispensando grandes investimentos de capital de uma única vez.

2.2.3. Reservatórios naturais de água subterrânea

Águas subterrâneas são aquelas que se encontram nos espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras (falhas, diaclases, descontinuidades e espaços vazios) (De Souza, 2009).

Os reservatórios naturais de água subterrânea, podem ser:

- **Aquíferos** - são formações rochosas ou camadas geológicas que armazenam e transmitem água em quantidades economicamente viáveis de extração ou para um abastecimento duma determinada comunidade;
- **Aquitardo** - é uma formação geológica com uma certa porosidade que permite armazenar água, mas a mesma não é transmitida a um ritmo suficiente para alimentar furos e poços;
- **Aquicludo** - é uma formação que embora porosa, é capaz de absorver água, mas que não a transmite em velocidade suficiente para proporcionar escoamento apreciável para um poço ou fonte;
- **Aquífugo** - é uma formação que, por ter uma porosidade muito baixa a nula, não pode armazenar água.

2.2.3.1. Aquífero

Um aquífero é uma formação geológica de satisfatória permeabilidade e interconectados através de poros, de forma a armazenar e transmitir água em quantidades significantes, a depender do uso e da sua formação geológica (Cleary, 2007). Os aquíferos contêm, ao mesmo tempo, rochas com características porosas, permeáveis e impermeáveis que formam estruturas geológicas capazes de armazenar e ceder água.

➤ Tipos de aquíferos

Os aquíferos podem ser classificados quanto a pressão hidrostática em (Figura 3):

- **Aquíferos livres ou freáticos** - ocorrem quando a pressão da água na superfície da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. São os mais comuns e mais explorados pela população. São também os que

apresentam maiores problemas de contaminação; dentre eles está a grande maioria dos aquíferos costeiros livres.

- **Aquíferos confinados ou artesianos:** ocorrem quando a camada saturada está confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis, de forma que a pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água suba no poço para além da zona aquífera. Se a pressão for suficientemente forte a água poderá jorrar espontaneamente pela boca do poço; neste caso, denomina-se de poço artesiano.
- **Aquífero suspenso** - É basicamente um Aquífero Livre localizado sobre uma camada impermeável ou semi-impermeável limitada e situada entre a superfície freática regional e o nível do terreno. Esse tipo, normalmente, é de caráter temporário, pois é drenado para níveis freáticos subjacentes.

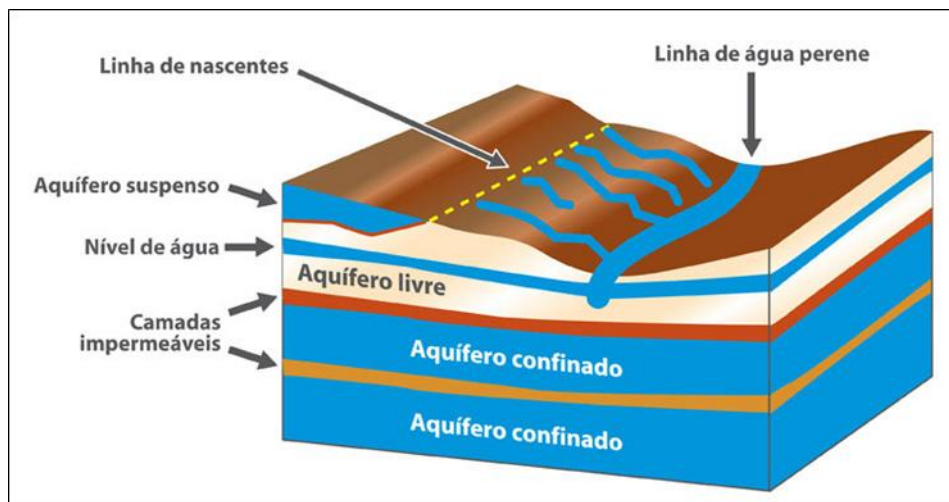


Figura 3. Tipos de aquífero quanto á pressão.

Fonte: (Fonte: Borghetti, 2004).

Segundo Martinez (2006), quanto ao tipo de rocha armazenadora e do material geológico, os aquíferos podem ser (Figura 4):

- **Aquífero Granular** - também chamados de porosos, são aqueles em que a água flui através de estruturas granulares em sedimentos inconsolidados ou rochas sedimentares. Aquíferos com essas características possuem a capacidade de armazenamento de grandes volumes de águas. Sua porosidade geralmente é homogênea, permitindo o fluxo da água sem caminhos preferenciais, em função apenas da pressão hidrostática existente (Figura 4A).

- **Aquífero Fissural ou Fraturado** - esses aquíferos ocorrem em rochas maciças e compactas, como os granitos e gnaisses, onde a permeabilidade se faz presente pela presença de fraturas conectadas. A capacidade de armazenamento e fluxo de água depende directamente da quantidade de fraturas e aberturas nas rochas, mas geralmente nota-se que poços perfurados nesses embasamentos são de baixas vazões (Figura 4B).
- **Aquífero Cárstico** - são aqueles em que as cavidades presentes são originadas a partir de um lento processo de dissolução quando a água, de caráter ácido, infiltra por meio das fraturas das rochas, e entra em contato com as rochas carbonáticas (calcários ou mármore). Esses aquíferos têm característica de descontinuidade, águas com índice elevado de dureza e fluxos de água como rios (Figura 4C).

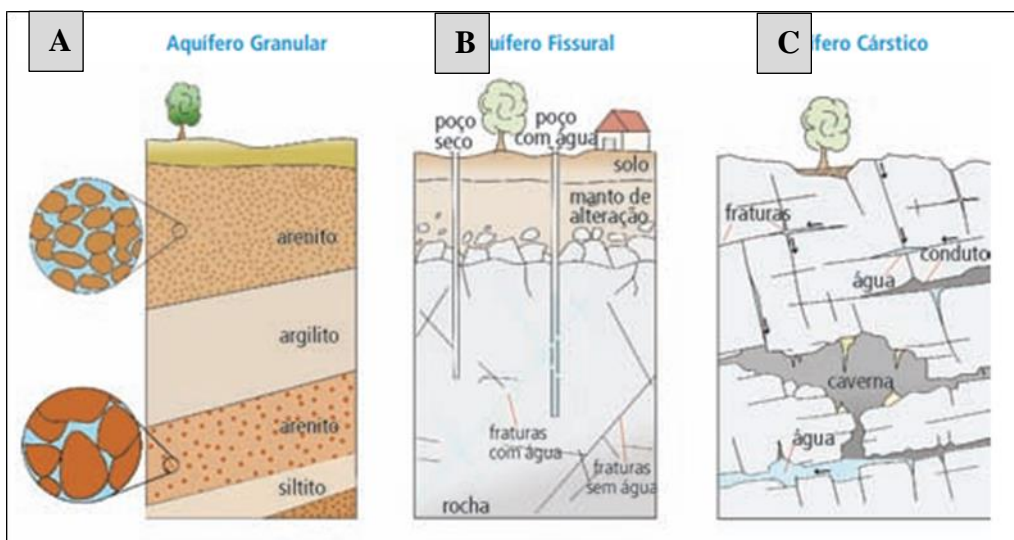


Figura 4. Tipo dos aquíferos quanto à porosidade.

Fonte: Iritani e Ezaki (2009).

2.3. Qualidade da água subterrânea

As águas subterrâneas apresentam elevado padrão de qualidade físico-química e bacteriológica. Por serem naturalmente protegidas (mas não imunes) dos agentes de poluição e contaminação, essas águas dispensam, na maioria das vezes, um tratamento físico-químico (MMA, 2007).

A qualidade das águas subterrâneas é condicionada, em princípio, pela dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos por ela percolados. Apesar disto, essa qualidade pode sofrer a influência de outros factores como composição da água de recarga,

tempo de contacto da água/meio físico, clima e até mesmo a poluição causada pelas actividades humanas (Capucci et. al., 2001).

A qualidade pode ser definida pelas características físicas, químicas e biológicas da água. Dentro dos valores encontrados para cada um desses parâmetros, é possível estabelecer os diferentes usos: consumo humano, irrigação, industrial e outros.

2.3.1. Parâmetros de qualidade das águas subterrâneas

Segundo Capucci et al. (2001), a qualidade das águas subterrâneas é dada, a princípio, pela dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos. Mas, ela pode sofrer a influência de outros factores como composição da água de recarga, tempo de contacto da água ou meio físico, clima e até mesmo a poluição causada pelas actividades humanas.

Os testes químicos da água determinam o modo mais preciso e explícito as características da água, e são mais vantajosas para se apreciar as propriedades de uma amostra. São de extrema importância, tanto no seu ponto de vista sanitário, como no seu ponto de vista económico e algumas dessas análises permitem avaliar o grau de poluição de uma fonte de água como características encontradas na cor da água, que pode variar conforme a matéria orgânica ou metais existentes na mesma.

Outras características são determinadas por meio de análises, seguindo métodos adequados e padronizados. Os resultados são dados em concentração de substância ou equivalente em mg/l. Vale ressaltar que os diferentes usos são controlados pelas normas regulamentadoras em cada país. Para o caso de Moçambique, e para o presente relatório, serão usadas as normas do Instituto Nacional de Normalização e Qualidade (INNOQ) e o padrões definidos pelo Boletim da República (BR) n° 180/2004 de 15 de Setembro (ANEXO 3 e 4).

2.3.1.1. Parâmetros físicos

➤ Potencial hidrogeniónico (pH)

Segundo Weinberg (2013), o pH expressa a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução. Mede a concentração do ião hidrogênio ou sua actividade, importante em cada fase do tratamento, sendo referida na coagulação, floculação, desinfecção e no controle de corrosão.

Para Santos (2013), o pH representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas presente na solução. A água de qualidade para fins do consumo deve apresentar-se na faixa de pH (6.5-8.5); acima desta, pode causar desequilíbrio nutricional ou pode conter um ião tóxico que pode causar irritação da pele e abaixo da faixa pode causar corrosão nas tubulações (Chibantão,

2012). Para a sua medição utiliza-se um condutivímetro, que é dotado de eléctrodo de vidro em associação com soluções indicadoras ou papel indicador.

➤ **Cor**

A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas de dimensões inferior a 1 μm , denominadas colóides, finamente dispersas, de origem orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) ou mineral (resíduos industriais, compostos de ferro e manganês) (FUNASA, 2014). A cor é responsável pela coloração da água, é constituída por material sólido dissolvido. Ela pode ser de origem natural (decomposição da matéria orgânica gerando ácido húmico e fúlvico ou pela presença de Fe ou Mn) ou de origem antropogênica (resíduos industriais como corantes ou esgotos domésticos).

➤ **Turvação**

A turvação é atribuída a partículas sólidas em suspensão, que pode ser provocada por plâncton, detritos orgânicos e outras substâncias como zinco, ferro, composto de manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão, ou adição de despejos domésticos ou industriais (Batalha & Parlatore, 1997).

As partículas de turvação, além de diminuírem a claridade e reduzirem a transmissão da luz na água, podem provocar o sabor e o odor da mesma, uma vez que transportam matéria orgânica absorvida. É agravada pela presença de sólidos em suspensão na água, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e outras partículas provenientes de despejos domésticos e industriais, cuja precipitação dessas partículas perturba o ecossistema aquático (Branco, 1983). Por ser de origem natural, não traz inconvenientes sanitários directos, mas é esteticamente desagradável na água potável, e os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos. Os padrões internacionais da água de consumo humano, da Organização Mundial da Saúde (OMS), recomendam um nível de turvação de até 5.

➤ **Temperatura (T)**

A Temperatura é a medida de aquecimento ou arrefecimento do corpo, sendo originada de forma natural. A sua importância consiste no facto de que ela afecta a taxa das reacções químicas e biológicas assim como a solubilidade dos gases (O_2 e H_2S), e este parâmetro é utilizado na caracterização de corpos de água e da água bruta. A temperatura influi em algumas propriedades da água, com reflexos sobre a vida aquática. A transferência de calor pode ser por

radiação, condução e convecção (atmosfera e solo), ou ainda pode ter origem em despejos industriais. As elevações de temperatura aumentam a taxa das reacções químicas e biológicas, aumenta também a taxa de transferência dos gases, o que pode causar mau cheiro e diminuem a solubilidade dos gases (ex: oxigénio dissolvido). É utilizada na caracterização de corpos de água e águas residuais brutas (Sperling, 1996).

Sewell (1978) diz que o acréscimo de temperatura pode provocar alterações físicas, como na densidade, na viscosidade, na pressão do vapor e no oxigénio dissolvido. Efeitos químicos, acelerando reacções químicas e bioquímicas, e efeitos biológicos, podendo se tornar letal a organismos adaptados a determinadas condições físicas

➤ **Conductividade Eléctrica (CE)**

Segundo FUNASA (2014), a conductividade eléctrica da água indica a sua capacidade de transmitir a corrente eléctrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em aniões e catiões. Quanto maior a concentração iónica da solução, maior é a oportunidade para acção electrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente eléctrica. Muito embora não se possa esperar uma relação directa entre condutividade e concentração de sólidos totais dissolvidos, já que as águas naturais não são soluções simples, tal correlação é possível para águas de determinadas regiões onde exista a predominância bem definida de um determinado ião em solução. A condutividade eléctrica da água deve ser expressa em unidades de resistência (mho ou S) por unidade de comprimento (geralmente cm ou m). Enquanto as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (FUNASA, 2014). A conductividade eléctrica pode ser usada para evidenciar os índices de salinidade na água, servindo de atributo para a avaliação da qualidade da água, no qual, expressa a capacidade de condução de corrente eléctrica de sais dissolvidos e ionizados presentes na água, variando conforme a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas (Santos, 2013).

2.4.1.2. Parâmetros químicos

➤ **Alcalinidade**

Segundo FUNASA (2006), a Alcalinidade é formada pela concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos, que mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos. Sua avaliação torna-se relevante durante o processo de tratamento da água, já que em função do seu teor é possível estabelecer a dosagem dos produtos químicos. De modo geral, a água da superfície possui alcalinidade natural que reage com o sulfato de alumínio nos processos de

tratamento. A alcalinidade analisa a presença de (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) ou hidróxidos (OH^-). Sendo que verifica esses compostos com maior frequência na água, devida a grande quantidade de bicarbonatos, produzidos pela ação do gás carbônico dissolvido na água, a alcalinidade não possui um significado sanitário, a menos que seja devida a hidróxidos que contribua demasiando na grande quantidade de sólidos totais, porém em muitos casos é necessária a adição de um alcalinizante para manter a estabilidade do carbonato de cálcio, evitando problemas com a corrosão devido à presença do gás carbônico (FUNASA, 2006).

➤ **Dureza total da água**

A dureza total da água é calculada pela concentração de íons cálcio e magnésio na água, podendo ser classificada como temporária ou permanente. A primeira origina-se pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio, no qual resiste a ação de sabão gerando incrustações. Já a segunda, sendo chamada também de dureza de não carbonatos, caracteriza-se pela presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio, resistem também à ação dos sabões, mas não produzem incrustações, já que possui sais muito solúveis na água (FUNASA, 2006).

Segundo Macedo (2007), para reduzir a dureza, pode-se submeter a água a processos de abrandamento por precipitação ou desmineralização por troca iônica, a dureza é expressa em mg/L de CaCO_3 e pode ser classificada em termos do grau de dureza conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação das águas segundo a Dureza.

Águas	Dureza (mg/L CaCO_3)
Moles/Macias	<60
Dureza Moderada	60-120
Duras	120-180
Muito Duras	>180

Fonte: APDA (2012)

Segundo (Macedo, 2007), as durezas são classificadas em 2 grupos:

1. **Dureza temporária** - Denominada temporária ou de bicarbonatos, é fonte da maioria dos problemas envolvendo sais de cálcio e magnésio, pois os bicarbonatos destes sais, por meio da ação do calor ou reação com substâncias alcalinas, provocam a formação de carbonatos que são insolúveis e precipitam formando incrustações em tubulações.

2. **Dureza permanente** - A dureza permanente deve-se a presença de sulfatos ou cloretos de cálcio ou magnésio em solução. O calor não tem acção sobre esse tipo de dureza que é influenciada somente pelas substâncias alcalinas.

➤ **Cloretos**

Segundo Boana (2011), o ião cloreto constitui um dos aniões presentes em grande quantidade na água, e pode dar uma ideia do seu grau de salinidade e está presente em todas as águas naturais, com valores situados entre 10 e 250 mg/L nas águas doces e valores entre 18.000 e 21.000 mg/L em águas marinhas (Freddo Filho, 2018).

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 provoca sabor salgado na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250mg/L, valor este que é tomado como padrão de potabilidade.

➤ **Nitrogénio**

O Nitrogénio pode estar presente na água sob várias formas: molecular ou iónica (amónia, nitrito, nitrato), é um elemento indispensável ao crescimento de algas, mas, em excesso, pode ocasionar um exagerado desenvolvimento desses organismos, fenómeno chamado de eutrofização. A presença do ião nitrato, na água, pode causar a metemoglobinemia. As causas do aumento do nitrogénio na água são devido aos esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, excrementos de animais (Boana, 2011).

- **Amónia (NH₄⁺)** - Para Lemos (2011), o nitrogénio amoniacal é um nutriente presente na água na forma de amónio (NH₄⁺). O amónio é libertado continuamente na água através da composição das substâncias nitrogenadas (proteínas, aminoácidos e ureia). Em ambiente anaeróbio o amónio pode surgir pela redução do nitrato (NO₃⁻) (amonificação do nitrato). O nitrogénio amoniacal nas água é oxidado por microrganismos nitrificantes para nitrato, o que pode significar uma carga grande para o equilíbrio do oxigénio no corpo hídrico. O nitrogénio amoniacal favorece a eutrofização através da sua transformação em nitrato. Factores como pH e temperatura, presença de outros poluentes, concentração de oxigénio dissolvido, cálcio e alcalinidade influenciam na toxicidade da amónia. A acção da mistura de amónia com outros tóxicos é geralmente sinérgica (Lemos, 2011).

- **Nitrato (NO_3^-) e Nitrito (NO_2^-)** - O nitrito (NO_2^-) é o anião derivado do ácido nitroso muito solúvel em água. O nitrito aparece em uma fase intermediária natural do ciclo do nitrogênio; na oxidação microbiana do nitrito, este é imediatamente oxidado para a forma de nitrato (nitrificação) ou reduzido para a forma de gás nitrogênio (desnitrificação). Em casos de aumentos drásticos de NH_4^+ , e valores elevados de pH e temperatura, a nitrificação pode ocorrer mais rapidamente. A toxicidade do nitrito diminui com o aumento do pH. Os nitratos (NO_3^-) ocorrem naturalmente em águas subterrâneas, mas a sua presença em concentrações elevadas é geralmente resultante da actividade antrópica, dentre elas, se destacam principalmente a aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos. As substâncias nitrogenadas dos fertilizantes e dos resíduos orgânicos são transformadas e oxidadas por reacções químicas e biológicas e o resultado é a presença de nitrato no solo. Sendo o nitrato extremamente solúvel na água, move-se com facilidade e contamina a água subterrânea. O nitrato em águas subterrâneas origina-se principalmente de quatro fontes: aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica (Freddo Filho, 2018).

➤ **Sulfatos**

Os sulfatos são espécies químicas iônicas, de valência ou estado de oxidação 2^- , que se originam a partir do ácido sulfúrico, tratando-se de um átomo de enxofre central ligado a quatro átomos de oxigênio por meio de ligações covalentes, de fórmula molecular $(\text{SO}_4)^{2-}$.

Dessa forma, o mais conhecido ácido do ião sulfato é o ácido sulfúrico (H_2SO_4), sendo também utilizada a denominação de óxido sulfúrico para os sulfatos. Os sulfatos podem ser dissolvidos dos minerais gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anidrita (CaSO_4), barita (BaSO_4), entre outros. Altas concentrações de sulfato em águas naturais são mais comuns associadas à presença desses minerais (Parron; Muniz & Pereira, 2011).

O sulfato pode ocorrer naturalmente em águas subterrâneas, pois é encontrado sob a forma de enxofre, nas plantas, no solo e em águas pluviais. As descargas directas ou indirectas de águas residuais contendo sulfato, em aquíferos, podem prejudicar a qualidade das águas e interferir no ciclo natural do enxofre. Apresentam importância que vai desde o laboratório, passa pela indústria e chega aos sistemas vivos (Freddo Filho, 2018).

➤ **Cálcio e Magnésio**

O cálcio e o magnésio são os elementos mais abundantes na água, podendo as suas concentrações variar entre zero a centenas de mg/L, dependendo da fonte, tipo de água e das características geológicas. As suas principais fontes são a existência de rochas nas margens ou no fundo do rio e a libertação através de processos de intemperismo (Costa, 1987).

Para Freddo Filho (2018), o cálcio é um dos elementos mais abundantes existentes na maioria das águas, solos e rochas. A presença de cálcio na água resulta do contato do corpo hídrico com minerais mais solúveis, sendo controlado pela presença de depósitos de calcita (CaCO_3), dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito similar ao do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento, sendo, porém, mais solúvel do que o cálcio. Juntamente com o cálcio, são os cátions que mais contribuem para a dureza total da água. Ocorre geralmente em minerais como a magnesite (MgCO_3) e dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]. As reacções de equilíbrio do carbonato para o magnésio são mais complicadas do que para o cálcio, e as condições para precipitação directa da dolomita em águas naturais não são comuns (Parron, Muniz & Pereira, 2011).

➤ **Potássio**

O Potássio é encontrado em concentrações baixas nas águas naturais já que rochas que contêm potássio são relativamente resistentes a acções do tempo. Entretanto, sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura e entram nas águas doces através das descargas industriais e lixiviação das terras agrícolas (Self, 2010).

O potássio é um elemento importante na nutrição das plantas e dos humanos, e ocorre em águas subterrâneas como resultado da dissolução mineral de material vegetal em decomposição, e escoamento agrícola. Além disto, é um metal alcalino abundante na natureza, proveniente de minerais como os feldspatos e micas (Freddo Filho, 2018).

➤ **Sódio**

O sódio é um elemento químico quase sempre está presente nas águas subterrâneas. A sua principal fonte mineral (feldspatos plagioclásios) é pouco resistente aos processos de meteorização, principalmente a química. Os sais formados nestes processos são muito solúveis. Nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 e 100mg/L. A quantidade de sódio presente na água é um elemento limitante de seu uso na agricultura. Em aquíferos, a presença de sódio na água poderá estar relacionada a intrusão da água do mar (Souza, 2006).

➤ **Ferro Total**

O ferro é um elemento bastante comum nas águas subterrâneas, sua origem pode estar ligada à lixiviação dos solos, contaminantes industriais e ao contato da água com tubulações metálicas. Segundo Parron, Muniz & Pereira (2011), as fontes de ferro são minerais escuros (máficos) portadores de Fe: magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. No estado ferroso (Fe^{+2}) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes, o Fe^{+2} passa a Fe^{+3} dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água.

CAPÍTULO III: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Enquadramento geográfico

3.1.1. Localização geográfica da área de estudo

A área de estudo situa-se na vila de Bela Vista, sede do distrito de Matutuíne, Província de Maputo. O distrito de Matutuíne, por sua vez, está localizado no extremo Sul da Província do Maputo e do País, entre os paralelos 26° e 27° de latitude Sul e entre 32° e 33° de longitude Este (MAE, 2005). A Norte é limitado pela baía e a Cidade do Maputo, a Sul pela República da África do Sul, com a Província de Kuazulo-Natal, a Este é banhado pelo Oceano Índico, e a Oeste confina com os distritos de Namaacha e Boane e com o Reino da Suazilândia (Figura 5) (MAE, 2005).

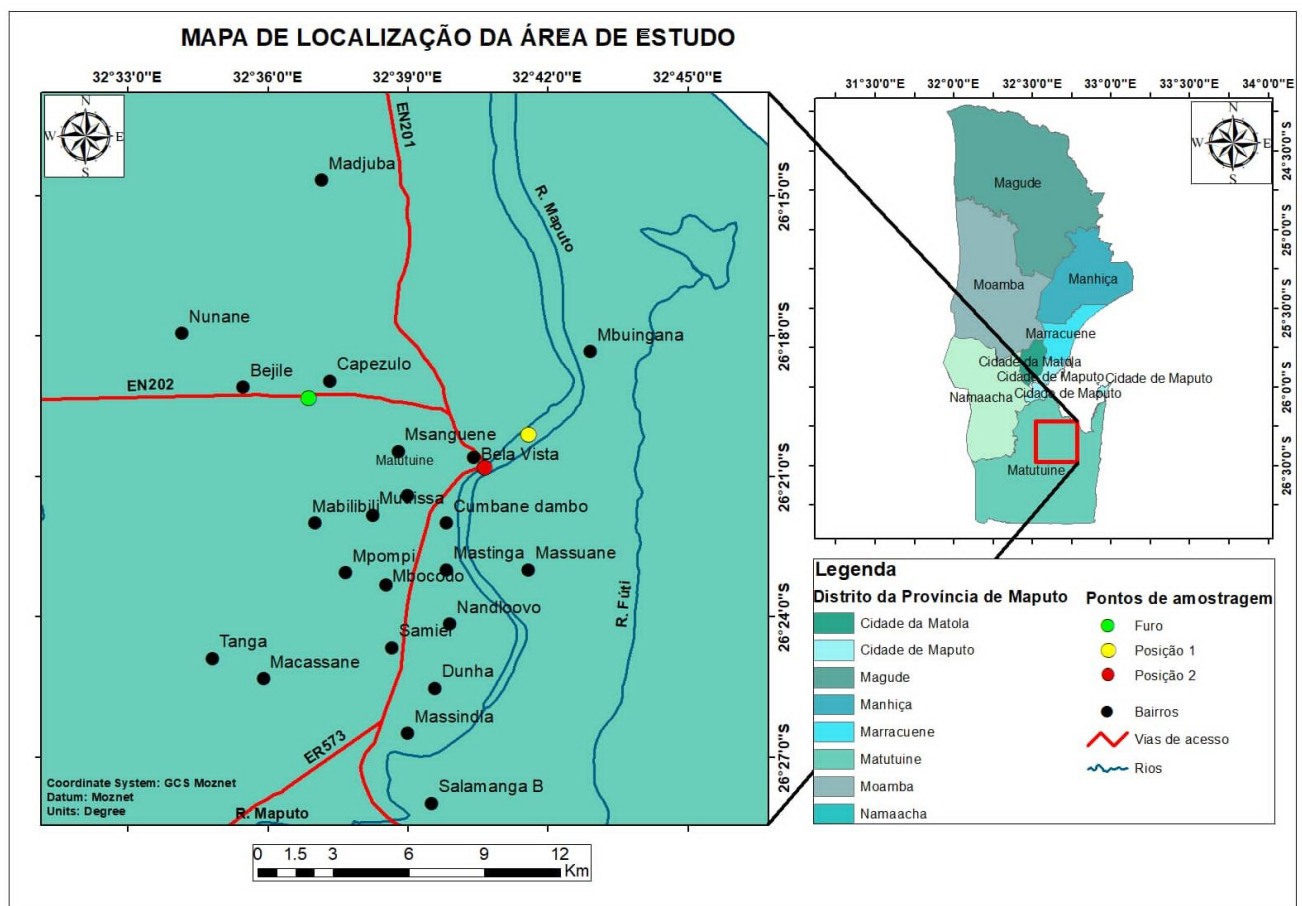


Figura 5. Mapa de localização do Distrito de Matutuíne.

Fonte: adaptado do (Consortium GTK, 2006)

Com uma superfície¹ de 5.387 km² e uma população recenseada em 1997 de 35.161 habitantes e estimada à data de 1/1/2005 em cerca de 52.703 habitantes, o distrito de Matutuíne tem uma densidade populacional de 10 hab/km² (MAE, 2005).

3.1.2. Clima e Hidrografia

O clima do Distrito de Matutuíne é sub-tropical. Ocorrem ao longo do ano, duas principais estações, a chuvosa que vai de Outubro a Abril e a seca que vai de Maio a Setembro (MAE, 2005).

A precipitação apresenta uma variabilidade espacial significativa quando se caminha da costa para o interior. Ao longo da orla costeira observam-se valores médios de precipitação anual na ordem dos 1000 mm decrescendo à medida que se caminha para o interior até aos níveis de 600 mm. Ao longo da fronteira ocidental verifica-se uma ligeira subida dos níveis pluviométricos justificada pelos efeitos da altitude (MAE, 2005).

Registam-se temperaturas elevadas, com valor médio anual superior a 24°C e Oceânico com amplitude térmica anual inferior a 10°C e com uma média anual de humidade relativa entre 55% e 75% (MAE, 2005).

No distrito de Matutuíne ocorrem três áreas hidrogeológicas, nomeadamente (MAE, 2005):

- ✓ Áreas pertencentes a bacia sedimentar ao sul do Save, com sub-unidades da cintura dunar;
- ✓ Áreas pertencentes a bacia sedimentar ao sul do Save, com sub-unidade das planícies denudadas ao longo da cordilheira dos Libombos; e,
- ✓ Áreas de terrenos vulcânicos.

Do ponto de vista físico, a região é definida pela bacia do Maputo-Tembe. Possui como principais rios; o Maputo, o Tembe, Futi, Nsele e Chilichili e, conta com as seguintes Lagoas; Phiti, Chunguti, Sotiva, Malongane, Mandlene, Tsebjane, Gamane e Mangalipse (MAE, 2005). Estes são, por sua vez, condicionados pelo regime climático prevalecente na zona, o que lhes confere um carácter marcadamente sazonal. Uma vez que a maior parte destes rios ocorrentes tem a sua origem fora dos limites do território nacional, tal regime hídrico é igualmente condicionado pelo padrão de exploração destes rios ocorrentes nos países que nascem.

O fenómeno da intrusão salina é prevalecente nos períodos de estiagem a corresponderem às fases de marés vivas. Sendo uma zona de baixa topografia e fundamentalmente plana, o lençol

freático encontra-se próximo da superfície o que determina a ocorrência de formações lacustres ao longo da globalidade da faixa costeira (MAE, 2005).

3.1.3. Geomorfologia e Solos

A geomorfologia do distrito é caracterizada pela prevalência da planície litoral. É ao longo dos sistemas fluviais que ocorrem os principais depósitos aluvionares o que determina a conformação de unidades ecológicas específicas na forma de corredores (MAE, 2005).

No interior destaca-se a cadeia dos Libombos que sendo de origem vulcânica de uma configuração geomorfológica da orla fronteiriça, bem diferente da do resto do distrito (MAE, 2005).

Os solos do distrito são maioritariamente arenosos que se caracterizam pela fraca capacidade de retenção da água e conseqüentemente uma taxa elevada de infiltração ao longo dos principais vales fluviais ocorrem solos aluvionares com elevadas concentrações de argila, o que determina uma significativa capacidade de retenção de água. Nas porções mais próximas ao sistema oceânico, os índices de intrusão salina são de certo modo consideráveis nestes vales fluviais o que determina a ocorrência de solos salinizados (MAE, 2005).

Nas regiões correspondentes ao sopé da cordilheira dos Grandes Libombos, a natureza basáltica do embasamento geológico, determina a formação dos solos basálticos e argilosos. Estes tipos de solos são geralmente muito férteis e com significativa capacidade de retenção da água (MAE, 2005). A figura 6 mostra a distribuição do relevo (topografia) do distrito de Matutuíne.

As formações pós-karoo na Bacia de Moçambique incluem formações do Jurássico Superior e Cenozóico que assentam em discordância sobre as formações erodidas do karoo. Nesta bacia são conhecidas as formações com fácies continentais, marinha e fácies de transição deltaicas.

Dos sedimentos que cobrem a bacia, cerca de 70% são constituídos por material solto. Este material caracteriza-se por apresentar uma alteração meteórica com 5 a 10 metros de espessura de natureza areno-argilosa, assenta sobre rochas sedimentares. Mais desenvolvidos são geralmente os enchimentos aluviais dos vales, as coberturas arenosas eólicas e os raros depósitos coluviais. A espessura destes sedimentos varia entre 1100 e 4500 m na parte Sul da Bacia. A maior espessura destes sedimentos, segundo dados sísmicos, localiza-se na parte central da Bacia de Moçambique na depressão do Delta do Zambeze, onde atinge cerca de 11 km. Com base na sua estratigrafia a Bacia de Moçambique é uma bacia assimétrica com inclinação regional em direcção ao mar aberto (Machavate, 2008).

3.2.2. Geologia local

A área de estudo consiste de rochas pertencentes à Formação de Salamanga e areia argilosa de origem fluvial.

Formação de Salamanga (TeS)

A principal unidade de calcário, com uma espessura exposta estimada de 10 m, é composta por depósitos de grãos esqueléticos puros com fragmentos de conchas de muitas espécies marinhas diferentes (Consortium GTK, 2006). Os calcários variam de amarelo a branco-acinzentado pálido, variando de 10 a 60 cm de espessura, com média de 40 cm.

Existem tocas verticais do tamanho de cm. Os buracos cársticos têm de um a quatro cm de diâmetro e podem ser considerados como lavagens de solução superdimensionadas ao longo de radículas e seixos de argila previamente existentes (Consortium GTK, 2006).

Esta unidade tem um contato superior plano e abrupto com uma unidade de calcário maciço nummulítico branco. A unidade sobrejacente engrossa gradualmente em direcção ao leste, de ~ 2 m até 6 metros (Consortium GTK, 2006).

Texturalmente, essas rochas classificam-se de *grainstones* bioclásticos puros a *packstones* com tamanho de partícula variando entre um e dois mm. Os clastos estruturais consistem em algas, foraminíferos e fragmentos de conchas. Localmente, algumas partículas de quartzo do tamanho de areia são misturadas, mas essa fração não excede 10%. Em alguns lugares, a matriz é lixiviada devido a processos cársticos recentes (Consortium GTK, 2006).

Uma variedade local é apresentada por grãos bem estratificados, mostrando estratificação acrecionária lateral que pode representar uma entrada de maré migratória. Abaixo de um solo siltoso vermelho intenso a vermelho-acastanhado, fenômenos cársticos de escala decimétrica a metro, como cavidades de dissolução, podem ser observados. O contato com o siltito vermelho-marrom escuro sobrejacente é abrupto. Este siltito tem 3 m de espessura e apresenta em sua superfície intemperizada pisolitos de ferro arredondados de até 5 mm. Podem ser observadas manchas localmente vermelho-acinzentadas e marrom-acinzentadas, indicando formação incipiente do solo (Consortium GTK, 2006).

Carbonatos desta formação caracterizam os cardumes carbonáticos da plataforma interna com, de baixo para cima, um cardume geral para cima. A parte inferior da secção da pedreira de Salamanga é um baixio offshore, de alta energia, impulsionado por correntes de ondas, com troca de marés como mostrado por características semelhantes a canais de maré. O contacto superior abrupto e muito recto aponta para uma superfície de ravina transgressiva (Consortium GTK, 2006).

Todo o perfil apresenta, de oeste para leste, estratificação de antebraço de baixo ângulo de barra ou baixio progradante, seccionado por um canal de maré de formato lenticular com base plana e polida. A unidade sobrejacente é interpretada como uma superfície de ravina transgressiva em baixios de alta energia. Esta unidade nummulítica grosseira superior mostra, na parte oriental da pedreira, estratificação de acreção lateral representando pequenos canais de maré. Embora não registrados na superfície, esses bancos de carbonato influenciados pelas marés são provavelmente flanqueados por recifes que nucleam sobre bancos ligeiramente mais elevados no lado do mar. Perto da zona interior, subtidal a intertidal, existiam enseadas de maré, resultando em erosão local e acreção lateral como visto na pedreira de Salamanga. Esses depósitos fazem parte de uma rampa de carbonato como as Bahamas modernas (Consortium GTK, 2006).

Os arenitos avermelhados geralmente formam formações de vários metros de altura de areia solta, que parecem representar os produtos de intemperismo dos arenitos encontrados abaixo. Por exemplo, dezenas de metros de altura e quilômetros de extensão, o morro de tendência N-S composto principalmente de areia avermelhada ocorre 10 km a SW da pedreira de Salamanga. Abaixo dessas areias avermelhadas encontram-se arenitos vermelho-acinzentados. Esses arenitos são estratificados quase horizontalmente e compreendem manchas acinzentadas (Consortium GTK, 2006).

Areia argilosa de origem fluvial (Qps)

Uma extensa cobertura de areia argilosa eluvial (figura 7) formada durante o Pleistoceno devido a processos erosivos normais atuando em unidades areníticas, especialmente as da Formação Mazamba. A unidade abrange grandes áreas nos cantos sudeste e noroeste das folhas 2033 e 2034, onde este tipo de depósito se encontra intimamente associado a depósitos de lama eluviais de origem fluvial. Esses depósitos de planície arenosa também são encontrados na parte norte da folha 2133, bem como na parte central da folha 2134 (Consortium GTK, 2006).

Esta unidade de origem fluvial refere-se a um amplo depósito de argila solta e areia sem características dunares ou qualquer relevo notável. Às vezes, a presença de material argiloso causa retenção de água por longos períodos, levando à formação de numerosos lagos, geralmente pequenos e rasos. Grãos de areia em material argiloso são geralmente de origem eólica. Os grãos são esféricos ou arredondados, apresentando aspecto opaco, resultado do desgaste causado pela ação do vento (Consortium GTK, 2006).

Aluvião, areia, lodo, cascalho (Qa)

Depósitos aluviais recentes estão subjacentes a terras planas incharacterísticas e são compostos de areia, silte e cascalho e relacionados a processos deposicionais fluviais. Quando depositado executando água, geralmente apresentados por grano-classificação com conglomerados na base, para cima em depósitos arenosos e argilosos. Depósitos de fluxo de massa, por outro lado, incluindo leques aluviais que podem apresentar apenas incipiente ou grano-classificação (GTK Consortium, 2006).

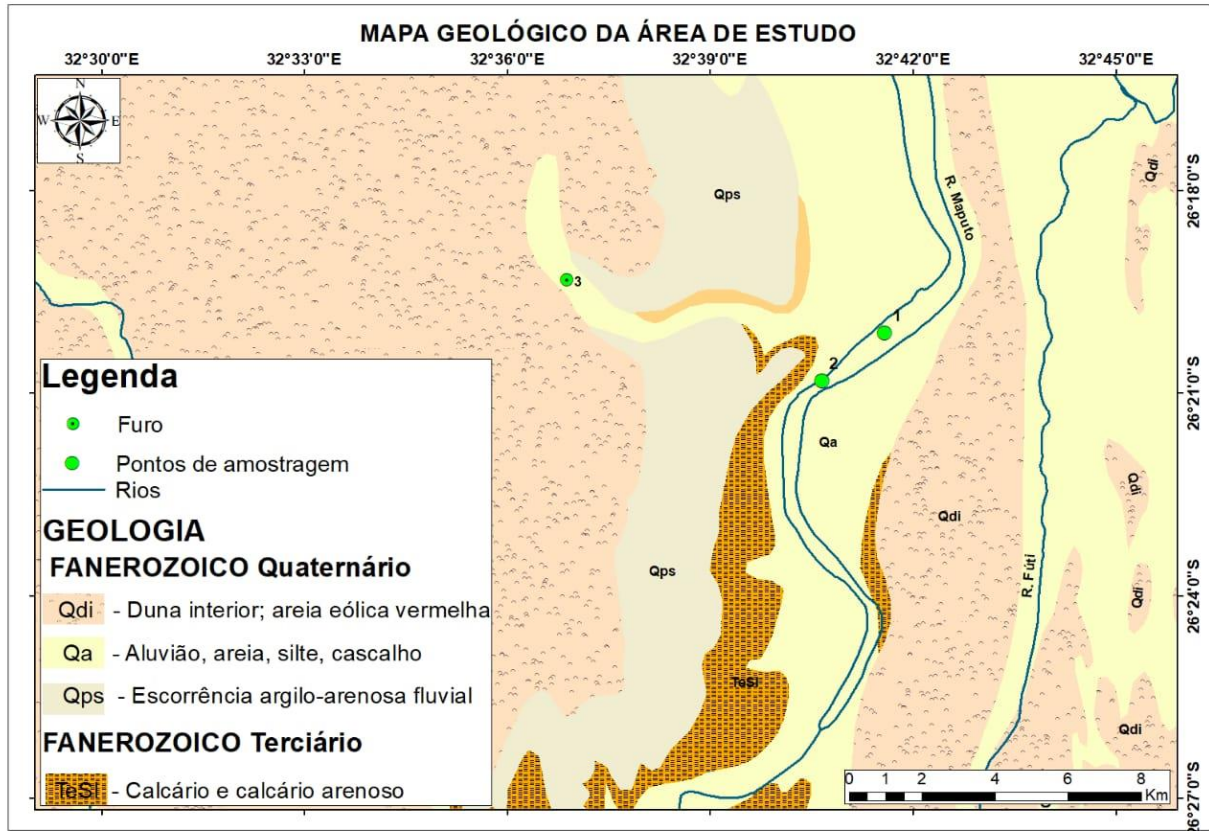


Figura 7. Mapa de geologia local.

Fonte: adaptado de (GTK Consortium 2006)

3.3. Enquadramento hidrogeológico

3.3.1. Recursos hídricos superficiais

O distrito tem um pequeno rio internacional de primeira ordem (que desagua no Oceano), que é o Rio Maputo que desagua na baía de Maputo.

Outro rio é o Rio Tembe (e seus afluentes Puchene, Esculo e Patáti) que faz fronteira com os distritos de Boane e Namaacha e que desagua na Matola. Há ainda um pequeno rio Futi que atravessa longitudinalmente todo o distrito e vai desagua numa lagoa antes da baía de Maputo, (MICOA, 2012).

O distrito tem muitas lagoas costeiras (Xingute, Piti e mais outras na península e Reserva de Maputo (Figura 8).

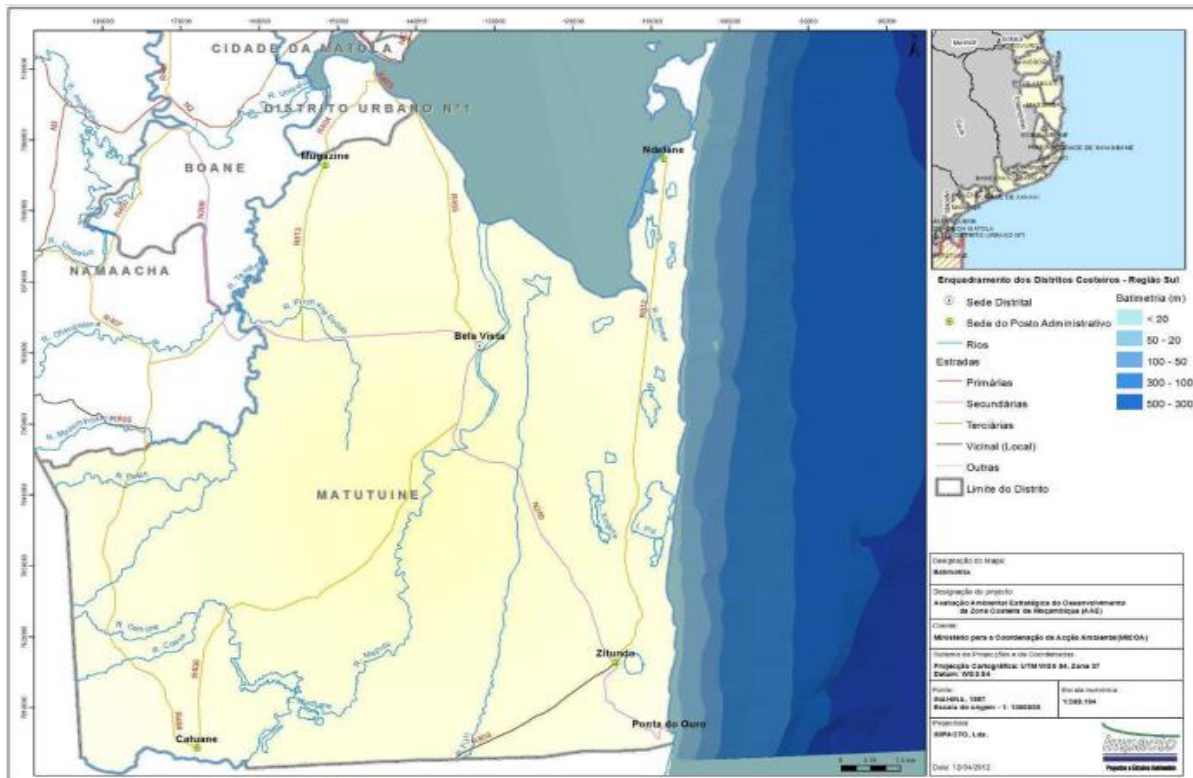


Figura 8: Batimetria da zona costeira do Distrito de Matutuíne

Fonte: Ministério Para Coordenação Da Acção Ambiental, (2012).

3.3.2. Hidrogeologia

Em termos de hidrogeologia, as formações aquíferas do Distrito de Matutuíne são em geral de produtividade moderada a alta e as águas são de boa qualidade.

Na costa oceânica os aquíferos são de produtividade moderada (aquíferos do tipo A3, ver Tabela 2) constituídos a partir de depósitos arenosos de origem aluvial e de areias médias a finas (de origem eólica ou marinha). O problema principal diz respeito à salinidade dos aquíferos ou ao alto risco de intrusão de água do mar que pode ocorrer em resultado de sobre-exploração dos furos. Nestes aquíferos a água pode ser muito dura, (MICOA, 2012).

Ao longo do vale do Rio Maputo encontramos aquíferos mais produtivos do tipo A2 de depósitos arenosos de origem fluvial e aquíferos do tipo B2, constituídos a partir de calcários, calcários gresosos e grés calcários. No interior do distrito encontramos aquíferos de produtividade limitada (do tipo C1), constituídos por depósitos argilosos incluindo por vezes areias, aquíferos do tipo C2 de margas e calcários margosos e aquíferos do tipo A3 de depósitos arenosos ao longo do Rio Tembe, (MICOA, 2012).

A produtividade dos aquíferos está descrita na Tabela 2, onde é referida a capacidade de abastecimento de água. No Distrito de Matutuíne e para os aquíferos que ocorrem no litoral,

do tipo A3, as águas subterrâneas são capazes de satisfazer extracções de média escala (com caudais esperados entre 3 e 10 m³/h), suficientes para pequenas aldeias e pequenas manadas de gado bovino. No interior do distrito, no vale do Rio Maputo ocorrem aquíferos de maior produtividade do tipo A2 e B2 cujas águas subterrâneas são capazes de satisfazer extracções de maior escala (10 a 5 m³/h). No interior para a fronteira com a Suazilândia os aquíferos são limitados do tipo C1 e C2, cujas águas subterrâneas são capazes de satisfazer extracções de pequena escala (< 5 m³/h), intercalados com aquíferos do tipo A3 no vale do Rio Tembe.

Tabela 2. Domínios e características das águas subterrâneas

Domínios de ocorrência da água subterrânea	Tipo/Produtividade	Caudais médios (m³/h)	Períodos máximos de bombagem (h/dia)	Possibilidade de abastecimento de água
A. Aquíferos predominantemente intergranulares (Contínuos, geralmente não consolidados)	A2 – Produtos	10 – 50	24	Vilas: >5.000 habitantes; Indústrias: médias; Regadios: médios
	A3 – Produtividade Moderada	3 – 10	16	Aldeias: entre 2.000 a 5.000 habitantes; Indústrias: pequenas; Regadios: pequenos
B. Aquíferos predominantemente fissurados. (Descontínuos)	B2 – Produtivos	10 – 50	24	Vilas: >5.000 habitantes; Indústrias: médias; Regadio: médios
C. Aquíferos locais (Intergranulares ou fissurados de produtividade limitada sem água subterrânea)	C1 – Limitada (Contínuo ou descontínuo)	<5	8	Aldeias: entre 1.000 a 2000 habitantes; Exploração de gado bovino: <2.000 cabeças
	C2 - Limitada	<3	8	Aldeias: entre 1.000 a 2.000 habitantes; Exploração de gado bovino: <1.500

Fonte: (MICOAA, 2012)

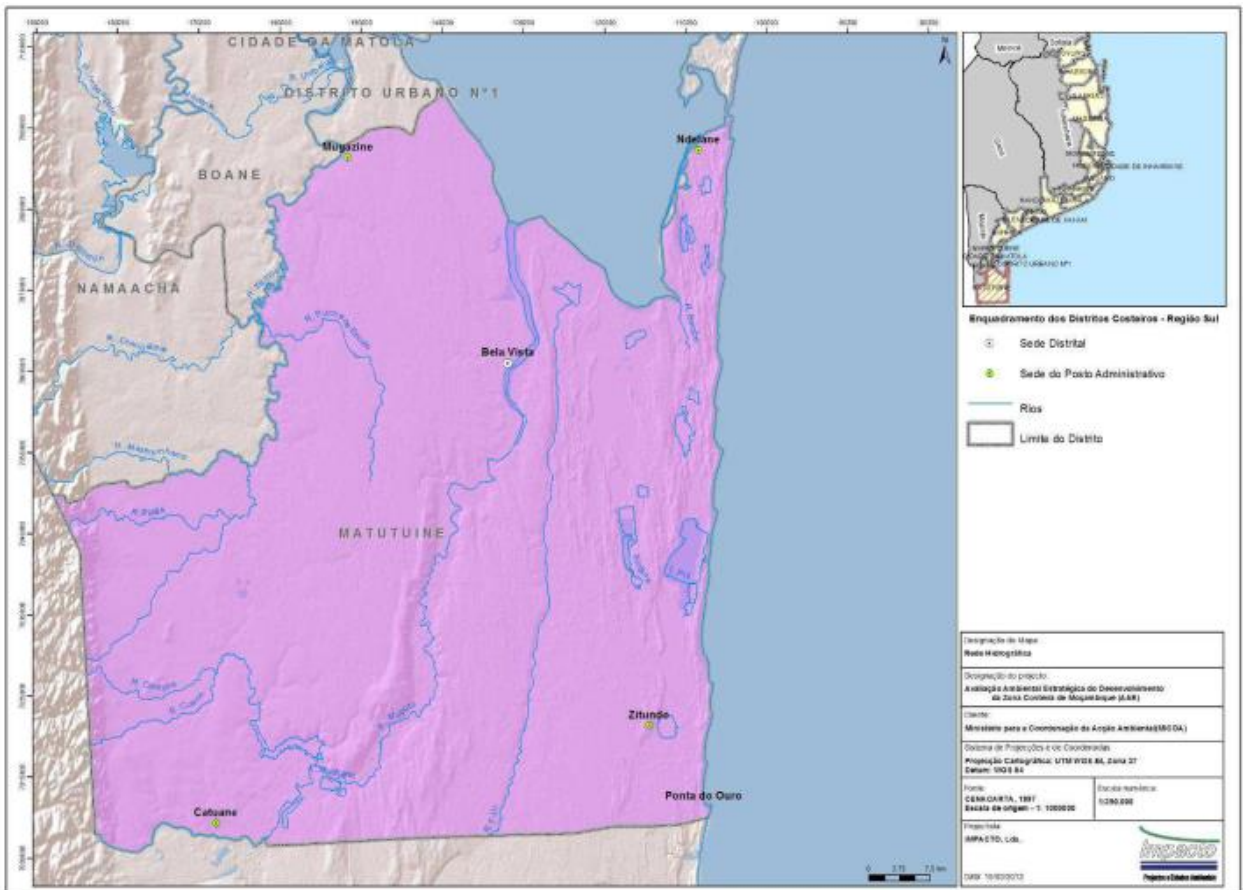


Figura 9: Rede Hidrográfica do Distrito de Matutuine
 Fonte: Ministério Para Coordenação Da Acção Ambiental, (2012).

CAPITULO IV: MATERIAS E METODOLOGIA

4.1. Materiais

Para a produção do presente trabalho, desde o trabalho de campo até ao trabalho de gabinete, foram usados diversos materiais, com destaque para os seguintes:

- ✓ *Microsoft Office 2013*- para o processamento estatístico dos dados (*Excel*);
- ✓ *Garrafa de colecta de água* – para colecta e armazenamento de água;
- ✓ *GPS* – acoplado ao celular, foi usado para o registo das coordenadas dos pontos de colecta de água;
- ✓ *Câmara fotográfica (Smart Phone)* – para o registo de imagens durante a etapa de trabalho de campo.

4.2. Metodologia

Para alcançar os objetivos estabelecidos, a metodologia adoptada seguiu as seguintes etapas:

4.2.1. Revisão bibliográfica

A primeira etapa do trabalho consistiu na pesquisa e análise de literatura existente , incluindo teses, monografias, livros, artigos científicos, entre outras fontes, disponibilizada pelo orientador e/ou obtida por meio de pesquisa independente, necessária referente à geologia, geomorfologia e fisiografia da Província de Maputo e sobre o tema em análises (fundamentos teóricos relacionados à avaliação dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas).

4.2.2. Trabalho de campo

Esta fase consistiu na visita à área do estudo previamente selecionado, com objectivo de colecta de amostra de água para fins de análise laboratoriais (Figura 10).



Figura 10. Colecta de amostras (A). Amostra identifica e pronta para as análises (B) (Autora, 2025).

4.2.3. Trabalho de laboratório

Esta fase consistiu na análise de amostras no laboratório para a determinação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. As análises foram realizadas no Laboratório Nacional de Higiene de Aguas e Alimentos (LNHAA), na cidade de Maputo. Esta etapa, como referido acima, consistiu nas análises físico-químicas para caracterização hidroquímica das águas subterrâneas da área de estudo.

4.2.3.1. Métodos de análise

Para a determinação dos parâmetros físico-químicos das amostras de água colectadas, foram usados os seguintes métodos:

🧪 Volumetria

A volumetria consiste na reacção de uma quantidade desconhecida de um composto (titulado) com um reagente (titulante) padrão ou padronizado. Este processo decorre através da adição gota a gota de uma solução de concentração conhecida sobre outra, a qual se deseja determinar a concentração, até chegar ao ponto final ou ponto de equivalência, isto é o ponto em que há alguma evidência física de que a reacção se completou (Parron, Muniz e Pereira, 2011).

Turbidimetria

Segundo Lawler (2019), este método 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.

Potenciometria

Este método consiste na determinação da concentração de uma espécie iónica através da medida do potencial eléctrico. A base teórica para a relação entre potencial e concentração é a equação de Nernst. O método potenciométrico é o mais preciso para a determinação de pH e, portanto, mais recomendado para o monitoramento de corpos de água (Parron, Muniz e Pereira, 2011).

Condutimetria

Este método 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 aplicada uma diferença de potencial entre dois eléctrodos mergulhados na solução electrolítica. Os iões negativos migram para o eléctrodo positivo e os positivos para o 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. Para a determinação da condutividade eléctrica, são utilizados aparelhos denominados condutivímetros, que se baseiam na intensidade da corrente eléctrica que circula entre os eletrodos, localizados na célula de medição, que são imersos na amostra que se deseja medir (Parron, Muniz e Pereira, 2011).

Fotometria de chama

Segundo Okumura et al., (2004), esta técnica é a mais simples das técnicas analíticas baseadas em espectroscopia atómica. Nesse caso, a amostra contendo catiões metálicos é inserida em uma chama e analisada pela quantidade de radiação emitida pelas espécies atómicas ou iónicas excitadas. Os elementos ao absorverem energia de uma chama geram espécies energéticas excitadas que, ao retornarem para o estado fundamental, libertam parte da energia recebida na forma de radiação, em comprimentos de onda característicos para cada elemento químico. Gonçalves e Libardi (2013), explicam que este método é aplicado normalmente na

determinação de metais alcalinos (Na, K e Li), podendo também ser usado para determinação de metais alcalino-terrosos. Estes elementos são distinguíveis pela coloração característica que emitem quando são submetidos ao aquecimento numa chama. A fotometria de chama apresenta interferência, sendo a mais importante a de ionização.

Fotometria (Ultravioleta)

O Fotômetro ELE Paqualab é um calorímetro de precisão com ampla aplicação na Química Analítica de correspondência de cores. Oferece, portanto, um método instrumental de análise para uma ampla gama de testes de água e solo. O Fotômetro é um instrumento que serve para medir a intensidade da cor. A luz de uma lâmpada incandescente é passada através de um tubo de ensaio contendo a solução da amostra e, em seguida, através de um filtro colorido em uma fotocélula. Cinco filtros integrados oferecem uma escolha de comprimentos de onda cobrindo o espectro visível. A luz detectada pela fotocélula é exibida como uma resposta digital, o visor mostra a porcentagem de transmitância (%T) - a fração de luz incidente que atinge a fotocélula (Paqualab, 2005).

4.2.4. Elaboração de relatório final

Nesta fase, foram reunidas e compiladas todas as informações obtidas nas fases anteriores, de tal modo que se culminou com a produção do presente relatório, cujo título é “Estudo da variação da qualidade das águas subterrâneas a partir dos parâmetros físico-químicos, no Posto Administrativo de Bela Vista, Distrito de Matutuíne”.

CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para o controlo de qualidade de água para fins domésticos, foram tomadas as normas do Instituto Nacional de Normalização e Qualidade, IP (INNOQ) e o Diploma Ministerial n° 180/2004, que estabelecem os valores máximos e mínimos das suas concentrações. Vale ressaltar que as denominações Posição 1 e Posição 2 fazem referência a dois pontos amostrados ao longo do mesmo rio, Rio Maputo. Com base nos resultados das análises laboratoriais (Apêndice I), foram analisados os seguintes parâmetros:

- **Parâmetros físicos:** CV, turvação, pH e dureza total;
- **Parâmetros químicos:** nitrito, nitrato, cloreto, amónia, magnésio e sódio

5.1. Parâmetros físicos

5.1.1. Conductividade Eléctrica

Na Figura 11, são apresentados os valores de Conductividade Eléctrica (CE) para as fontes das águas da área de estudo. Os valores da CE são: 181 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para Posição 1, 185 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para Posição 2, enquanto para o Furo, o valor é ligeiramente elevado, 440 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este valor, para o Furo, pode indiciar alguma influência antrópica. Notar que todas as fontes revelaram valores acima de 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que segundo Freddo Filho (2018), podem ser indícios de ambientes contaminados, o que pode gerar sabor desagradável à água, afectando directamente sua potabilidade e capacidade para consumo. Entretanto, esses valores estão muito distantes do valor máximo recomendado, que é de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estando dentro do padrão permitido pelas normas de restrição do INNOQ e pelo Diploma Ministerial n° 180/2004.

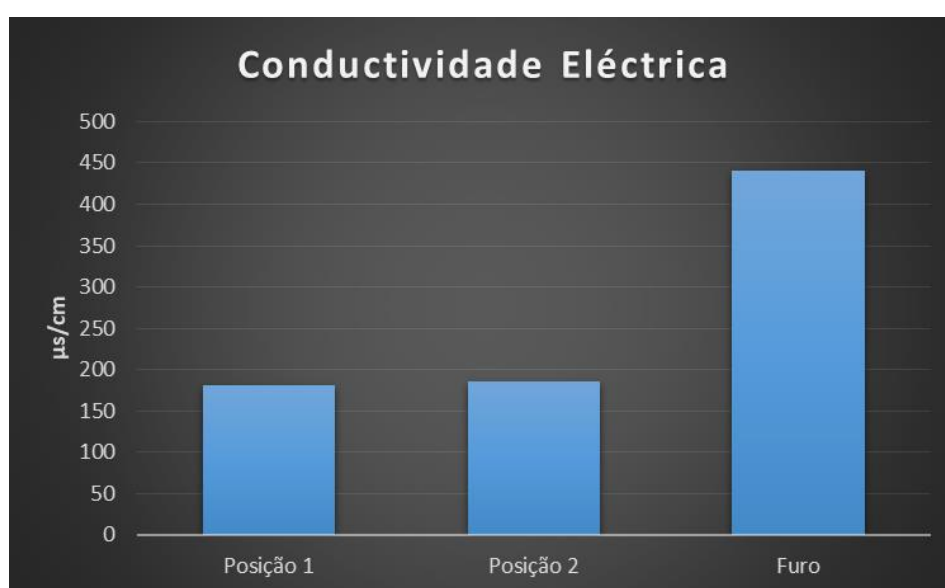


Figura 11: Diagrama ilustrativo dos valores de CE das águas do Rio e do furo.

5.1.2. Turvação

Na Figura 12, são apresentados os valores de Turvação para as duas fontes da água, que são: 180 NTU para a Posição 1, 178 NTU para Posição 2 e menor que 5 NTU para Furo. Os valores do rio excedem o limite máximo (5 NTU) estipulado pelas normas do INNOQ e pelo Diploma Ministerial n° 180/2004. A turvação da água está relacionada à presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência (FUNASA, 2014). Ela pode ser provocada também pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais. Segundo Bertolli et al., (2005), quanto maior é a turvação, maior será o aumento de matéria orgânica na água e conseqüentemente maior as chances de contaminação por coliformes. Porém, segundo os autores Cunha et al., (2005), a turvação é apenas um indicador da transparência física da água e não necessariamente um parâmetro de potabilidade, significando que a água pode ser usada para o consumo humano, pois este parâmetro não representa um risco para a saúde pública.

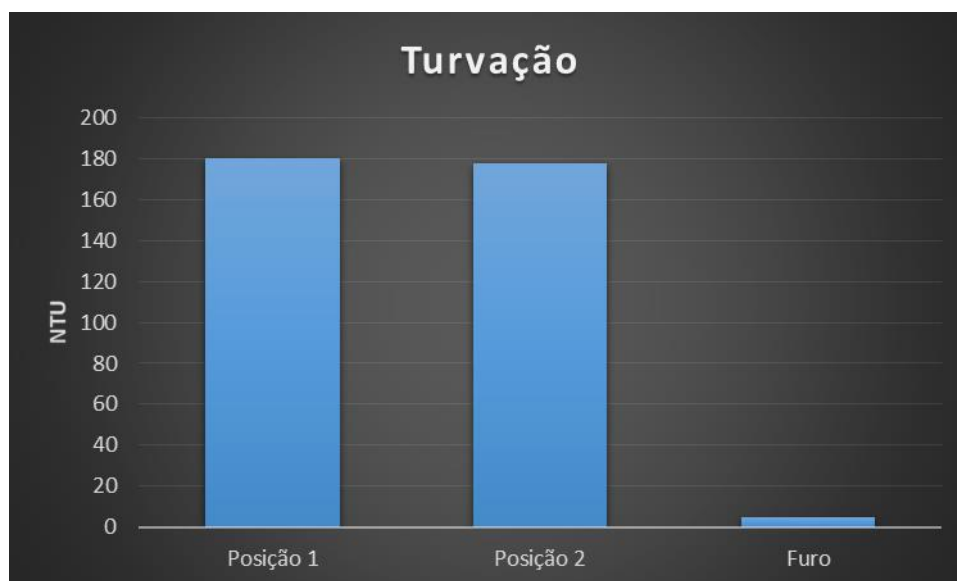


Figura 12: Diagramas ilustrativo dos valores da turvação para as águas do Rio e do Furo

5.1.3. pH

Os valores de pH das águas do rio e do furo estão dentro dos padrões estabelecidos pela INNOQ e pelo Diploma Ministerial n° 180/2004, que recomendam pH no intervalo de 6,5 a 8,5. Especificamente, os valores observados são de 8 para todas as fontes (Figura 13), conferindo um carácter ligeiramente básico às águas. Apesar do carácter básico, os valores estão dentro dos padrões admissíveis.

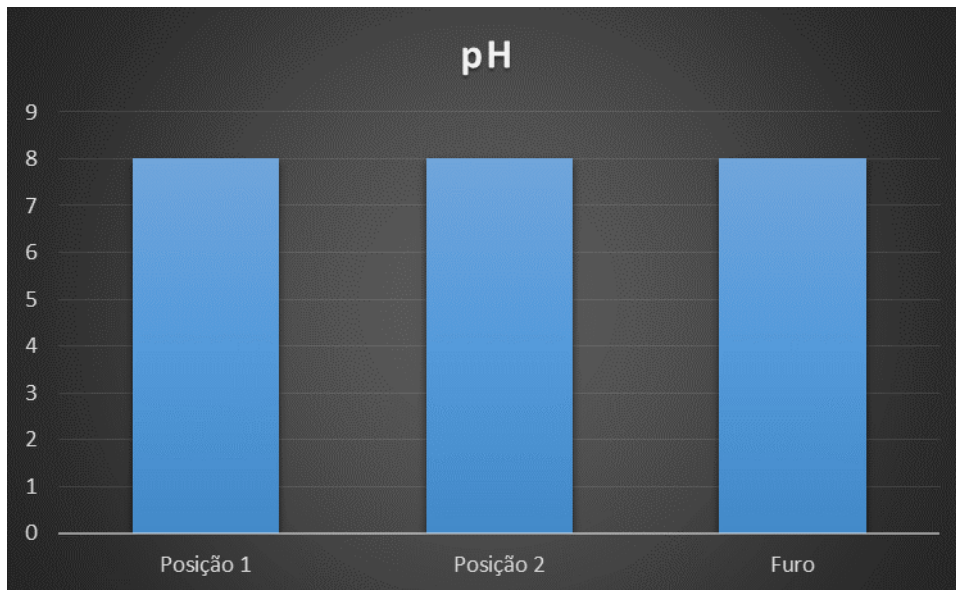


Figura 13: Diagramas ilustrativos dos valores de pH para água do Rio e água do Furo.

5.1.4. Dureza Total

O gráfico da Figura 14 mostra a Dureza total da água da área de estudo, cujos valores estão em conformidade com os padrões estabelecidos pela INNOQ e pelo Diploma Ministerial n° 180/2004, com os seguintes teores: 36 mg/L para Posição 1, 41 mg/L para Posição 2 e 76 mg/L para Furo. Os teores conferem uma Dureza mole para as águas do rio e, moderada para as águas do furo.

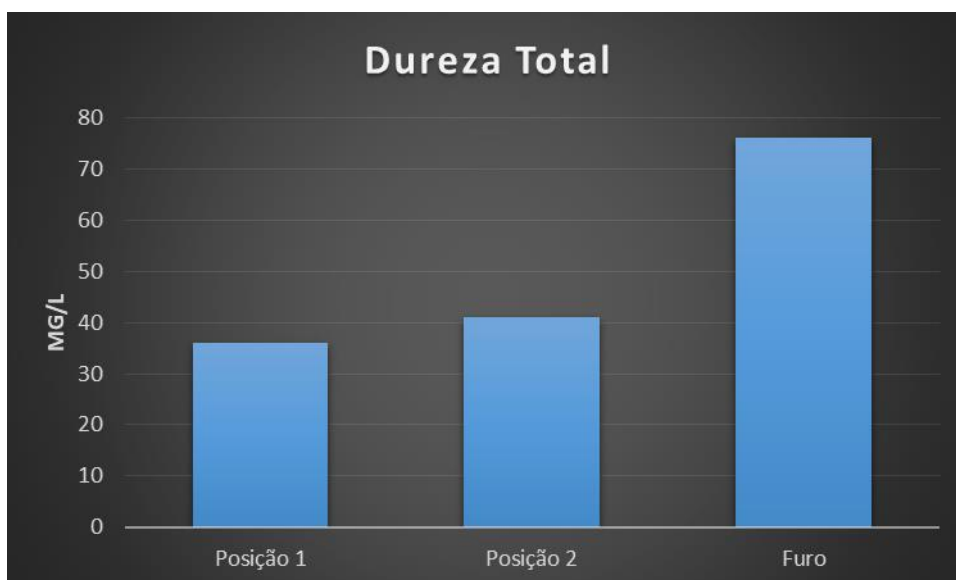


Figura 14: Diagramas ilustrativos dos valores de Dureza total para água do Rio e água do Furo.

5.2. Parâmetros químicos

5.2.1. Nitratos

Os valores dos nitratos nas análises realizadas estão em conformidade com as normas estabelecidas pelo INNOQ e pelo Diploma Ministerial n° 180/2004, cujo limite máximo admissível é de 50 mg/L. As análises indicaram concentrações abaixo de 0,5 mg/L para as amostras analisadas (Figura 15).

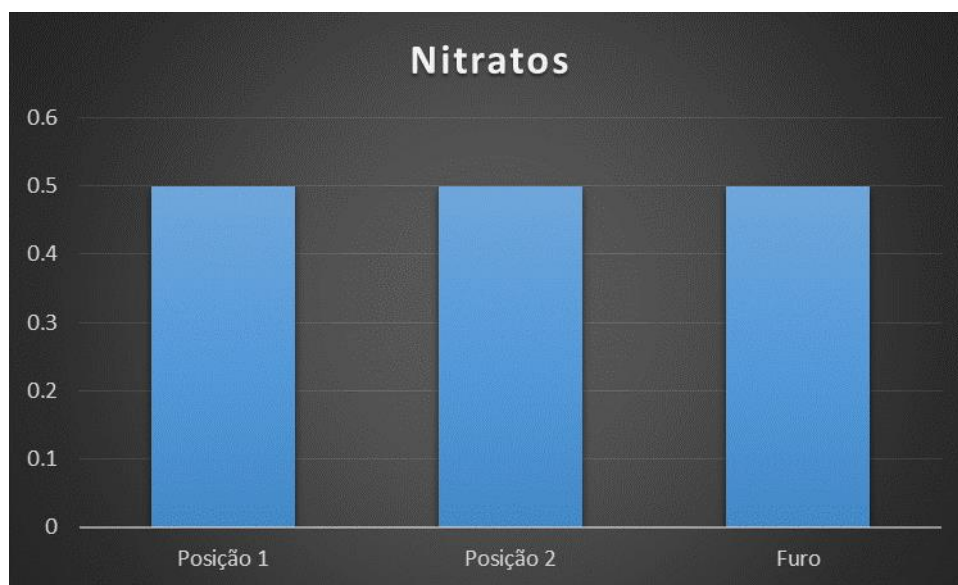


Figura 15: Diagramas ilustrativos dos valores de Nitratos para água do Rio e água do Furo.

5.2.2. Nitritos

Os valores dos nitritos nas análises realizadas estão em conformidade com as normas estabelecidas pelo INNOQ e pelo Diploma Ministerial n° 180/2004, cujo valor máximo admissível é de 3 mg/L. As análises revelaram concentrações inferiores a 0,03 mg/L para as amostras analisadas, como pode ser visto no gráfico da Figura 16.

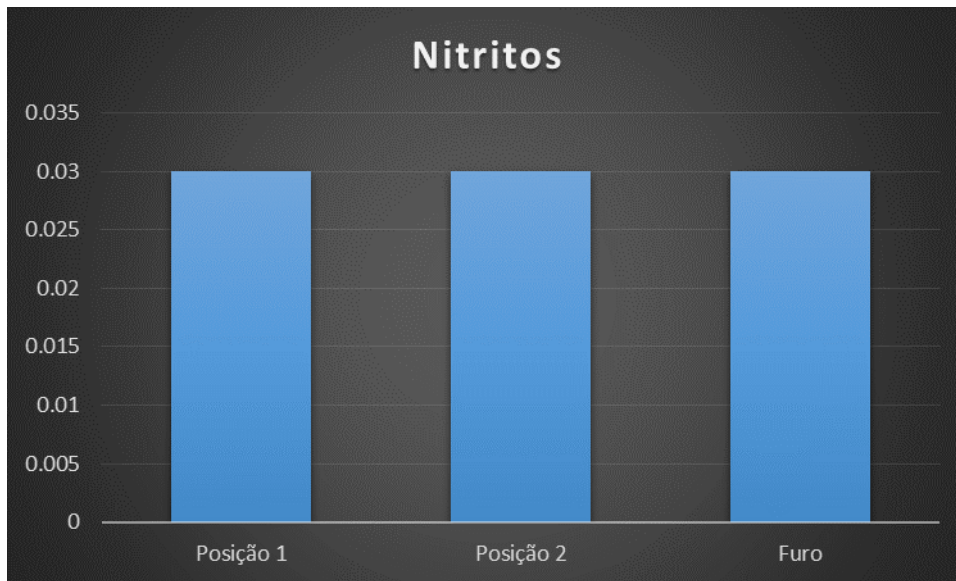


Figura 16: Diagramas ilustrativos dos valores de Nitritos para água do Rio e água do Furo.

5.2.3. Cloretos

O gráfico da figura abaixo mostra o comportamento dos cloretos para as diferentes fontes, apresentando os seguintes valores: 31.91 mg/L para a Posição 1, 34.82 mg/L para a Posição 2 e 77.99 mg/L para o Furo. Os valores revelam concentrações dentro dos padrões nacionais de potabilidade, cujo valor limite admissível é de 250 mg/L.

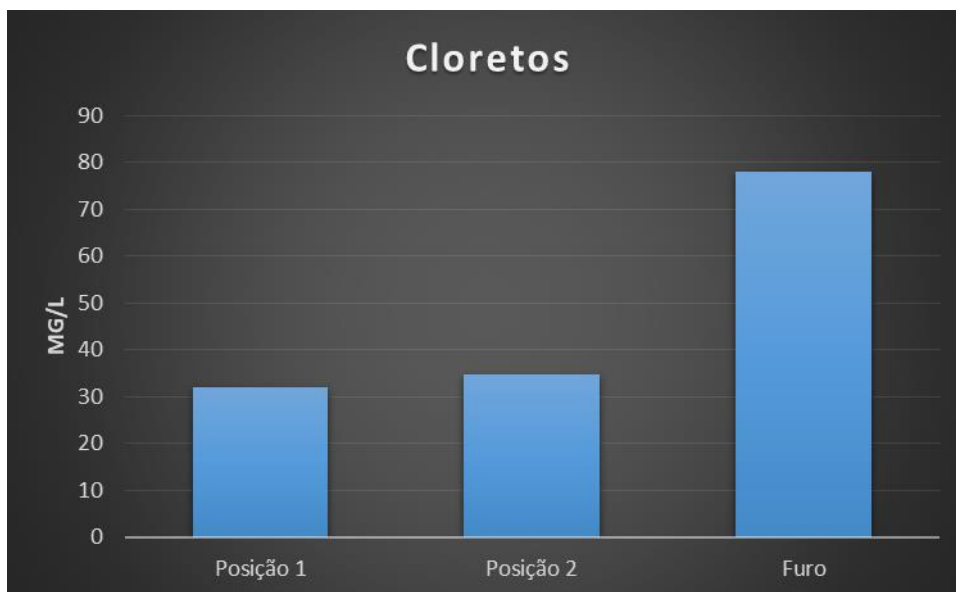


Figura 17: Diagramas ilustrativos dos valores de Cloretos para água do Rio e água do Furo.

5.2.4. Amoníacos

Segundo Ritcher (2009), o amoníaco é uma substância que pode representar um risco à saúde humana quando presente em níveis elevados na água. Ele pode ocorrer naturalmente em águas subterrâneas devido à decomposição da matéria orgânica, e sua presença é um factor

importante a ser monitorado para garantir a qualidade e segurança da água para consumo humano. Os valores observados nas análises das águas da área de estudo são inferiores a 0.04 mg/L (Figura 18), estando dentro dos padrões recomendados pelo INNOQ e pelo Diploma Ministerial n° 180/2004, que estipula o valor máximo admissível em 1.5 mg/L.

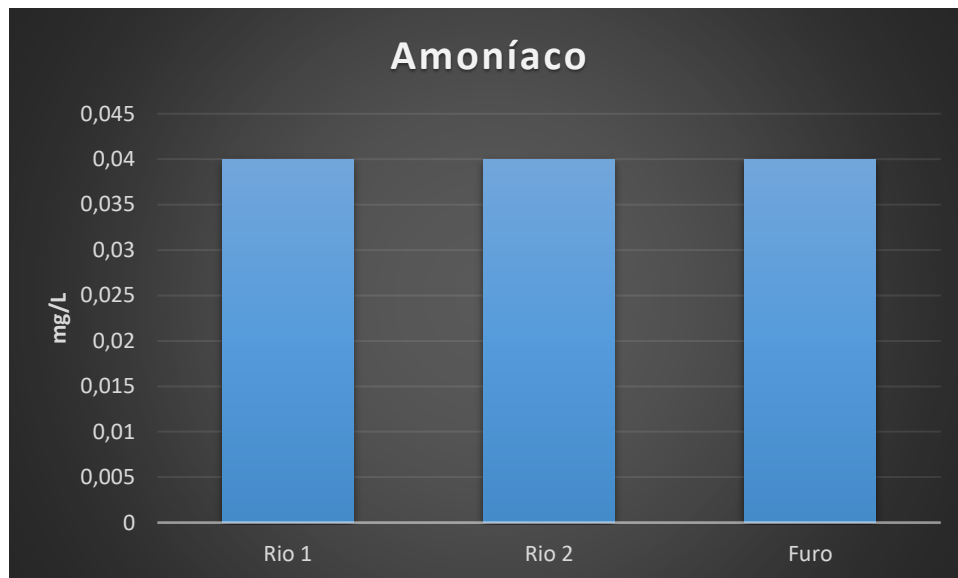


Figura 18: Diagramas ilustrativos dos valores de Amoníaco para água do Rio e água do Furo.

5.3. Discussão dos resultados

Os resultados das análises mostraram um comportamento normal das concentrações dos iões analisados. Este comportamento evidencia pouco ou nenhum impacto das actividades de mineração de Calcário para a produção de cimento naquela área de estudo. Entretanto, as análises realizadas pelo laboratório podem ser tidas como incompletas, não tendo incluído os iões Cálcio, Magnésio e Carbonatos, principais iões que poderiam evidenciar, de forma directa, a influência da mineração de Calcário nas águas subterrâneas daquela área. Apesar da Dureza Total também ser relacionada aos impactos da actividade de mineração de calcário devido a presença dos iões de cálcio e magnésio na sua composição, ela não pode ser tida como referência devido ao impacto de outros factores, como geologia local. Ademais, as águas analisadas revelaram baixos teores ou concentrações para a Dureza total.

Em relação a hidrogeologia da região, os furos mais próximos sob a gestão de DNGRH estão situados, o mais próximo, a 50 km, tornando a análise comparativa difícil devido à distância. Em relação a outras fontes, pode ser tomada como referência a água engarrafada e comercializada, de marca Bela Vista, que dista a menos de 500 m do furo tomado para as análises, cujas concentrações são apresentadas no Anexo I. Vale ressaltar que os parâmetros

rotulados nesta água não apresentam todos os parâmetros, principalmente os íons Cálcio, Magnésio e Carbonatos.

CAPÍTULO VI. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo é dedicado à apresentação das conclusões alcançadas após a avaliação da qualidade das águas subterrâneas com base nos parâmetros físico-químicos, no Posto Administrativo de Bela Vista, localizado no Distrito de Matutuíne, Província de Maputo.

6.1. Conclusão

Considerando-se os objectivos propostos, conclui-se que:

- ✓ Com base na avaliação dos parâmetros analisados, verificou-se que todos apresentaram concentrações dentro dos limites aceitáveis para o consumo humano, conforme os padrões estabelecidos pelo INNOQ e pelo Diploma Ministerial n° 180/2004;
- ✓ Em relação aos furos sob a gestão DNGRH, os mesmos situam-se muito distantes dos pontos de colheita de amostras, fazendo com que não fosse possível fazer nenhuma comparação;
- ✓ De forma geral, pode-se afirmar que as Posições 1 e 2 assim como o Furo apresenta uma excelente qualidade de água, tanto em termos físicos quanto químicos, sendo adequada para fins do consumo humano, conforme demonstrado pelos parâmetros analisados.

6.2. Recomendações

É amplamente reconhecido que a água constitui o recurso mais valioso do planeta, sendo essencial para a existência da vida. Com o objectivo de aprofundar o entendimento sobre a qualidade da água nesta região, a autora propõe a realização de estudos complementares, tais como:

- Realização de análises mais aprofundadas que incluam parâmetros adicionais não contemplados neste estudo, como iões de Cálcio, Magnésio, Carbonatos, por serem indicadores de contaminação por actividades relacionadas ao calcário;
- Monitoramento contínuo das águas da área de estudo, de modo a detectar quaisquer alterações na concentração dos parâmetros de qualidade;
- Realização de estudos similares em diferentes pontos da região, com o objectivo de obter uma visão mais abrangente da qualidade geral das águas da região.

6.3. Referências bibliográficas

- Amadi, A. N., Olasehinde, P. I. (2016). *Impacts of Limestone Mining and Processing on Water Quality in Ashaka Area, Notheastern Nigeria*. Development Journal of Science and Technology Research.
- Batalha, B. H. L. (1986). *Glossário de Engenharia Ambiental*. República Federativa do Brasil. Ministério de Minas e Energia, DNPM.
- Bertoli, J., Rempel, C., Maciel, M. J., Salvi, L. C. (2005). *Qualidade Físico-química da Água em Propriedades Rurais com Produção de Leite no Vale do Taquari-RS*.
- Boana, F. M. (2011). *Estudo da Qualidade da Água dos Rios Umbelúzi e Incomáti para Fins de Consumo Doméstico e de Irrigação*. Universidade Eduardo Mondlane. Departamento de Química. Maputo.
- Bonfim, M. B. (2017). *Avaliação dos Impactos Ambientais das Atividades Minerárias*. Superintendência de Educação Aberta e a Distância. Universidade Aberta do Brasil.
- Borguetti, N. R. B., Borghetti, J. R., Filho, E. F. R. (2004). *O Aquífero Guarani: A Verdadeira Integração dos Países do Mercosul*. Curitiba – PR.
- Capucci, E., Martins, A. M., Mansur, K. L., Monsores, K. L. (2001). *Poços Tubulares e outras Captações de Águas Subterrâneas. Projeto planágua semads de cooperação técnica Brasil – Alemanha*. Departamento de Recursos Minerais - DRM, Brasil.
- Carvalho, L. A. V.; Silva, A. M. (2006). *Hidrologia. Capítulo 2. Ciclo Hidrológico*. Brasil.
- Chibantão, G. V. (2012). *Controlo da Qualidade da Água do Rio Infulene para Fins de Irrigação*. Monografia. Universidade Eduardo Mondlane. Departamento de Química.
- Cleary, R. (2007). *Águas Subterrâneas In: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – Engenharia Hidrogeológica*. Rio de Janeiro.
- Costa, M. (1987). *Métodos de Análise de Água*. Ministério da Saúde.
- Cunha, H. F., Lima, D. C., Brito, P. N., Da Cunha, A. C., Júnior, A. M., & Brito, D. C. (2005). *Qualidade físico-química e microbiológica de água mineral e padrões da legislação*. Universidade Federal do Amapá-AP.
- Custódio, E.; Cardoso Júnior, L. (2008). *Introdução à hidrogeologia*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos.

Fernandes, A. M. (2011). *Diagnóstico da Qualidade da Água Subterrânea em Propriedade Rural no Município de Planalto*. Fundação Nacional de Saúde, Manual prático de análise de água. 3ª ed. Brasil.

FUNASA. (2006). *Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de Análise de Água*. 2ª ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde.

FUNASA. (2014). *Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos de Trabalhos em Atas*. Brasília.

Franco, R. A. M. (2009). *Qualidade de Água para a Irrigação da Microbacia do Córrego do Coqueiro no Noroeste Paulista*. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho.

Freddo Filho, V. J. (2018). *Qualidade das Águas Subterrâneas Rasas das Aquíferas Barreiras: Estudo de Caso em Benevidespa*. Dissertação do Mestrado, Universidade Federal do Pará- Instituto de Geociências.

Gonçalves, A. D. M. A.; Libardi, P. L. (2013). *Análise Da Determinação Da Condutividade Hidráulica Do Solo Pelo Método Do Perfil Instantâneo*.

GTK Consortium. (2006). *Notícia Explicativa (Volume 1), Escala 1:250 000 Folhas 20322035/2131-2135-2531/2532*, Ministério dos Recursos Minerais, Direcção Nacional de Geologia, Maputo.

Hipólito, J. R., Vaz, A. C. (2011). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Lisboa: IST Press.

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. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11006-6>, Acessado em 13 de Junho de 2025. Traduzido.

Lemos, J. F. (2011). *EAT do Balsemão/ETAR de Lamego*. Relatório de Estágio. Instituto Politécnico de Viseu, Viseu.

Lima, J. E. F. W. (2010). *Águas subterrâneas: hidrogeologia, meio ambiente e desenvolvimento sustentável*. 3. ed. rev. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA.

- Macedo. (2007). *Águas & Águas*. 3ª ed. Belo Horizonte.
- Machavate, J. (2008). *Qualidade de água do posto Administrativo de Machubo*. Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Geologia, Maputo, Moçambique.
- MAE. (2005). *Perfil do distrito de Matutuine, Província de Maputo*.
- Massango, Z. A. (2022). *Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos e Vulnerabilidade das águas subterrâneas da Comunidade de Giriyondo, Distrito de Massingir e Distrito de Chongoene, Província de Gaza*. Relatório de Estágio Profissional. Departamento de Geologia. Faculdade de Ciências. Universidade Eduardo Mondlane. Não Publicado.
- Marques, J. J. G. S. M. (2010). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Lavras: UFLA, 2010.
- MICOA. (2012). *Perfil ambiental e mapeamento do uso actual da terra nos distritos da zona costeira de Moçambique* -Distrito de Matutuíne, Maputo.
- Ministério do Meio Ambiente. (2007). *Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano*. Águas subterrâneas: Um recurso conhecido a ser protegido. Brasília.
- Okumura, F., Cavalheiro, É. T. G., Nóbrega, J. A. (2004). *Experimentos Simples Usando Fotometria de Chama para Ensino de Princípios de Espectrometria Atômica em Cursos de Química Analítica*.
- Oliveira, P. W. L., Dias, A. V. L. & Silva, H. P. B. (2018). *Levantamento dos Principais Impactos Ambientais em Areas de Extracção e Beneficiamento de Calcário no Município de Santa Maria do Cambucá-PE. XIX Encontro Nacional de Geógrafos. ISBN – 978-85-99907-08-5.***
- Paqualab, Photometer 430-550 (2005). *Operating Instructions*, ELE International.
- Parron, M. P., Muniz, D. F., Pereira, C. M. (2011). *Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-química de Água*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Florestas. ISSN 1980-3958. Colombo.
- Richter, C. A. (2009). *Água: métodos e tecnologia de tratamento*. Editora Blucher/Hemfibra. São Paulo.**
- Santos, R. B. (2013). *Interface Água e Saúde: Correlação com Actividades Agroindustriais Desenvolvidas em um Perímetro Irrigado no Semiárido Paraibano*. Dissertação de Mestrado em Sistemas Agroindustriais. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar. Pombal - PB.

Self, J. R. (2010). *Domestic Water Quality Criteria. Colorado*. Acessado a 18 de Março de 2025, disponível em: <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00513.html>

Souza, L. F. (2006). *Dessalinização como Fonte Alternativa de Água Potável*. Paraíba, Brasil.

Sperling, M. V. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.

Weinberg, A. (2013). *Uso de Índices de Qualidade de Água para a Caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Guandu. Rio de Janeiro*. UFRJ/ Escola Politécnica.

Wrege, M. A. (1987). *Águas subterrâneas*. Curitiba: SUDERHSA.

Anexos



Anexo 1. Garrafa de água de marca Bela Vista



Anexo 2. Garrafas de água prontas para as análises.

Parâmetros	Rio 1	Rio 2	Furo
pH	8	8	8
CE	181	185	440
Turvação	180	178	<5
Nitratos	<0.5	<0.5	<0.5
Nitritos	<0.03	<0.03	<0.03
Amoníaco	<0.04	<0.04	<0.04
Dureza total	36	41	76
Cloretos	31.91	34.82	77.99

Anexo 3. Resultados das análises laboratoriais.

Parâmetro	Limite máximo admissível	Unidades	Riscos para a Saúde Pública
Cor	15	TCU	Aparência
Cheiro	Inodoro		Sabor
Condutividade	50-2000	$\mu\text{hmo/cm}$	
pH	6,5-8,5		Sabor, corrosão, irritação da pele
Sabor	Insípido		
Sólidos totais	1000	mg/l	Sabor, corrosão
Turvação	5	NTU	Aparência, dificulta a desinfecção

Anexo 4. Parâmetros físicos das águas destinadas ao consumo humano.

Parâmetro	Límite máximo admissível	Unidades	Riscos para a Saúde Pública
Amoníaco	1,5	mg/l	Sabor e cheiro desagradável
Alumínio	0,2	mg/l	Afecta o sistema locomotor e causa anemia
Arsénico	0,01	mg/l	Cancro da pele
Antimónio	0,005	mg/l	Cancro no sangue
Bário	0,7	mg/l	Vasoconstrição e doenças cardiovasculares
Boro	0,3	mg/l	Gastroenterites e eritemas
Cádmio	0,003	mg/l	Vasoconstrição urinária
Cálcio	50	mg/l	Aumenta a dureza da água
Chumbo	0,01	mg/l	Intoxicação aguda
Cianeto	0,07	mg/l	Bócio e paralisia
Cloretos	250	mg/l	Sabor desagradável e corrosão
Cloro residual total	0,2-0,5	mg/l	Sabor e cheiro desagradável
Cobre	1,0	mg/l	Irritação intestinal
Crómio	0,05	mg/l	Gastroenterites, hemorragias e convulsões
Dureza total	500	mg/l	Depósitos, corrosão e espumas
Fósforo	0,1	mg/l	Aumenta a proliferação dos microorganismos
Ferro total	0,3	mg/l	Necrose hemorrágica
Fluoreto	1,5	mg/l	Afecta o tecido esquelético
Matéria orgânica	2,5	mg/l	Aumenta a proliferação dos micro-organismos
Magnésio	50	mg/l	Sabor desagradável
Manganês	0,1	mg/l	Anemia, afecta o sistema nervoso
Mercúrio	0,001	mg/l	Distúrbios renais e neurológicos
Molibdénio	0,07	mg/l	Distúrbios urinários
Nitrito	3,0	mg/l	Reduz o O ₂ no sangue
Nitrato	50	mg/l	Reduz o O ₂ no sangue
Níquel	0,02	mg/l	Eczemas e Intoxicações
Sódio	200	mg/l	Sabor desagradável
Sulfato	250	mg/l	Sabor e corrosão
Selénio	0,01	mg/l	Doenças cardiovasculares
Sólidos totais dissolvidos	1000	mg/l	Sabor desagradável
Zinco	3,0	mg/l	Aparência e sabor desagradáveis
Pesticidas totais	0,0005	mg/l	Intoxicações e distúrbios de várias ordens
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	0,0001	mg/l	Sabor desagradável, intoxicações e distúrbios de várias ordens

Anexo 5. Parâmetros químicos das águas destinadas ao consumo humano.