



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

*Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciatura em
Química Marinha*

AVALIAÇÃO DA INTRUSÃO SALINA NOS POÇOS DOS BAIRROS (INHANGOME, CHUABO DEMBE MANHAUAA e B, ICIDUA, NAMUINHO e BAZAR) MUNICÍPIO DE QUELIMANE

Autor:

Jorge Gonçalves Jorge



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

*Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciatura em
Química Marinha*

**AVALIAÇÃO DA INTRUSÃO SALINA NOS POÇOS DOS BAIRROS (INHANGOME,
CHUABO DEMBE MANHAUA A e B, ICIDUA, NAMUINHO e BAZAR) MUNICÍPIO DE
QUELIMANE**

Autor:

Jorge Gonçalves Jorge
(Jorge Gonçalves Jorge)

Presidente de Júri

S. Paula Milice
(Licenciada Paula Milice)

Supervisor

NBF
(Mestre Noca Furaca)

Avaliadora

Inocência António Paulo
(Mestre Inocência António Paulo)

Dedicatória

Este trabalho é dedicado aos:

*Meus pais Gonçalves Jorge Sumaila e Lucrécia José
Dias, e o meu tio Joaquim António Camacho.*

Agradecimento

A realização desta monografia representa a concretização de uma etapa muito importante da minha vida académica e pessoal. Nenhum caminho é trilhado sozinho, e, por isso, é com imensa gratidão que registro aqui o meu reconhecimento àqueles que, directa ou indirectamente, contribuíram para esta conquista.

Primeiramente, agradeço a ALLAH por me conceder saúde, força, ao longo desta jornada.

Aos meus pais Gonçalves Jorge Sumaila e Lucrécia José Dias inclusive aos meus tios Joaquim António Camacho e Lila Valentim Guedes Ferrão, eles que sempre foram meu alicerce, obrigado pelo apoio inestimável, pelos conselhos e, principalmente, por acreditarem em mim mesmo quando eu duvidei.

Ao chegar ao fim desta etapa tão importante não posso deixar de expressar minha profunda gratidão aos colegas que estiveram ao meu lado durante toda essa caminhada, cada um de vocês com sua presença amizade e companheirismo tornou essa jornada mais leve e significativa, dividir essa experiência foi um presente que esse curso me proporcionou.

Agradeço imensamente ao meu supervisor, [MSc. Noca Bernardo Furaca], pela paciência, orientação criteriosa e por compartilhar seus conhecimentos de forma generosa. Sua orientação foi fundamental para a elaboração deste trabalho.

Agradeço ainda à Escola Superior de Ciências Marinhais e Costeiras, pelo espaço de aprendizado, crescimento e oportunidades que me foram proporcionadas.

Aos meus amigos, por estarem presentes nos momentos de descontração e também nos desafios, por compartilharem risadas, desabafos e conquistas.

Por fim, a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta caminhada, deixo aqui meu mais profundo agradecimento. Cada gesto de apoio, por menor que tenha parecido, foi essencial para que este trabalho se tornasse realidade.

Declaração de honra

Eu Jorge Gonçalves Jorge declaro por minha Honra que o presente trabalho intitulado avaliação da intrusão salina nos poços dos bairros (Inhangome, Chuabo Dembe Manhaua A e B, Icidua, Namuinho e Bazar) Município de Quelimane foi inteiramente produzido por minha autoria e com auxílio do meu supervisor MSc Noca Bernardo Furaca e que nunca foi apresentado na sua essência para obtenção de qualquer grau académico.

Autor

Jorge Gonçalves Jorge

(Jorge Gonçalves Jorge)

Resumo

A intrusão salina nos poços é um fenómeno que ocorre quando a água salgada penetra no aquífero de água doce, comprometendo sua qualidade e potencial de uso. Este problema é particularmente relevante em regiões costeiras, onde a proximidade do oceano facilita o deslocamento de sais para os aquíferos subterrâneos. Este trabalho objectiva-se em avaliar a intrusão salina nos poços dos bairros Inhangome, Chuabo Dembe Manhaua A e B, Icidua, Namuinho e Bazar , Município de Quelimane, quantificação do teor de salinidade e condutividade eléctrica contido na água dos poços, identificar os bairros com maior influência da intrusão salina nos poços, e estabelecer uma relação de salinidade e condutividade eléctrica. Visando a isso foram colhidas 35 amostras de água, 5 amostras para cada bairro, num total 7 bairros do Município de Quelimane. As amostras foram submetidas a determinação de teor de salinidade e condutividade eléctrica e foi considerada a profundidade dos poços em relação da superfície da terra com finalidades de relacionar os teores e a profundidade. Os resultados obtidos indicam que todos os 35 poços de água monitorados em 7 bairros contêm teores de salinidade acima do padrão recomendado pela OMS, para o parâmetro da condutividade eléctrica cerca de 8 poços de água apresentam teores recomendado pela OMS, onde 2 poços de água foram registados em Inhangome, 3 poços no bairro Chuabo Dembe, 1 em Bazar e 2 poços de água em Namuinho, e 27 poços de água apresentam teores de condutividade eléctrica acima do padrão recomendado pela OMS. Os níveis de salinidade em todos os bairros variam de 0.21- 12.99 PPT e os níveis de condutividade variam de 0.63 – 19.99 mS/cm. Os bairros com maiores teores de salinidade são Icidua, Manhaua A e B, Inhangome, Namuinho e Bazar, ao passo que o bairro com menor teor é Chuabo Dembe, para condutividade eléctrica todos os bairros apresentam poços com teores extremos. Recomenda-se aos consumidores que o consumo de água com altas concentrações de sais pode causar problemas cardiovasculares.

Palavras-chaves: intrusão-salina, salinidade, condutividade eléctrica, poços, Quelimane

Abstract

Saline intrusion in wells is a phenomenon that occurs when salt water penetrates the freshwater aquifer, compromising its quality and potential use. This problem is particularly relevant in coastal regions, where the proximity of the ocean facilitates the displacement of salts to underground aquifers. This study aims to evaluate the saline intrusion in wells in the neighborhoods of Inhangome, Chuabo Dembe Manhaua A and B, Icidua, Namuinho and Bazar, Quelimane Municipality, quantify the salinity and electrical conductivity content of the water in the wells, identify the neighborhoods with the greatest influence of saline intrusion in the wells, and establish a relationship between salinity and electrical conductivity. Aiming at this, 35 water samples were collected, 5 samples for each neighborhood, in a total of 7 neighborhoods in the Quelimane Municipality. The samples were subjected to determination of salinity and electrical conductivity content and the depth of the wells in relation to the earth's surface was considered in order to relate the contents and depth. The results obtained indicate that all 35 water wells monitored in 7 neighborhoods contain salinity levels above the standard recommended by the WHO, for the electrical conductivity parameter about 8 water wells present levels recommended by the WHO, where 2 water wells were registered in Inhangome, 3 wells in the Chuabo Dembe neighborhood, 1 in Bazar and 2 water wells in Namuinho, and 27 water wells present electrical conductivity levels above the standard recommended by the WHO. The salinity levels in all neighborhoods range from 0.21- 12.99 PPT and the conductivity levels range from 0.63 - 19.99 mS/cm. The districts with the highest salinity levels are Icidua, Manhaua A and B, Inhangome, Namuinho and Bazar, while the district with the lowest level is Chuabo Dembe. For electrical conductivity, all districts have wells with extreme levels. Consumers are advised that drinking water with high salt concentrations can cause cardiovascular problems.

Keywords: saline-intrusion, salinity, electrical conductivity, wells, Quelimane

Lista de Figuras

Figura 1: Área de estudo – Os pontos ilustram onde foram colhidas as amostras e a diferença das cores ilustram a profundidade dos poços.

Figura 2: Coleta de amostra e armazenamento no saco plástico

Figura 3- teor de salinidade geral nos 7 bairros do Município de Quelimane

Figura 4- teor de condutividade eléctrica geral nos 7 bairros do Município de Quelimane

Figura 5-Salinidade em 2 bairros a Norte do município de Quelimane

Figura 6-Condutividade eléctrica em 2 bairros a Norte do município de Quelimane

Figura 7-Salinidade em 1 bairro da região Este do município de Quelimane

Figura 8-Condutividade eléctrica em 1 bairro da região Este do município de Quelimane

Figura 9-Salinidade em 4 bairro no Oeste do município de Quelimane

Figura 10-Condutividade eléctrica em 4 bairro no Oeste do município de Quelimane

Figura 11 – Mapa do uso e cobertura do solo em torno do Município de Quelimane

Figura 12. Gráfico da relação entre a salinidade e a condutividade eléctrica.

Lista de Tabela

Tabela 1 :Ilustração dos Bairros horas de início da colheita dias e o mês

Abreviatura

PPT	Parte por mil
mS/cm	Milisiemens por centímetros
M	Metros
OMS	Organização Mundial da Saúde
INE	Instituto Nacional de Estatística
SIG	Sistema de Informação Geográfica
FIPAG	Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água
ESCMC	Escola Superior de Ciências Marinhais e Costeiras

Índice

Declaração de honra.....	v
Abreviatura	x
CAPÍTULO I: Introdução.....	1
1.1 Introdução	1
1.2 Problematização.....	2
1.3 Justificativa.....	2
1.4 Objectivos.....	2
1.4.1 Geral.....	2
1.4.2 Específicos:	2
CAPÍTULO II: Revisão da Literatura	3
2.1 Conceito e fundamento da Intrusão Salina	3
2.2 Causas e Factores que Contribuem para a Intrusão Salina	3
2.3 Métodos de Avaliação da Intrusão Salina	4
2.4 Estratégias e Tecnologias para Mitigação da Intrusão Salina.....	5
2.5 Níveis de potabilidade da água.....	6
CAPÍTULO III: Metodologia	7
3.1 Área de Estudo.....	7
3.2 Coleta das amostras de água	8
3.3 Procedimento de coleta das amostras	8
3.4 Determinação dos níveis de salinidade e condutividade eléctrica dos poços	9
3.5 Procedimentos e analise de dados	10
CAPÍTULO IV: Resultados.....	11
4.1 Níveis de salinidade e bairros com maior teor de salinidade da água nos poços	11
4.2 Níveis de condutividade eléctrica e bairros com maior teor de condutividade eléctrica de água nos poços	11
4.3 Salinidade a norte do município de Quelimane.....	12
4.4 Condutividade eléctrica a norte do município de Quelimane.....	13

4.5 Salinidade na região Este do município de Quelimane	14
4.6 Condutividade eléctrica a região este do município de Quelimane.....	14
4.7 Salinidade na região oeste do município de Quelimane.....	15
4.8 Condutividade eléctrica na região oeste do município de Quelimane.....	16
4.9 Identificação dos bairros com maior influência da intrusão salina nos poços com base no mapa de uso e cobertura do solo	17
4.10 Relação da salinidade e condutividade	17
CAPÍTULO V: Discussão dos Resultados.....	19
5.1 Discussão	19
CAPÍTULO VI: Conclusão e Recomendações	21
6.1 Conclusão	21
6.2 Recomendações	21
8.1 Referências bibliográficas	22

CAPÍTULO I: Introdução

1.1 Introdução

Intrusão salina é o processo pelo qual a água salgada é deslocada ao continente aumentando contaminantes nos aquíferos continentais (Silva & Gomes, 2015). Este processo surge por causa do aumento do nível da exploração dos recursos hídricos nas regiões costeiras na medida que é perfurado o aquífero nas zonas de transição entre água doce e salgada (Cabral, 1985).

Ainda que seja a maior parte da composição da superfície do planeta terra, a grande maioria da água se encontra em qualidade e estado que a torna inviável para consumo. O uso das águas subterrâneas tem aumentado ao longo dos anos justamente pela busca de águas de melhor qualidade para consumo humano e para processos produtivos. Poços tubulares têm sido constantemente perfurados em todos os lugares no mundo a fim de garantir a disponibilidade de água para as populações (Castro, 2020).

De acordo com, Inácio (2022), o Município de Quelimane está localizado numa zona costeira, e o seu aquífero está suscetível a influência da intrusão salina. O número de ligações da FIPAG não favorece a todos habitantes, entretanto esta limitação contribui para a maior procura de água potável, e por vezes nas épocas de seca uma parte dos habitantes do município recorrem a água dos poços para o consumo.

Estudos sobre a intrusão salina nos poços na mesma região foram desenvolvidos por, Inacio (2022) que estudou a intrusão salina nos poços do município de Quelimane, e por, Baastel (2020) na qual avaliou o nível de salinização da água nos poços ao longo dos estuários Bons Sinais, Zambeze e Limpopo. Os resultados mostraram uma preocupação com as autoridades governamentais visto que a 90% das amostras colhidas nas três regiões apresentavam níveis de salinidade da água acima do recomendado para a potabilidade.

Estes estudos melhoram o entendimento da situação de salinização dos aquíferos nas cidades costeiras, e visa contribuir na estimativa da população com acesso a água potável ou não. Este facto ajudara na planificação das boas políticas na expansão de abastecimento de água potável para toda população. A nível científico, os resultados deste trabalho constituem de uma base de referências para as pesquisas.

1.2 Problematização

O aumento do nível do mar vêm aumentados nas últimas décadas, e como consequência verifica-se a invasão das águas nas regiões costeiras, como é o caso da cidade de Quelimane. A cidade de Quelimane enfrenta sérios problemas da intrusão salina, comprometendo a qualidade de água para o consumo humano. Com a população mundial a aumentar a um ritmo alarmante, o abastecimento de água doce está continuamente a esgotar-se, aumentando a importância da monitorização e gestão das águas subterrâneas. O município de Quelimane segundo dados do (INE, 2015) tem registado o aumento da população, o que resulta no aumento da procura dos recursos hídricos.

No entanto, a população é obrigada a efectuar perfurações nos aquíferos para a captação da água para várias finalidades. Uma das principais preocupações mais comumente encontradas em aquíferos costeiros são o fluxo induzido de água salgada em aquíferos de água doce causado pelo bombeamento excessivo de águas subterrâneas, conhecido como intrusão de água salina ou intrusão de água salgada.

1.3 Justificativa

Estudos sobre a intrusão salina melhoram o entendimento da situação de salinização dos aquíferos nas cidades costeiras, e contribui na estimativa da população com acesso a água potável ou não. Entretanto, este trabalho ajudara na planificação das boas políticas na expansão de abastecimento de água potável para toda população. A nível científico, os resultados deste trabalho constituem uma base de referências para as pesquisas futuras, e conhecimento sobre as consequências da elevação do nível do mar.

1.4 Objectivos

1.4.1 Geral

- Avaliar a intrusão salina nos poços dos bairros (Inhamgome, Chuabo Dembe Manhaua A e B, Icidua, Namuinho e Bazar) Município de Quelimane.

1.4.2 Específicos:

- Determinar os níveis de salinidade e condutividade eléctrica dos poços;
- Identificar os bairros com maior influência da intrusão salina nos poços;
- Estabelecer uma relação da salinidade e condutividade eléctrica.

CAPÍTULO II: Revisão da Literatura

2.1 Conceito e fundamento da Intrusão Salina

A intrusão salina nos poços é um fenómeno que ocorre quando a água salgada penetra no aquífero de água doce, comprometendo sua qualidade e potencial de uso. Este problema é particularmente relevante em regiões costeiras, onde a proximidade do oceano facilita o deslocamento de sais para os aquíferos subterrâneos. Segundo Custodio & Trindade (2014), a intrusão salina representa uma ameaça significativa à sustentabilidade da água subterrânea, especialmente em áreas de exploração intensiva do recurso hídrico, devido ao aumento da demanda e à sobre-exploração dos aquíferos.

A dinâmica da intrusão salina é influenciada por diversos factores, incluindo actividades humanas, variações climáticas e processos naturais. Entre eles, a sobre-exploração dos poços de captação pode causar o declínio do nível piezométrico, facilitando a penetração da água salgada. Além disso, os eventos de maré alta, tempestades e mudanças no uso do solo podem acelerar o processo de intrusão. Assim, a compreensão dos mecanismos de deslocamento dos sais é fundamental para a elaboração de estratégias de gestão eficiente dos recursos hídricos.

Diversos métodos têm sido utilizados na avaliação da intrusão salina, incluindo análises químicas, monitoramento piezométrico e modelagem numérica. Estes instrumentos permitem identificar a extensão da zona salina, entender suas causas e prever sua evolução futura. Segundo Custodio & Trindade (2014), a combinação dessas abordagens é essencial para uma avaliação abrangente, possibilitando acções preventivas e correctivas que minimizem os impactos sobre as comunidades dependentes do recurso.

Portanto, a necessidade de uma gestão integrada e sustentável dos aquíferos costeiros é reconhecida mundialmente. A implementação de políticas de controle de captação, uso racional da água e recuperação de áreas degradadas contribui para limitar a intrusão salina. Assim, a pesquisa e o monitoramento contínuo são indispensáveis para garantir a qualidade da água subterrânea e a segurança hídrica das regiões afectadas.

2.2 Causas e Factores que Contribuem para a Intrusão Salina

A intrusão salina é causada por uma combinação de factores naturais e antropogénicos. Os factores naturais incluem processos como a maré, a circulação oceânica e a geologia do aquífero, que podem facilitar ou dificultar a penetração do sal. Segundo Custodio & Trindade (2014), em áreas costeiras, a presença de uma interface entre a água doce e a água salgada é natural, formando uma zona de transição que pode se mover devido a variações ambientais.

Entretanto, as actividades humanas desempenham um papel predominante na intensificação do fenómeno. A extracção excessiva de água subterrânea diminui o nível do aquífero, criando um gradiente que favorece a entrada de água salgada. Isso é particularmente evidente em regiões onde a exploração de poços é descontrolada ou insuficientemente regulada. Além disso, a construção de obras costeiras, como diques e canais, pode alterar o fluxo natural das águas e promover a intrusão (Martins, 2017).

Outro factor importante é o uso de técnicas de irrigação e práticas agrícolas que aumentam a demanda por água doce, levando à sobre-exploração dos aquíferos. A irrigação intensiva, aliada ao uso de fertilizantes e pesticidas, pode também contribuir para a contaminação da água subterrânea, tornando a avaliação da intrusão ainda mais complexa. Além disso, as mudanças climáticas ocasionam aumento do nível do mar e aumento da frequência de eventos extremos, como tempestades, que podem favorecer a entrada de sais nos poços (Silva *et al.*, 2019).

A compreensão desses factores é essencial para desenvolver estratégias de mitigação eficazes. A implantação de medidas de controle de captação de água, a recuperação de áreas de recarga e o uso de tecnologias de monitoramento são acções recomendadas por especialistas para reduzir os efeitos da intrusão salina. A gestão adequada do uso do solo e a conscientização da comunidade também são componentes-chave para minimizar os impactos desse fenómeno.

2.3 Métodos de Avaliação da Intrusão Salina

A avaliação da intrusão salina nos poços requer uma combinação de técnicas que permitem identificar a extensão, intensidade e causas do fenómeno. Dentre os métodos utilizados, a análise química da água é fundamental para detectar a presença de sais e determinar sua concentração. Os parâmetros mais comuns incluem a condutividade eléctrica, a concentração de sódio, cloretos, sulfatos e outros íons que indicam a influência de água salgada (Custodio & Trindade, 2014).

A monitoração piezométrica também desempenha papel importante na avaliação, permitindo acompanhar as variações nos níveis de água subterrânea ao longo do tempo. A instalação de piezômetros em diferentes pontos do aquífero possibilita a construção de mapas de zonas salinas e a identificação de áreas mais vulneráveis. Segundo Martins (2017), esses dados, aliados a informações geológicas, ajudam a compreender os fluxos de água e a dinâmica da intrusão.

Modelagem numérica é uma ferramenta avançada que vem sendo cada vez mais utilizada para prever o comportamento do fenómeno. Por meio de simulações computacionais, é possível testar diferentes cenários de exploração, mudanças climáticas e intervenções humanas, facilitando a

elaboração de planos de gestão. A modelagem ajuda a optimizar os recursos disponíveis, identificar pontos críticos e planejar acções de contenção (Silva *et al.*, 2019).

Por fim, a combinação dessas metodologias possibilita uma avaliação mais precisa e abrangente. A integração de dados químicos, hidrogeológicos e de modelagem fornece uma visão holística do problema, essencial para a elaboração de estratégias de manejo sustentável dos aquíferos costeiros. É importante que os estudos de avaliação sejam periódicos, garantindo o monitoramento contínuo da evolução da intrusão salina e a implementação de acções correctivas de forma oportuna.

2.4 Estratégias e Tecnologias para Mitigação da Intrusão Salina

A mitigação da intrusão salina em poços demanda acções integradas que envolvem tanto o manejo sustentável dos recursos hídricos quanto o uso de tecnologias específicas. Uma das estratégias mais recomendadas é a redução da captação de água subterrânea, especialmente em áreas de alta vulnerabilidade, para permitir a recuperação do nível do aquífero. Segundo Custodio e Trindade (2014), o controle da extração é fundamental para evitar o agravamento do fenómeno.

A recarga artificial de aquíferos também se apresenta como uma técnica eficaz, sobretudo em regiões onde há disponibilidade de água doce. Através desse método, a água é introduzida de forma controlada no aquífero, ajudando a deslocar a zona salina para áreas menos críticas. Além disso, a recuperação de zonas de recarga natural, como áreas de vegetação e rios, contribui para o equilíbrio hidrológico e diminui a vulnerabilidade à intrusão (Martins, 2017).

Outra estratégia importante envolve a instalação de barreiras físicas ou químicas, capazes de bloquear ou reduzir a entrada de sais. Barreiras de cortina de gestão de água podem ser utilizadas para impedir a propagação da zona salina, enquanto o uso de agentes químicos pode promover a precipitação de sais ou alterar as condições do aquífero. Essas técnicas, entretanto, devem ser usadas com cautela e baseadas em estudos detalhados, devido aos possíveis impactos ambientais (Silva *et al.*, 2019).

Além das acções técnicas, a implementação de políticas públicas de gestão integrada de recursos hídricos é essencial. Isso inclui a regulamentação da captação de água, o planeamento do uso do solo e a sensibilização das comunidades locais. Programas de monitoramento contínuo e de educação ambiental contribuem para uma gestão mais eficiente e sustentável dos aquíferos costeiros. A cooperação entre diferentes sectores e instituições também é fundamental para o sucesso dessas acções.

Por fim, a adoção de tecnologias inovadoras, como sensores remotos, sistemas de informação geográfica (SIG) e inteligência artificial, tem potencial para aprimorar o monitoramento e a tomada de decisão. Essas ferramentas permitem uma análise mais rápida e precisa dos dados, facilitando a

implementação de medidas preventivas e correctivas. Assim, a combinação de estratégias técnicas, políticas públicas e inovação tecnológica é o caminho mais promissor para enfrentar o desafio da intrusão salina nos poços.

2.5 Níveis de potabilidade da água

É considerada água Potável aquela que é própria para o consumo humano e com concentração de totais de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica e salinidade dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Deve ter certa quantidade de sais minerais dissolvidos que são importantes para a saúde. Além disso, ela deve estar livre de materiais tóxicos e microorganismos, como bactérias, protozoário (Guevara, 2019).

Segundo Baastel, (2020) salinidade recomendável para água potável deve ser igual ou inferior a 0.2PPT em caso de a concentração de sal na água ultrapassar este limite causara doenças associadas a infecções por bactérias que vivem em água salobra e salgada, como vibrio vulníficos e vibrio para hemolíticos, e Diploma ministerial nº 180/2004 de 15 de Setembro de 2004 do ministério da saúde na qual considera a condutividade eléctrica ideal da água de 0.05 mS/cm – 2 mS/cm.

CAPÍTULO III: Metodologia

3.1 Área de Estudo

Cidade de Quelimane localiza-se na zona da baixa Zambézia, no sudeste da província, entre os paralelos $17^{\circ} 47'$ – $17^{\circ} 57'$ Sul e $36^{\circ} 50'$ – $36^{\circ} 57'$ (Canivete, 2019). Encontra-se na margem norte do estuário Bons Sinais, a cerca de 20 km da costa do Oceano Índico, numa altitude que não ultrapassa os 10 metros acima do nível do mar.

A sua divisão administrativa, contém 7 postos urbanos e 54 bairros. Nesta perspectiva o maior posto urbano é o nº1 com 17 bairros, ao passo que o menor posto urbano é o nº6. De acordo com (Censo 2017), a cidade conta com uma população estimada em cerca de 246.915 habitantes, dos quais 127.440 mulheres e 119.475 homens

Na vizinhança dos bairros, a cidade está limitada com riachos, florestas de mangal, pântanos de mangal, machambas e terras húmidas (Furaca et al., 2021). O clima da cidade é tropical, com temperatura que varia entre os 16.5°C e os 34.3°C com duas estações: inverno que é frio e seco, e o verão que é quente e chuvoso. O mês mais seco é o mês de novembro e o mês mais chuvoso é o mês de janeiro (Inacio 2022).

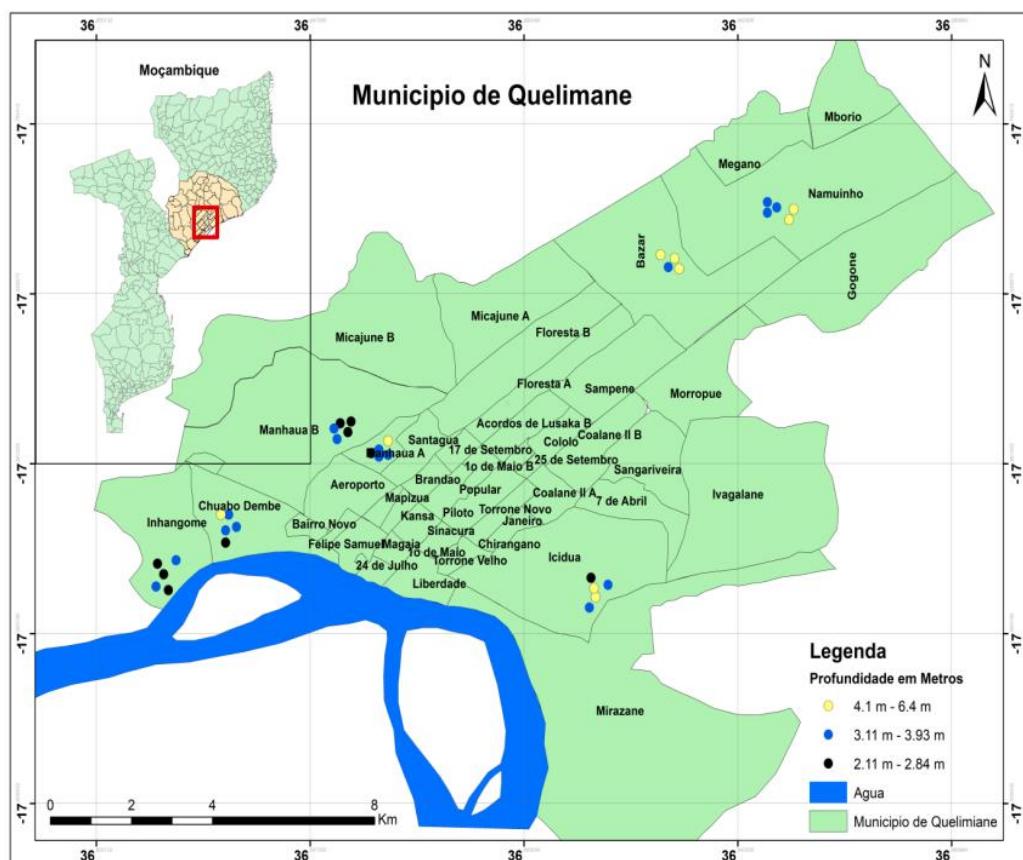


Figura 1: Área de estudo – Os pontos ilustram onde foram colhidas as amostras e a diferença das cores ilustram a profundidade dos poços.

3.2 Coleta das amostras de água

As amostras de água foram colhidas no mês de junho de 2024 (nos dias 6 a 11), a escolha deste período baseou-se pelo facto de ser segundo mês após o início do período da época seca. Foram colhidas 35 amostras nos 7 bairros do município, numa distribuição de 5 amostras para cada bairro. A escolha dos 7 bairros tem em conta os níveis extremos de salinidade com base nos resultados propostos no estudo do (Inácio, 2022).

3.3 Procedimento de coleta das amostras

Para a colheita das amostras usou-se um material local que era encontrado em cada poço de água cujo o material permitia buscar amostras de água as amostras colhidas foram conservadas numa garrafa de 500ml devidamente etiquetadas e armazenadas num saco plástico. No acto de colheita, foi medida a profundidade total de cada poço de água, por uma fita métrica e registada a coordenada geográfica com auxílio de um aplicativo GPSEssentials US instalado num telefone android,



Figura 2: Coleta de amostra e armazenamento no saco plástico

Foram colhidas as amostras no dia 6 de junho e finalizou-se no dia 11 de junho, entretanto optou-se colher amostras pelas horas da manhã por motivos de influência do aumento da temperatura, porém com aumento da temperatura a água nos poços pode evaporar e consequentemente aumentar o teor de sais na água dos poços.

Tabela 2 : Ilustração da tabela resumida sobre o tempo de colheita das amostras.

Bairros	Poços	Horas da colheita das amostras	Dias	Mês
Inhangome	1	8:00	6	Junho

Inhangome	2	8:12	6	Junho
	3	8:32	6	
	4	8:52	6	
	5	9:06	6	
Chuabo Dembe	1	8:00	7	Junho
	2	8:18	7	
	3	8:33	7	
	4	8:44	7	
	5	8:59	7	
Manhaua A	1	8:00	8	Junho
	2	8:13	8	
	3	8:26	8	
	4	8:39	8	
	5	8:52	8	
Manhaua B	1	8:00	9	Junho
	2	8:13	9	
	3	8:26	9	
	4	8:36	9	
	5	8:53	9	
Icidua	1	8:00	10	Junho
	2	8:12	10	
	3	8:28	10	
	4	8:42	10	
	5	8:58	10	
Namuinho	1	8:00	11	Junho
	2	8:17	11	
	3	8:29	11	
	4	8:39	11	
	5	8:56	11	
Bazar	1	9:20	11	Junho
	2	9:36	11	
	3	9:42	11	
	4	9:56	11	
	5	10:13	11	

3.4 Determinação dos níveis de salinidade e condutividade eléctrica dos poços

As amostras conservadas nas garrafas plásticas, foram submetidas a medição da salinidade (em ppt), condutividade eléctrica em mS/cm no laboratório de química da (ESCMC) através de um multiparametro YSI Pro30.

Este instrumento, para além da salinidade, condutividade eléctrica também mede a temperatura, na água e totais de sólidos dissolvidos. No entanto para o presente estudo apenas foram usados os

parâmetros de salinidade e condutividade eléctrica durante a medição. Para evitar a influência dos teores de salinidade e condutividade eléctrica das várias amostras, foi usada a água destilada para limpeza do sensor no momento de mudança de uma amostra para outra.

3.5 Procedimentos e analise de dados

Para o mapeamento no ArcGIS, criou-se a camada pontual a partir da planilha Excel contendo as coordenadas geográficas (latitude e longitude) e os valores de salinidade e condutividade de cada poço. Usando as coordenadas geográficas inseriu-se os valores da salinidade e condutividade em uma tabela de atributos no *shapefile* de pontos georreferenciados no sistema de coordenadas WGS 1984.

Para a construção dos mapas temáticos, utilizou-se símbolos graduados por cor e tamanho no ArcMap, atribuindo diferentes cores à variação de salinidade (escala de azul para valores baixos a vermelho para valores altos) e tamanhos de pontos proporcionais aos níveis de condutividade. Adicionou-se elementos cartográficos essenciais, como legenda detalhada (indicando os intervalos de valores), escala gráfica, norte magnético e título descritivo. Para melhorar a visualização espacial, inseriu-se uma camada de base (*basemap*) com a malha urbana de Quelimane, permitindo a contextualização geográfica dos poços amostrados.

Os valores de salinidade e condutividade eléctrica da água foram padronizados de acordo com os níveis de potabilidade de água definidos na legislação Moçambicana Baastel (2020) na qual considera a salinidade ideal da água igual ou inferior a 0.2PPT, e Diploma ministerial nº 180/2004 de 15 de setembro de 2004 do ministério da saúde na qual considera a condutividade eléctrica ideal da água de 0.05 mS/cm – 2 mS/cm.

CAPÍTULO IV: Resultados

4.1 Níveis de salinidade e bairros com maior teor de salinidade da água nos poços

Figura 3 ilustra os níveis de salinidade dos poços de água nos 7 bairros do município de Quelimane. Na figura, nota-se cerca de 35 poços, onde todos poços de água apresentam teor de salinidade acima da 0.2 ppt, porém 25 poços de água nos bairros como Inhangome, Manhaua A e B, Icidua Namuinho e Bazar apresentam teores de salinidade que variam entre 1.36 PPT – 12.99 PPT com esses valores pode se considerar níveis extremos de salinidade, no entanto num total de 5 poços onde 2 poços foram registados em Inhangome, 2 em Namuinho e 1 em Bazar apresentam teores de salinidade que variam entre 0.21 ppt – 0.77 ppt com isso Chuabo Dembe é o único bairro que todos os poços de água apresentam níveis de salinidade que variam entre 0.21 ppt – 0.77 ppt. Com base na figura bairros com maior teor de salinidade são Icidua, Manhaua A e B, Inhangome, Namuinho e Bazar. É notório que os poços com salinidade e condutividade eléctrica elevados são os mais profundos.

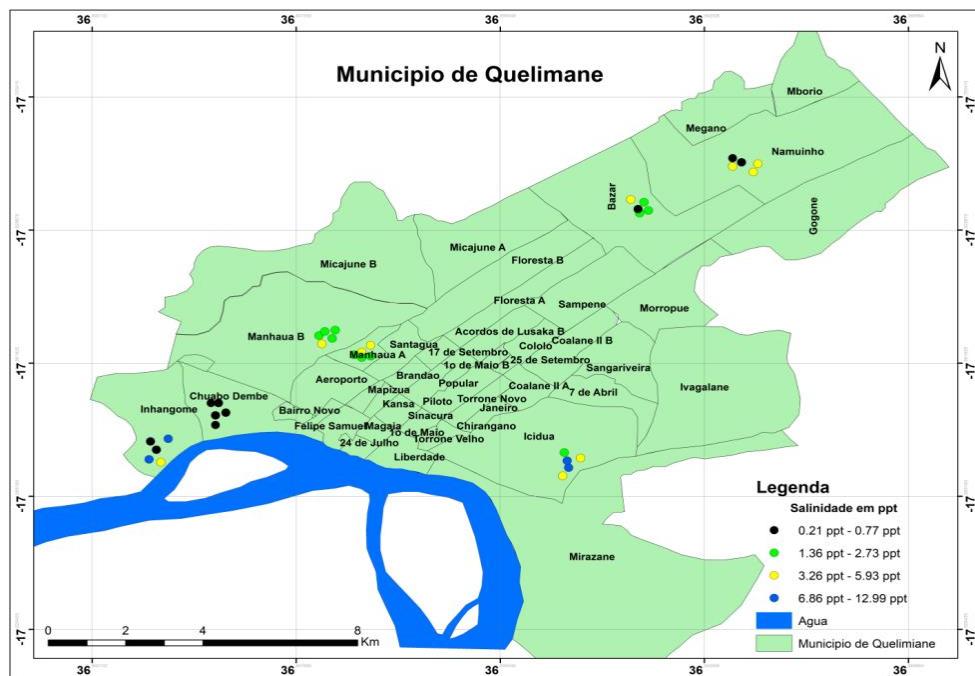


Figura 3- teor de salinidade geral nos 7 bairros do Município de Quelimane

4.2 Níveis de condutividade eléctrica e bairros com maior teor de condutividade eléctrica de água nos poços

De acordo com os resultados obtidos na figura 4 ilustra os níveis de condutividade eléctrica dos poços de água nos 7 bairros do município de Quelimane. Na figura, nota-se cerca de 35 poços, dos quais 27 poços de água apresentam teor de condutividade acima da 2 mS/cm. Nesse figura todos os bairros contêm poços de água com teores de condutividade que variam entre 2.56mS/cm – 19.99 mS/cm. A água nesses poços é considerada imprópria para o consumo, cujos mesmos valores estão

extremamente longe do recomendável. Mas em bairros como Inhangome, Chuabo Dembe, Namuinho e Bazar foram registados 8 poços com valores inferior de 2 mS/cm e superiores de 0.05 mS/cm esses valores estão dentro do recomendável. Onde 2 poços são de Inhangome, 3 poços de Chuabo Dembe, 1 poço registado em bazar e 2 poços de água registrados em Namuinho. Nessa perspectiva em bairros como Icidua, Manhaua A e B não foram registrados poços com teores de condutividade recomendável, mas também foram registrados 2 poços em Inhangome, 3 no bairro Chuabo Dembe, 1 poço em Manhaua A, 2 em Namuinho e 4 no bairro de Icidua com teores muito elevados de condutividade esses que variam de 6.81 mS/cm – 19.99 mS/cm de seguida Manhaua B e Bazar com teores de 2.56 mS/cm – 5.97 mS/cm. Com isso pode ser concluído que todos os bairros em especial Icidua e Manhaua B contêm teores elevados de condutividade eléctrica. É considerável que os poços com níveis elevados de condutividade eléctrica são os mais profundos.

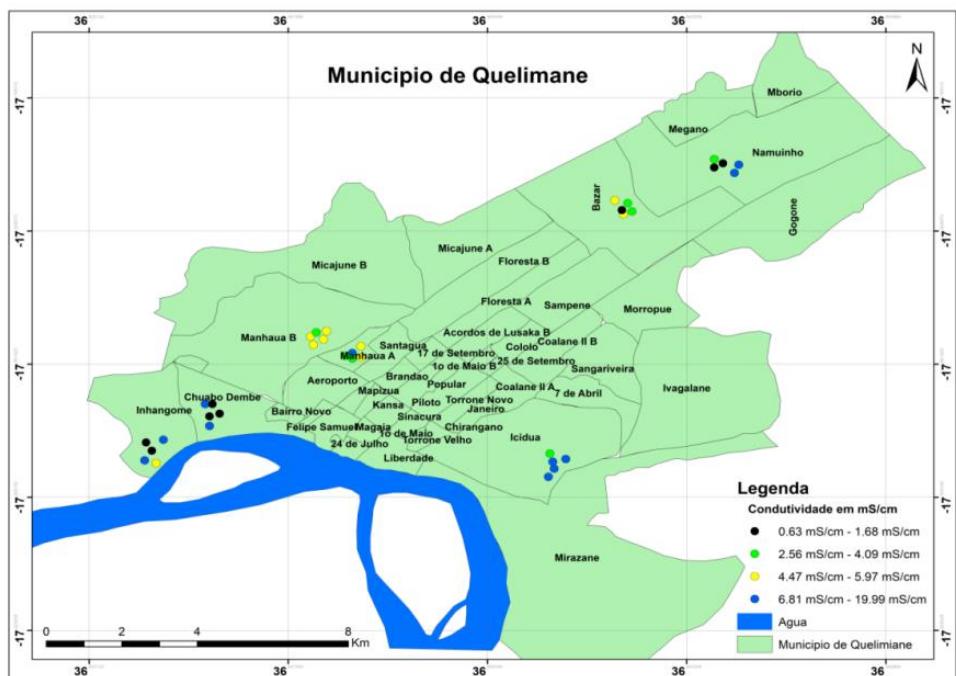


Figura 4- teor de condutividade eléctrica geral nos 7 bairros do Município de Quelimane

4.3 Salinidade a norte do município de Quelimane

A figura 5 ilustra a distribuição de salinidade em 2 bairros da região norte do município de Quelimane. De acordo com os resultados que constam no figura, dos 10 poços de água analisados nesta região olhando pela legislação Moçambicana nenhum poço apresenta nível de salinidade recomendável. Entretanto os 2 bairros designados Namuinho e Bazar apresentam 7 poços de água com teor de salinidade que varia entre 1.36 ppt – 5.93 ppt onde esses teores podem ser considerados extremos. Porém nos mesmos bairros tem 3 poços com teores de salinidade que varia de 0.21 ppt – 0.77 ppt.

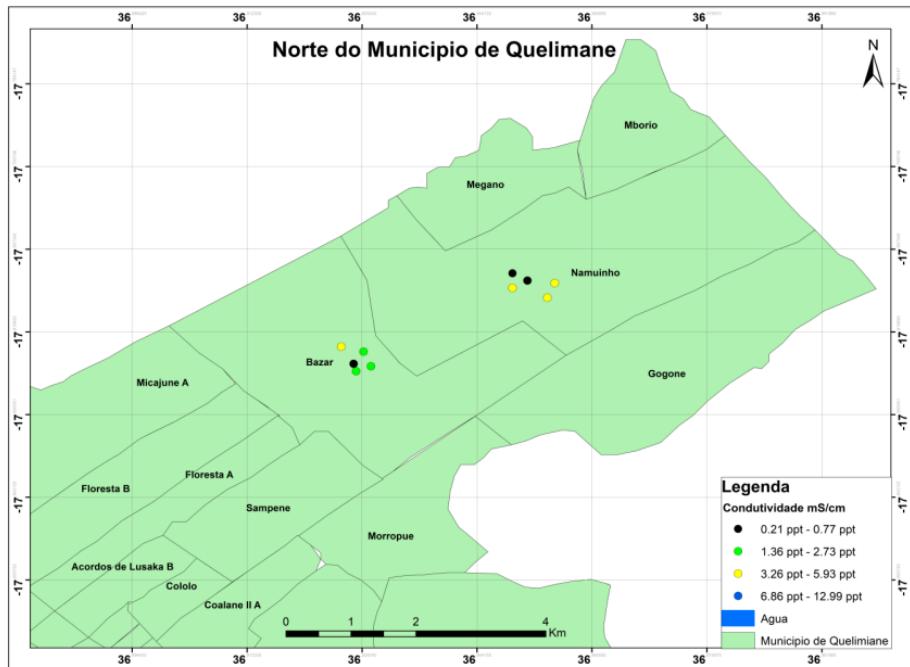


Figura 5-Salinidade em 2 bairros a Norte do município de Quelimane

4.4 Condutividade eléctrica a norte do município de Quelimane

A figura 6 ilustra a distribuição de condutividade eléctrica em 2 bairros da região norte do município de Quelimane. De acordo com a figura, dos 10 poços de água analisados nos 2 bairros 7 apresentam nível de condutividade acima da recomendação da legislação Moçambicana. Tendo teor de condutividade igual ou superior de 2.56 mS/cm e inferior ou igual a 19.99 mS/cm. O bairro Namuinho apresenta 2 poços de água com níveis de condutividade recomendável assim como Bazar que apresenta 1 poço com níveis de condutividade recomendável pela legislação moçambicana nesse caso os 3 poços de água nos 2 bairros contêm teores que variam de 0.63 mS/cm – 1.68 mS/cm.

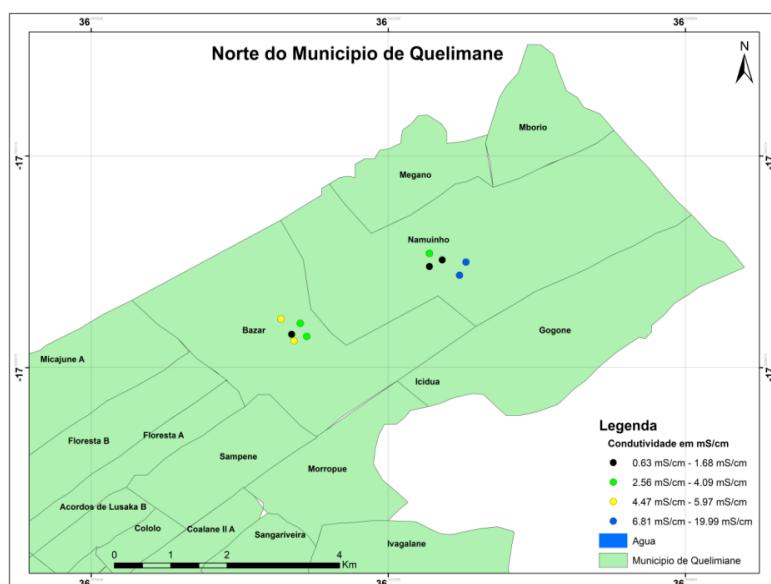


Figura 6-Condutividade eléctrica em 2 bairros a Norte do município de Quelimane

4.5 Salinidade na região Este do município de Quelimane

A figura 7 ilustra a distribuição de salinidade em 1 bairro da região Este do Município de Quelimane. De acordo com os resultados que constam na figura num somatório de 5 poços de água analisados nesta região sem a excepção de nenhum poço de água, todos apresentam níveis de salinidade acima da recomendação da legislação Moçambicana. Entretanto são 2 poços de água com teores de salinidade que variam entre 6.86 ppt – 12.99 ppt, 2 poços de água com teores de salinidade que variam entre 3.26 ppt – 5.98 ppt e 1 poço de água com uma variação de 1.36 ppt – 2.73 ppt. Contudo Icidua é o primeiro bairro com mais poços que contêm um elevado teor de salinidade sendo que um dos poços de água nessa região atingiu um máximo de 12.99 ppt.

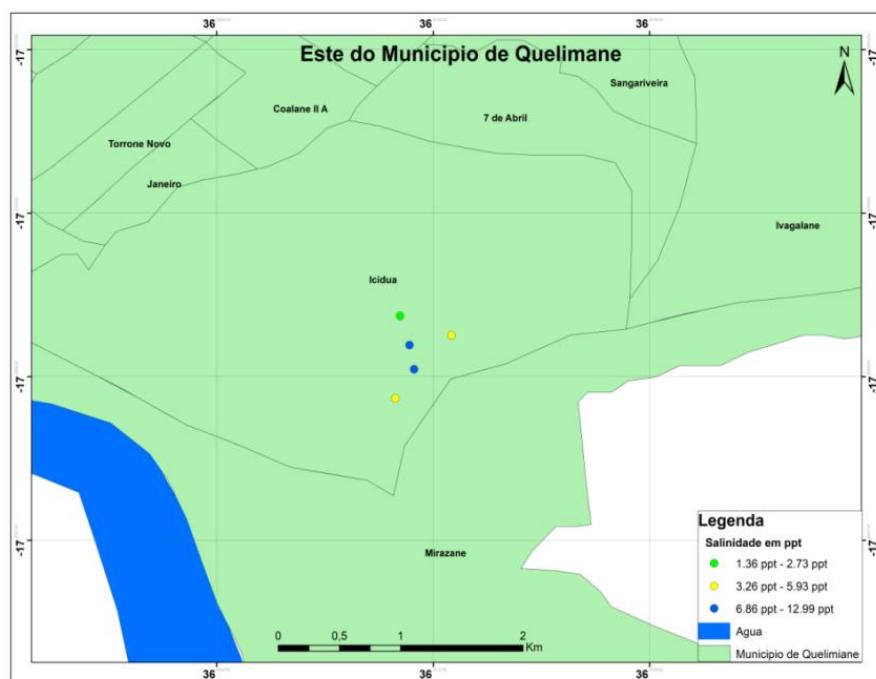


Figura 7-Salinidade em 1 bairro da região Este do município de Quelimane

4.6 Condutividade eléctrica a região este do município de Quelimane

A figura 8 ilustra a distribuição de condutividade eléctrica em 1 bairro da região Este do Município de Quelimane. De acordo com a figura todos os 5 poços de água analisados nesta região apresentam níveis de condutividade acima da recomendação da legislação Moçambicana, 4 poços de água contêm uma variação de 6.81 mS/cm – 19.99 mS/cm e 1 poço com uma variação de 2.56 mS/cm – 4.09 mS/cm nesta perspectiva é nesse bairro que todos poços de água apresentam um elevado teor de condutividade eléctrica um poço de água desse bairro atingiu um máximo de 19.99 mS/cm.

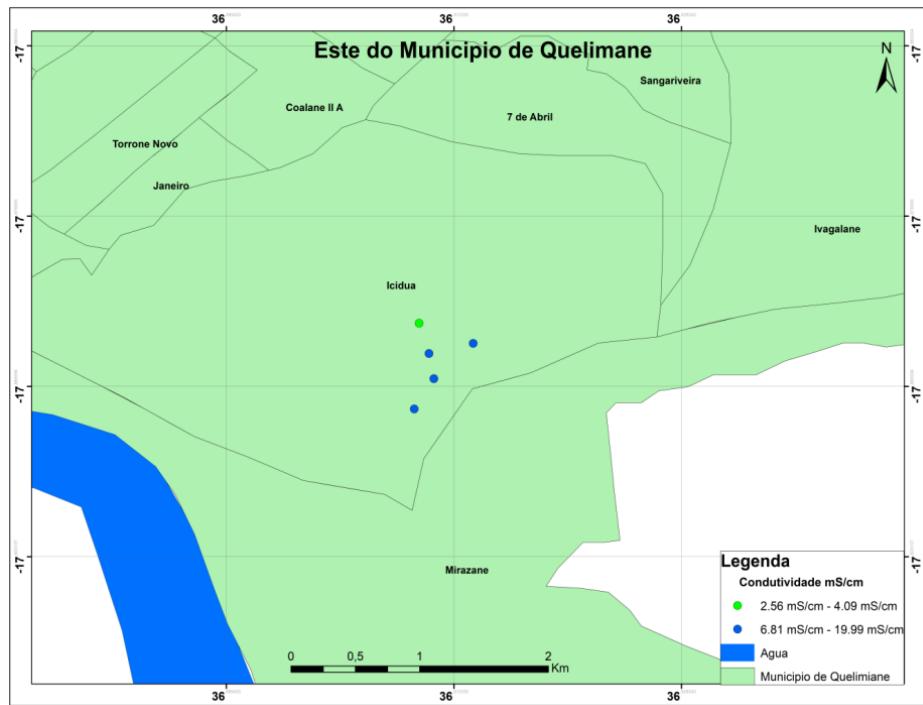


Figura 8-Condutividade eléctrica em 1 bairro da região Este do município de Quelimane

4.7 Salinidade na região oeste do município de Quelimane

A figura 9 ilustra a distribuição de salinidade em 4 bairros no oeste do Município de Quelimane. De acordo com a figura, são 20 poços de água analisados nesta região e todos poços de água apresentam nível de salinidade acima da recomendação da legislação Moçambicana. Bairros como Manhaua A e B apresentam um nível de salinidade que varia de 1.36 ppt – 5.93 ppt esses valores indicam que os teores de salinidade são extremos em poços de água, enquanto que bairro de Inhangome apresenta 3 poços de água com um teor mais elevado comparativamente com Manhaua A e B, nesses 3 poços os teores variam de 3.26 ppt – 12.99 ppt. Portanto na classificação dos bairros com poços de água que contêm níveis mais elevados de salinidade o bairro de Inhangome é o segundo bairro seguindo o bairro de Icidua. Mas nesse mesmo bairro registou-se 2 poços de água que os seus teores de salinidade variam de 0.21 ppt – 0.77 ppt. Nessa mesma região do oeste foram registrados 5 poços de água no bairro de Chuabo Dembe em que todos os poços de água têm um teor de salinidade que variam de 0.21 ppt – 0.77 ppt.

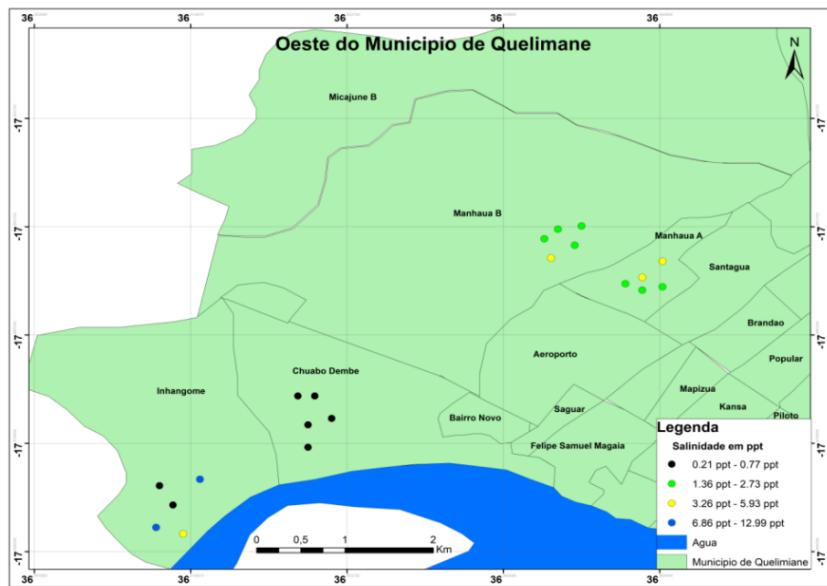


Figura 9-Salinidade em 4 bairro no Oeste do município de Quelimane

4.8 Condutividade eléctrica na região oeste do município de Quelimane

A figura 10 ilustra a distribuição de condutividade em 4 bairros no oeste do município de Quelimane. De acordo com a figura, são 20 poços de água analisados nesta região em que 15 poços de água registados em Inhangome, Chuabo Dembe, Manhaua A e Manhaua B, apresentam nível de condutividade que variam de 2.56 mS/cm – 19.99 mS/cm acima da recomendação da legislação Moçambicana. Porém são 5 poços de água com uma variação de 0.63 mS/cm – 1.68 mS/cm esses poços de água apresentam níveis de condutividades recomendável pela legislação Moçambicana, são 2 poços de água registados em Inhangome e 3 poços de água registados no bairro de Chuabo Dembe, nos bairros como Manhaua A e Manhaua não foi registrado nenhum poço de água que apresenta teor de condutividade eléctrica recomendável.

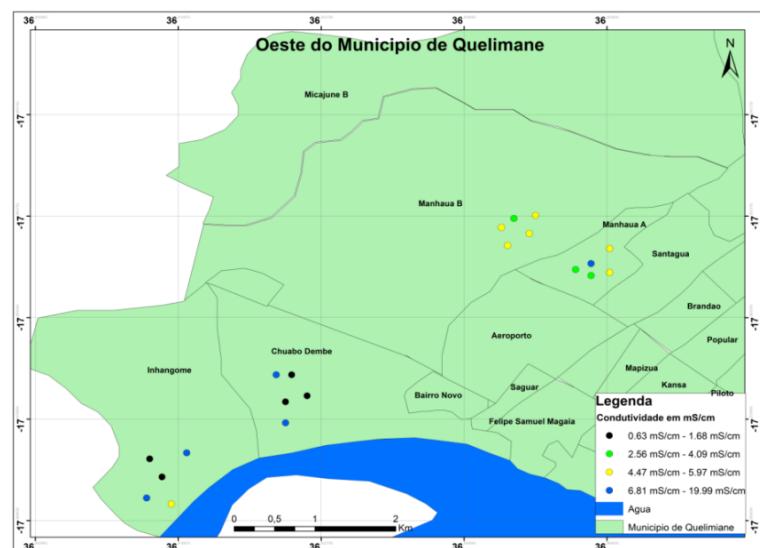


Figura 10-Condutividade eléctrica em 4 bairro no Oeste do município de Quelimane

4.9 Identificação dos bairros com maior influência da intrusão salina nos poços com base no mapa de uso e cobertura do solo

O mapa da figura 11 ilustra o uso e cobertura do solo na área do Município de Quelimane. No mapa é possível observar o curso do estuário Bons Sinais, áreas húmidas ou pântanos, mangais, áreas urbanas onde o solo foi exposto e vegetação densa.

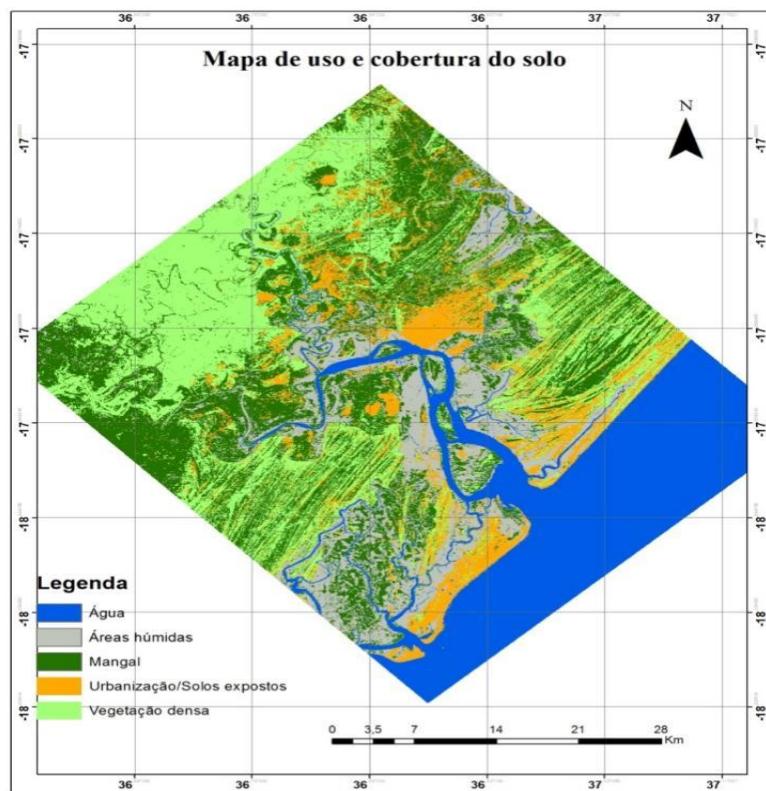


Figura 11 – Mapa do uso e cobertura do solo em torno do Município de Quelimane

Ecossistemas de estuários e mangais são propícios no aumento da intrusão salina nos poços de água doce nessa perspectiva de acordo com o mapa, os bairros com maior influência da intrusão salina são Inhangome, Chuabo Dembe, Icidua, e Namuinho isso é pelo facto da proximidade do canal do estuário e forte presença dos ecossistemas de mangais, e pântanos. Mas dentre os 4 bairros citados Chuabo Dembe é o único bairro em que todos os poços de água apresentam teores de salinidade que variam de entre 0.21 ppt – 0.77 ppt.

4.10 Relação da salinidade e condutividade

A figura 12 ilustra gráfico da relação entre salinidade e condutividade eléctrica nos poços de água em 7 bairros do município de Quelimane. O gráfico é composto por eixo das ordenadas contido por teores de salinidade e condutividade eléctrica e eixo das abscissas contido por número de poços e os bairros, e composto também por duas linhas a cor azul que representa salinidade e vermelha que representa condutividade eléctrica. De acordo com o gráfico a relação de salinidade e condutividade é diretamente proporcional, a água nos poços mostraram que a salinidade aumenta com a condutividade

eléctrica. Excepto p1 e p5 do Chuabo Dembe e p1 do Namuinho esses poços mostraram um cenário diferente no aumento significativo da condutividade eléctrica, os teores de condutividade no eixo das ordenadas aproximam a 10 mS/cm enquanto que a salinidade a proximam a 1 ppt, esse caso pode ser por causa da influência da maré que pode aumentar ou diminuir os teores de sais.

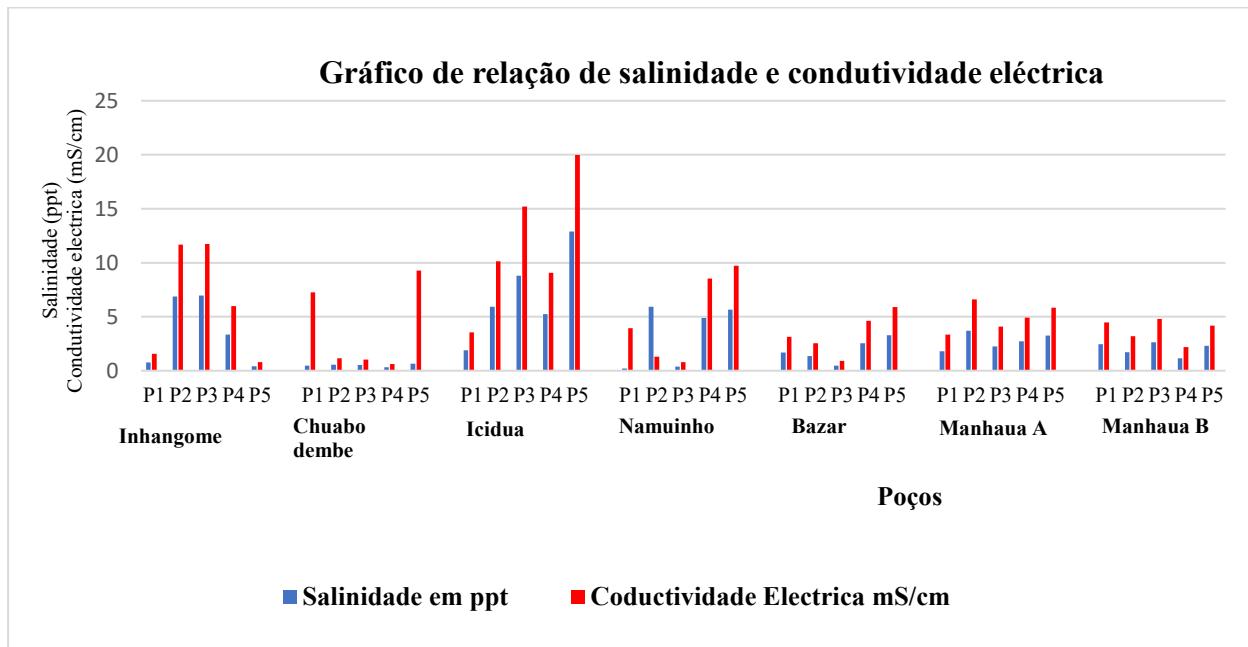


Figura 12. Gráfico da relação entre a salinidade e a condutividade eléctrica.

CAPÍTULO V: Discussão dos Resultados

5.1 Discussão

A análise feita neste trabalho está relacionada com os níveis de salinidade e condutividade em relação a potabilidade da água, para tal foi usada a salinidade de 0.2 ppt como limite máximo para a água com salinidade recomendável e 0.05 mS/cm – 2mS/cm de condutividade eléctrica como intervalo recomendável. Este padrão foi baseado no Diploma Ministerial nº 180/2004 de 15 de Setembro que conjuga com os padrões da Organização Mundial da Saúde.

No bairro Inhangome, Chuabo Dembe, Icidua, Manhaua A e B, Namuinho e Bazar os níveis de salinidades estão fora do padrão recomendável em todos os poços de água de acordo com a Legislação Moçambicana, esses bairros não apresentam um poço onde é possível extrair água potável. Ao passo que para a condutividade 8 poços de água apresentam valores recomendável e 27 poços de água apresentam valores fora do padrão recomendável o que faz com que a água desses poços seja imprópria para o consumo humano.

De acordo com Inácio, (2022) que analisou cerca de 255 poços dos quais 243 poços apresentam níveis de salinidade acima da 0.2 ppt. O mesmo autor ressaltou que os bairros com níveis de salinidade extrema são: Inhamgome, Manhaua A e B, Chuabo Dembe e Bazar.

Segundo Baastel, (2020) nos poços é notória a presença de água com elevados índices de salinidade, (acima do recomendado pela OMS sobre a portabilidade da água). Dos 30 poços monitorizados em Quelimane especialmente nos bairros próximas ao estuário bons sinais 12 apresentaram valores de salinidade recomendados pela OMS e 18 acima da recomendação.

Segundo Canivete, (2019) a cidade de Quelimane encontra-se na margem norte do estuário Bons Sinais, a cerca de 20 km da costa do Oceano Índico, numa altitude que não ultrapassa os 10 metros acima do nível do mar. Este facto leva a crer que a proximidade de Quelimane com o mar e a presença de rios estuarinos pode tornar a região susceptível à intrusão salina, elevando a concentração de íons como sódio, cloretos e sulfatos em corpos de água doces, o que aumenta a salinidade e a condutividade eléctrica da água.

Segundo Sibie, (2017) A transmissão da água salgada proveniente do estuário para aquífero é controlada pela permeabilidade do aquífero, que por sua vez depende da granulometria dos sedimentos que compõe o aquífero.

Segundo Martins, (2017) extração excessiva de água subterrânea diminui o nível do aquífero, criando um gradiente que favorece a entrada de água salgada. Isso é particularmente evidente em regiões onde a exploração de poços é descontrolada ou insuficientemente regulada. Além disso, a

construção de obras costeiras, como diques e canais, pode alterar o fluxo natural das águas e promover a intrusão. Este facto leva a entender que nos bairros como Inhangome, Chuabo Dembe, Icidua, Manhaua A e B, Namuinho e Bazar pode haver uma captação excessiva de água subterrânea o que de algum modo pode levar ao rebaixamento do nível de água doce permitindo a infiltração de água salgada garantindo a presença da condutividade e a salinidade em aquíferos de água doce.

O consumo de água com altas concentrações de sais pode causar problemas cardiovasculares de acordo com a legislação moçambicana esta água não é propicia para o consumo.

CAPÍTULO VI: Conclusão e Recomendações

6.1 Conclusão

- Após a verificação dos poços de água contidos nos 7 bairros do município de Quelimane verificou-se que os níveis de salinidade variam de 0.21ppt -12.99ppt ao passo que os níveis de condutividade variam de 0.63 mS/cm – 19.99 mS/cm. Dos 7 bairros monitorados num total de 35 poços de água nenhum poço apresenta teores de salinidade dentro do padrão recomendável e para condutividade eléctrica apenas 8 poços apresentam teores dentro do padrão recomendável.
- Os bairros com maior influência da intrusão salina são Inhangome, Chuabo Dembe, Icidua e Namuinho, devido a proximidade do canal do estuário Bons Sinais e a presença de ecossistemas de mangais, terras húmidas influenciadas pela maré nesses bairros.
- Do modo geral a salinidade é diretamente proporcional a condutividade eléctrica, isto é quanto maior for a salinidade maior é a condutividade eléctrica excepto p1 e p5 do Chuabo Dembe e p1 do Namuinho esses poços mostraram um cenário diferente onde os teores de condutividade eléctrica nesses poços são muito maiores comparativamente com os valores da salinidade.

6.2 Recomendações

- Para os próximos estudos do género recomenda-se que se faça uma avaliação da intrusão salina nos poços de água em município de Quelimane olhando pela causa, impactos e propor medidas de mitigação.
- Recomenda-se que se faça uma avaliação da extensão e grau de salinização nos poços de água do município de Quelimane.
- Recomenda-se que se faça uma avaliação sobre a vulnerabilidade hidrogeológica à intrusão salina no município de Quelimane olhando para o tipo do solo a granulometria e a profundidade dos poços.

8.1 Referências bibliográficas

- Baastel, G. C. (2020). *Projecto de construção de resiliência de comunidades costeiras em Moçambique por meio de abordagens de adaptação baseadas em ecossistemas*. Quelimane e Inhassunge.
- Boletim da república, *Diploma ministerial nº 180/2004 de 15 de Setembro de 2004 do ministério da saúde*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/moz65565.pdf>
- Cabral, J. J. (1985). *Intrusão Salina Em Aquíferos Costeiros: Uma Analise Pelo Método De Elementos De Contorno*. Rio De Janeiro.
- Castro, K.Q. (2020). *Análise Química De Água Subterrânea Para Consumo Humano: Revista Caribena De Ciências Sociais*.
- Canivete, G. D. (2019). *Avaliação da Influência das Descargas Fluviais na Distribuição da Salinidade no Estuário Bons Sinais Zambézia*. Quelimane: Universidade Eduardo Mondlane.
- Censo (2017). *IV Recenseamento Geral da População e Habitação*. Instituto Nacional de Estatística
- Custodio, E., & Trindade, R. (2014). *Hydrogeology of Coastal Aquifers**. Springer.
- Furaca, N. B., Hoguane, A. M., Mackay, F., Willemse, M., Langa, A. A. (2021). *Socio-Ecological Change In Estuaries Of The Western Indian Ocean. Exploring Urbanization And Critical Habitat Loss Through Land Cover Change Around The Bons Sinais Estuary, Mozambique*.
- Inácio, C. (2022). *Avaliação Da Intrusão Salina Nos Poços Do Município De Quelimane*: Universidade Eduardo Mondlane.
- Martins, A. P. (2017). *Gestão de Recursos Hídricos e Intrusão Salina*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. São Paulo
- Sibie, A. F. (2017). *Avaliação da Interface Água Doce - Salgada e Permeabilidade do Aquífero Próximo ao Estuário dos Bons Sinais Através da Granulometria de Sedimentos*: Universidade Eduardo Mondlane.
- Guevara, A. J. (2019). *água potável e saneamento*. São Paulo: Universidade Católica De São Paulo.
- Silva, L. F., Pereira, R. F., & Lopes, R. (2019). *Modelagem numérica da intrusão salina em aquíferos costeiros. Geofísica Internacional*. São Paulo
- Silva, B. T., & Gomes, C. C. (2015). *Intrusão Marinha Em Poços De Exploração De Água Subterrânea, Na Beira-Mar De Fortaleza – Ceará*. Ceará: Universidade Federal Do Ceará.

Xavier, P. d. (2019). *Estudo da variação da salinidade dos solos na Irrigação de Feijão Manteiga (*Phaseolus vulgaris*) a partir da combinação de águas dessalinizadas e Salobras Captadas nos Poços no Bairro de Mirazane na Cidade de Quelimane.* Quelimane: Universidade Eduardo Mondlane.