



**INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
FACULDADE DE AGRICULTURA
CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA
SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO
ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE**

Autor: Kátia Samora Mazivila

Tutor: Engº Paulo Sérgio Lourenço Saveca, MSc.

Cotutor: Engº Cesário Manuel Cambaza, MSc.

Lionde, Dezembro de 2022



**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA
SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO
ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE**

Autor: Kátia Samora Mazivila

Tutor: Eng^o Paulo Sérgio Lourenço Saveca MSc

Cotutor: Eng^o Cesário Manuel Cambaza MSc



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia científica sobre Avaliação da qualidade de água subterrânea e superficial para sua adequação aos sistemas de irrigação agrícola no posto administrativo de Macarretane apresentado ao curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para o início de atividades de investigação no âmbito do trabalho de Culminação do curso em forma de Monografia em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Lionde, Dezembro de 2022

Tutor: Paulo Sérgio Lourenço Saveca

(Eng^o Paulo Sérgio Lourenço Saveca, MSc.)

Avaliador 1: Philipa Nwagugu Ncube

(Eng^o Philipa Ncube, MSc.)

Avaliador 2: Algárdas Damião Mabunda

(Eng^o Algárdas Damião Mabunda)

ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABELAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Geral:	2
1.1.2. Específicos:	2
1.2. Problema e justificativa	3
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Água na agricultura	4
2.2. Água de irrigação	4
2.3. Fontes de águas utilizadas para irrigação	6
2.3.1. Águas superficiais	6
2.3.2. Águas subterrâneas	7
2.4. Qualidade da água para irrigação	7
2.4.1. Parâmetros de qualidade de água para irrigação	9
2.4.1.1. Parâmetros químicos da água	9
2.5. Processos hidroquímicos	12
2.5.1. Faces hidroquímicas	13
2.5.2. Reação de troca iônica	13
2.5.3. Diagrama de Stiff	14
2.6. Classificação da água para irrigação	15
2.7. Atributos químicos do solo	18
2.8. Métodos e sistemas de irrigação	18
2.8.1. Sistemas de irrigação por superfície	19
2.8.2. Sistemas de irrigação localizada	20
2.9. Entupimento dos emissores	21
2.9.1. Causas do entupimento dos emissores	22
III. MATERIAS E MÉTODOS	24
3.1. Descrição da área de estudo	24

3.1.1.	Relevo e solo.....	25
3.1.2.	Clima	25
3.1.3.	Hidrografia	26
3.1.4.	Geologia	26
3.2.	Metodologia e procedimentos do campo.....	27
3.2.1.	Coleta de amostras de água subterrânea e superficial	27
3.2.2.	Coleta de amostras de solo	29
3.3.	Determinação dos parâmetros químicos do solo e da água para irrigação	31
3.4.	Identificação das classes de água para irrigação e o respectivo padrão para os sistemas de rega	31
3.5.	Determinação dos atributos físico-químicos do solo e sua adequação na interação solo-água nos sistemas de irrigação	32
3.6.	Análise e interpretação dos dados	32
IV.	RESULTADOS	33
4.1.	Análise dos parâmetros químicos da água subterrânea e superficial para irrigação	33
4.2.	Classificação geoquímica e fácies hidrogeoquímicas da água subterrânea e superficial.....	38
4.2.1.	Fases hidroquímicas na água	40
4.2.2.	Configuração geométrica da relação iônica na água	41
4.3.	Classificação da qualidade de água usando percentagem de sódio	42
4.3.1.	Parâmetros químicos da água	43
4.4.	Determinação dos atributos físico-químicos do solo	46
V.	DISCUSSÃO.....	47
5.1.	Parâmetros químicos da água subterrânea e superficial para irrigação	47
5.2.	Classes de qualidade de água para irrigação nas fontes de subterrâneas e superficiais	47
5.2.1.	Risco de salinidade	47
5.2.2.	Risco de sódio	48
5.2.3.	Fases hidroquímicas na água	49
5.2.4.	Configuração geométrica da relação iônica na água	50
5.2.5.	Classe de qualidade da água subterrânea para irrigação agrícola.....	50
5.3.	Atributos físico-químicos do solo e sua adequação na interação solo-água nos sistemas de irrigação	51
VI.	CONCLUSÃO.....	53
VII.	RECOMENDAÇÕES	55
VII.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	56

VIII. ANEXOS.....	59
--------------------------	-----------

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Problemas potenciais relacionados com a qualidade da água.....	8
Tabela 2: Métodos de irrigação e os seus respetivos sistemas.....	19
Tabela 3: Influência da qualidade da água em criar problemas de entupimento nos sistemas de irrigação localizada	23
Tabela 4: Elementos físicos, químicos e biológicos que provocam entupimento nos sistemas de irrigação localizados.	23
Tabela 5: Análise estatística da água subterrânea.....	35
Tabela 6: Análise estatística da água superficial	36
Tabela 7: Classe de qualidade de água subterrânea para irrigação usando RAS e CE	39
Tabela 8: Classe de qualidade de água superficial para irrigação usando RAS	39
Tabela 9 : Classes de água usando percentagem de sódio	43
Tabela 10: Classificação usada na determinação dos parâmetros físico-químicos da fonte de água subterrânea	44
Tabela 11: Classificação usada na determinação dos parâmetros físico-químicos da fonte de água superficial.....	44
Tabela 12: Resultados laboratoriais das análises físico-químico do solo	46
Tabela 13: Redução relativa do rendimento de algumas culturas.....	48
Tabela 14: Classificação da água para irrigação.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Diagrama de Stiff-----	14
Figura 2:Diagrama para a interpretação das águas para irrigação-----	16
Figura 3:Ilustração dos três métodos de irrigação -----	19
Figura 4:Sistema de irrigação por superfície: sulcos (esquerda) e inundação (direita).-----	20
Figura 5:Sistemas de irrigação localizada: gotejamento (esquerda) e microaspersão (direita).---	21
Figura 6: Posto administrativo de Macarretane -----	25
Figura 7: Geologia do distrito de Chókwè-----	27
Figura 8:Localização dos pontos de amostragem na área de estudo -----	28
Figura 9: Procedimentos de coleta de dados no campo e o respectivo material. 1- bailer usado para coleta de amostra de água subterrânea; 2- furo de água; 3- coleta de amostra de água no rio;4 - coleta de amostra de água na lagoa cocotiva. -----	29
Figura 10: Ilustração do processo de coleta de amostra de solo na área de estudo. 1- Coleta de amostra de solo usando trado manual; 2- amostras de solo organizadas em profundidades.-----	30
Figura 11:Ilustração dos resultados do balanço iônico-----	34
Figura 12:Ordem de abundância percentual dos principais iões na água subterrânea-----	37
Figura 13:Ordem de abundância percentual dos principais iões na água superficial -----	38
Figura 14:Classes de qualidade de água para irrigação usando a combinação RAS e CE-----	40
Figura 15:Faces hidroquímicas da água subterrânea e superficial no diagrama de Piper-----	41
Figura 16:Configuração geométrica dos iões no diagrama de Stiff-----	42
Figura 17: Ilustração do Mapa de solos de Chókwè-----	52

LISTA DE ABREVIATURAS

Ca ²⁺	Ião Cálcio
CE	Condutividade elétrica
Cl ⁻	Ião Cloro
Fe ²⁺	Ião Ferro
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
K ⁺	Ião Potássio
Mg ²⁺	Ião Magnésio
Na ⁺	Ião Sódio
NO ₃ ⁻	Ião Nitrato
SO ₄ ²⁻	Sulfato
meq/l	Meliquivalente por litro
mg/l	Miligramas por litro
pH	Potencial de hidrogénio
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
USSL	United States Salinity Laboratory
WISH	Windows Interpretation System for Hydrogeologists



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Declaração

Declaro por minha honra que esta monografia científica de trabalho de culminação do curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações dos meus tutores, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau acadêmico.

Lionde 09 de 12 de 2022

Kátia Samora Mazivila

(Kátia Samora Mazivila)

DEDICATÓRIA

“o senhor é o meu pastor; nada me faltará.”

“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, porque o senhor está comigo; o teu bordão e o teu cajado me consolam.”

“Bondade e misericórdia certamente me seguirão todos os dias da minha vida; e habitarei na casa do SENHOR para todo o sempre.”

Salmos 23:1,4 e 6.

É com muito orgulho que dedico este trabalho de culminação do curso aos meus pais Samora Mazivila e Elisa Melembe, pelo carinho, afeto, dedicação, cuidado e muito amor que me deram durante toda a minha existência. Também dedico aos meus avós Manuel malembe e Julieta Manhiça pelo apoio que me deram e aos meus irmãos Nella Mazivila, Dárcio Mazivila, Samira Mazivila e July Melembe. Com muita gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer ao meu bom Deus, pelo sustento espiritual, pela proteção e por ter me dado força e coragem para não desistir.

Este trabalho é o resultado do esforço de um conjunto alargado de individualidades que criaram condições materiais e moral para o seu sucesso e partilharam a sua sabedoria através de orientações e opiniões que levaram a tal concretização. A todos quero expressar o meu reconhecimento, em particular:

Aos meus ilustres e admiráveis supervisores Eng^o.Paulo Sérgio Lourenço Saveca MSc e Eng^o.Cesário Manuel Cambaza MSc, por terem aceite o pedido de supervisionar este trabalho que pelo meu conhecimento, eles são especialistas com o grau mais alto nas áreas de qualidade de água e sistemas de irrigação respetivamente, nesta faculdade. Sou grata pela paciência nas correções e pelo vosso amor naquilo que fazem, muito e muito KHANIMAMBO.

A minha mãe, minha rainha, meu primeiro amor pela confiança, pelas orações, pelos puxões de orelha, pela companhia mesmo que pelo telemóvel, que me fez durante todos os dias em que estive distante, palavras me faltam para expressar tamanha gratidão.

Ao meu pai por acreditar nas minhas capacidades, por me ajudar na escolha deste curso e por me apoiar sempre. Ao meu avô, pelo apoio que me deu quando meus pais passaram dificuldades devido a pandemia, sou muito grata por isso e muito mais.

Agradecer a minha avó Julieta Maria Manhiça, acho que o certo seria chamar-te de mãe, porque a senhora pra mim faz o papel de mãe, muita coisa que não pude conversar com a minha mãe, a senhora abriu espaço para eu falar consigo avó. Obrigada pelos conselhos por ti dados e isso serve também para minha tia Dionísia Alberto.

Aos meus tios Benedito Melembe e Tânia Mariza por me acolherem em sua casa durante o período de estágio, aos meu tio Bernabel Melembe e Sérgio Melembe pelo apoio moral que tem me dado, sou muito grata.

Aos meus explicadores Eng^o. Abdul Ussemane e Felisberto Mahanuque pelas aulas dadas, graças ao vosso esforço para me ensinarem muita coisa que sei hoje, eu estou me formando, dizer ao explicador Eng. Abdul que valeu a pena ficar das 08h até 21h sem comer e beber somente a

estudar, as secções abertas na rua para esclarecer algumas duvidas horas antes dos testes de física, valeu muito o sacrifício, sou muito grata por tudo isso e muito mais. Aos meus companheiros da oficina da ciência, Fernando, Gorge e Maida, sou grata pelo momento em que passávamos fome e sede todos juntos e mesmos assim estávamos lá rindo e nos divertindo com os exercícios do explicador Abdul. Fernando Massunda, sou grata pelas aulas de análise matemática, álgebra e autocad por ti dadas durante as minhas férias na faculdade, sou muito grata por isso.

A minha melhor amiga Stela Maria Stoe, pelo apoio moral que tem me dado, pela confiança, pelos bons momentos que tem me proporcionado, pelas risadas e pelos conselhos que eu mal escutava, sou muito grata por ter-te como amiga, és como uma irmã pra mim, agradeço muito por isso.

A Ciça, Isabel, Lénia, Telma, Kinha e Marta por terem me acolhido quando cheguei em Chókwè, também agradecer pelos bons momentos vividos no condómino do DG, sou muito grata. Aos meus amigos Melquisio Maló e Daniel Saide, sou grata pelo apoio que me deram, pelos bons momentos por nós vividos, pelas noites perdidas estudando para os testes de RM. Melquisio sou muito grata por confiar nas minhas capacidades e no meu potencial, obrigada pelas aulas de desenho técnico por ti dadas, sou muito grata por te ter como meu bom e melhor amigo.

Aos meus companheiros e melhores amigos de sempre “TEAM ELITE”, Onésia Mavile, Rostina Mabunda, Mirza Dos Santos, Aílton de Mércio, Elton Manhique, Minguês Miguel e Dimilton Notisso, sou grata pelos bons momentos por vós proporcionados, pelos estudos na casa do Elton que terminavam em partidas de UNO e 30 segundos, não trocaria nenhum desses momentos por nada neste mundo, muito obrigada por isso e muito mais. Agradecer a turma de Engenharia Hidráulica 2018, pela longa jornada que juntos percorremos.

As minhas amigas Cláudia Maluana e a Delma Edliria, nos conhecemos em tão pouco tempo, mas foi o suficiente para desenvolvermos uma grande afinidade, obrigada pelos bons momentos de “TINDZAVA” no quarto da Cláudia, pelos passeios nos dias de exposição, muito obrigada por isso e muito mais. Também agradecer a minha querida companheira de quarto Advânia Carolina pela companhia e pelos bons momentos por nós vividos.

Por fim agradecer a todos os docentes da hidráulica que contribuíram para minha formação acadêmica. E ao ISPG por me ensinar a marcar a diferença.

RESUMO

A qualidade de água é um dos principais fatores limitantes na produtividade das culturas e na relação solo-planta-água. O presente estudo visa avaliar a qualidade de água de fontes subterrâneas e superficiais para a sua adequação aos sistemas de irrigação agrícola, através da determinação e análise da interação dos atributos físicos e químicos do solo com a qualidade de água. Para a identificação da qualidade de água num total de 21 amostras de água, sendo 12 de água subterrânea e 9 de água superficial fez-se a análise laboratorial da composição catiónica e aniônica usando os métodos *Inductively Coupled Plasma (ICP)* e *Ion Chromatography (IC)* respectivamente. Para o solo, a condutividade elétrica (CE), pH e Na^+ trocável foram os parâmetros químicos analisados em nove (09) amostras coletadas. O solo apresenta valor de pH < 8.5 e CE < 4 dS/m, sendo classificando como solo normal quanto ao risco de salinidade. A concentração dos principais parâmetros químicos da água está dentro dos limites aceitáveis quanto aos padrões de qualidade de água para a irrigação: pH (6.8 – 8.1); CE (1.09 – 4.3 dS/m); Ca^{2+} (12.3 – 38.6 mg/L); Mg^{2+} (11.5 – 61.3 mg/L), Na^+ (29.0 – 279.9 mg/L), K^+ (1.5 – 7.5 mg/L), HCO_3^- (124.9 – 474 mg/L), NO_3^- (0.0 – 0.4 mg/L), SO_4^{2-} (21.5 – 72.4 mg/L), e Cl^- (39.3 – 87.4). A face hidroquímica dominante nas fontes de água é $\text{Ca}^+ \text{HCO}_3^-$, correspondente a águas recentes resulte da constante interação entre água superficial e subterrânea. Os valores da razão de adsorção de sódio (RAS<10 meq/L), mostram que ambas fontes de água são classificadas como excelentes. A análise combinada do risco de salinização e de sodicidade de solos demonstra que cerca de 90% das fontes de água pertencem a classe de água C2 S1 e pode-se concluir que as fontes de água são adequadas para irrigação com poucas restrições de uso em sistemas de irrigação agrícola dependendo da prática de gestão de água.

Palavras chaves: Qualidade de água, irrigação, água subterrânea, água superficial

ABSTRACT

The quality of water is one of the main limiting factors in the productivity of crops and in the soil-plant-water relationship. This study aims to evaluate the water quality of surface and underground sources for their use in agricultural irrigation systems, through the determination and analysis of the interaction of soil's physical and chemical attributes with water quality. For the identification of water quality were collected 21 water samples in total, 12 of groundwater and 9 of surface water, the laboratory analysis of the cationic and anionic composition was made using the Methods Inductively Coupled Plasma (ICP) and Ion Chromatography (IC). For the soil, the conductivity rich electrode (CE), pH and Na^+ exchangeable were the chemical parameters analyzed of the nine (09) samples collected. The soil presented pH value < 8.5 and EC < 4 dS/m, classifying as normal soil as the risk of salinity. The concentration of the main chemical parameters of the water is within acceptable limits for water quality standards for irrigation: pH (6.8 – 8.1); EC (1.09 - 4.3 dS/m); Ca^{2+} (12.3 - 38.6 mg/L); Mg^{2+} (11.5 – 61.3 mg/L), Na^+ (29.0 – 279.9 mg/L), K^+ (1.5 – 7.5 mg/L), HCO_3^- (124.9 – 474 mg/L), NO_3^- (0.0 – 0.4 mg/L), SO_4^{2-} (21.5 – 72.4 mg/L), and Cl^- (39.3 - 87.4). The hydrochemical face dominant in the water sources is Ca- HCO_3 , corresponding to recent waters result from the constant interaction between surface and groundwater. The values of the sodium adsorption ratio (RAS <10 meq/L), most of which are that both water sources are classified as excellent. The combined analysis of the risk of salinization and soil sodicity shows that about 90% of the water sources belong to the water class C2 S1 and it can be concluded that the water sources are suitable for irrigation with few restrictions in agricultural irrigation systems depending on the water management practice. It is recommended that similar studies be carried out in other fields around the Limpopo River and within the Chókwè irrigation for a better evaluation.

Key words: Water quality, irrigation, groundwater, surface water

I. INTRODUÇÃO

A água é um recurso muito importante para a vida, saúde, os alimentos, desenvolvimento económico assim como para o meio ambiente sustentável. Sendo a água um elemento constitutivo dos seres vivos, é, entretanto, das culturas a sua fonte de existência dos ecossistemas distribuídos em diversas regiões agroecológicas. A produção agrícola nestas regiões semi-áridas é dependente de ocorrência e disponibilidade de água adequada, isto é, água em quantidade suficiente e de qualidade apropriada, que facilmente pode ser usada para irrigação ao longo das épocas de cultivo para suprir as necessidades hídricas das culturas (ALMEIDA, 2010).

Quando se fala de qualidade de água para irrigação, basicamente se observa a salinidade, sodicidade e toxicidade. Na salinidade, o critério é de análise da presença de altas concentrações de sais na água. No caso da sodicidade, o critério avalia o excesso de sódio que pode causar a deterioração da estrutura do solo. Por fim, a toxicidade diz respeito ao estudo fitotóxico de certos íons específicos que podem afetar o crescimento das culturas (PAULO CÉSAR TEIXEIRA, 2017).

Os padrões de qualidade da água para irrigação são também determinados pelo tipo de sistemas de irrigação para os quais a água é aplicada nos campos de produção. No caso de irrigação por gotejamento o critério de qualidade de água é muito importante por considerar o risco de entupimento dos emissores e das tubulações; também é muito importante estudar os desequilíbrios nutricionais que se podem produzir, como por excesso de nitrogénio ou ainda o desbalanço de elementos no solo (TESTEZLAF, 2017).

O conhecimento da combinação das condições físicas e químicas dos solos vs qualidade de água é um importante factor técnico a ter em consideração nos sistemas de cultivo, pois possibilita que um produtor defina melhor o tipo de cultura a produzir assim como o sistema a ser implementado no campo. Assim, para melhor aferir a compatibilidade técnica do solo VS água de rega, foi realizado o presente trabalho de Monografia científica com o objetivo de avaliar a qualidade de

água nas fontes subterrâneas e superficiais no posto administrativo de Macarretane e sua adequação aos sistemas de irrigação (CELSEMY ELEUTÉRIO MAIA, 2017).

1.1.Objetivos

1.1.1. Geral:

- ✓ Avaliar a qualidade de água subterrânea e superficial para sua adequação aos sistemas de irrigação.

1.1.2. Específicos:

- ✓ Determinar os parâmetros químicos de água superficial e subterrânea para irrigação;
- ✓ Identificar as classes de água para irrigação nas fontes de água subterrâneas e superficiais
- ✓ Determinar os atributos químicos do solo e sua adequação na interação solo-água nos sistemas de irrigação;
- ✓ Classificar a interação entre os atributos químicos da água e físico-químicos do solo para os sistemas de irrigação.

1.2.Problema e justificativa

A qualidade de água para irrigação é um dos principais fatores que limitam a produção das culturas e que deve-se ter em consideração na elaboração de um projeto de irrigação. Independentemente da fonte de água que será utilizada, a irrigação cumprirá o importante papel de suprir, no solo, a demanda de água que será apresentada pelas plantas. Essa demanda surgirá em função dos processos fisiológicos das plantas e das condições atmosféricas locais, resultantes da interação solo-planta-água (SPA) (CHAMBAL, 2020).

O uso de qualidade da água de rega não adequada nas explorações agrícolas contribui para o excesso de sais ou desequilíbrio nutricional do solo, além, de causar danos na cultura, bem como acelerar processos de degradação física e química do solo e conseqüentemente, diminuir a sua fertilidade. Em zonas semiáridas como Macarretane, a evapotranspiração reduz a humidade do solo, porém, não elimina sais, de forma que a solução do solo se torna mais salina à medida que o solo seca. Por esta razão, uma água que inicialmente tivera uma salinidade ligeira pode alcançar valores elevados (JUNIOR e SILVA, 2010).

Como foi dito anteriormente, os sais são adicionados na zona radicular do solo com a água de irrigação aumentando a sua concentração à medida em que as culturas consomem por evapotranspiração (ETc) grande parte da água armazenada, ficando quase todos os sais em volumes cada vez mais elevados, da água remanescente no solo. Estes sais podem chegar a reduzir os rendimentos, quando alcançam concentrações prejudiciais para as plantas, acrescentados com uma irrigação não adequada pode levar ao acúmulo de sais na zona radicular (WILSON, 2009).

Existem alguns exemplos, com evidência no regadio de Chókwè que apresentava regiões agrícolas ricas, mas em alguns pontos como consequência de uma irrigação inadequada, manejada incorretamente, foram salinizadas, tornando-se totalmente improdutivas.

O presente estudo visa avaliar a qualidade de água subterrânea e superficial para a sua adequação aos sistemas de irrigação agrícola, bem como determinar a interação dos atributos físicos e químicos do solo com a qualidade de água, para saber se esta adequa-se aos sistemas e caso

contrário propor sistemas de rega viáveis que se adequam as condições presentes no local e dessa forma aumentando a produtividade das culturas.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta é a parte do trabalho correspondente a revisão bibliográfica, que é o suporte básico para realização do trabalho, onde será abordado os conceitos básicos que deverão ter em consideração na realização do trabalho.

2.1. Água na agricultura

A água é um elemento constitutivo dos Homens, assim como para as plantas. Por vezes a água apresenta-se combinada com elementos que a planta encontra no solo e no ar servindo de fonte para sua nutrição. Com o aumento demográfico, superando o aumento da incorporação de zonas húmidas a produção agrícola, a humanidade se vê coligida a utiliza a irrigação para complementar as chuvas nestas zonas como também para fazer produtivas as zonas áridas e semiáridas do globo (BERNARDO, 2018).

O desafio do setor da agricultura irrigada é, entretanto, produzir mais alimentos mediante uma melhor transformação da água utilizada. Uma das maneiras para enfrentar o desafio para melhor aproveitamento das águas aptas para irrigação, está em aplicar a quantidade certa de água em cada irrigação. Outra forma é usar a fração não consumida de água de irrigação já desviada, visto que grande parte da água de irrigação aplicada não é totalmente consumida pelas culturas e acaba como água drenada (ALMEIDA, 2010).

2.2. Água de irrigação

A qualidade de água para irrigação define-se em função de três critérios básicos, dentre eles existem os mais importantes que são os seguintes critério :

- ❖ Salinidade no sentido restrito;
- ❖ Sodicidade
- ❖ Toxicidade

Os aspetos mais importantes a se considerar no uso da água de irrigação são aqueles que afetam diretamente o solo, o rendimento e qualidade das colheitas (ALMEIDA, 2010). Toda água usada na irrigação contém sais dissolvidos. O efeito destes sais sobre as características químicas e físicas de solos irrigados é de grande importância para a manutenção da sua capacidade produtiva (ERIKA DE ALMEIDA SAMPAIO BRAGA, 2020)

a) Critério de salinidade

O critério de salinidade avalia o risco de que o uso da água cause concentrações de sais elevadas, com o correspondente efeito osmótico e redução do rendimento das culturas (CUSTODIO, 2010).

O principal agente causador da salinidade do solo é a qualidade da água utilizada nas explorações agrícolas agravando-se quando a prática da irrigação com essas águas é utilizada inadequadamente. Por sua vez a condutividade elétrica (CE), devido a facilidade de sua determinação, é o parâmetro considerado para determinar a sua potencialidade de salinizar o solo. A condutividade elétrica da água de irrigação (CE_{ai}) basicamente considera a quantidade total de sais presentes na água sem especificá-los. É expressa em decismens por metro (ds/m), ou microsiemens por cm (μ/cm) todas unidades expressas a 25 °C (ABREHA, 2014).

A CE de uma água depende do número e tipo de iões presentes, sendo maior a capacidade condutora dos iões de maior carga iónica, que os de menor carga. Assim duas águas podem apresentar valores iguais de CE e possuir diferentes TSD (ALMEIDA, 2010).

b) Critério de sodicidade

O critério de sodicidade avalia o risco que se induza uma elevada percentagem de sódio trocável (PST), com deterioração da estrutura do solo (ALMEIDA, 2010).

A sodicidade vem dada pelo conteúdo de sódio (Na⁺) na água. Seu uso como parâmetro de qualidade é devido a seu efeito sobre a facilidade de retenção de água no solo, sobre a nutrição e toxicidade das plantas. A Percentagem de Sódio foi o parâmetro utilizado nas primeiras classificações de qualidade de água, que se limitava a estabelecer a relação entre o catião sódio frente ao total de catião, sendo definido pela equação:

$$\%Na = \frac{100 * Na^+}{\sum cations} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: Na^+ =ião sódio (mg/l)

Este parâmetro foi deixado de lado a partir da classificação sugerida pelos pesquisadores do Laboratório de Salinidade dos USA, que emprega pela primeira vez a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) (JUNIOR e SILVA, 2010).

❖ Razão de adsorção de sódio (RAS)

Este índice denota a proporção relativa em que se encontra o Na^+ em relação com o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , catiões de Valência que competem com o sódio pelos lugares de intercâmbio do solo. Esta consideração é de grande importância quando há predominância do ião sódio, que induzirá trocas de iões cálcio e magnésio pelos de sódio nos solos, o que pode conduzir à degradação do mesmo, com a consequente perda de sua estrutura e permeabilidade (JUNIOR e SILVA, 2010).

A RAS definida pela equação:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: Na^+ = ião sódio (mg/l)

Ca^{++} = ião cálcio (mg/l)

Mg^{++} = ião magnésio (mg/l)

2.3. Fontes de águas utilizadas para irrigação

A águas usadas para irrigação normalmente são de origem subterrânea ou superficial.

2.3.1. Águas superficiais

As águas superficiais incluem principalmente as procedentes de rios e lagos, sendo que as águas dos rios as mais utilizadas na agricultura. As características destas águas podem ter uma origem natural ou ser resultado de contaminação (ALMEIDA, 2010).

Os rios percorrem a superfície da terra exercendo uma ação importante de erosão, transporte e sedimentação de materiais, incorporando a seu leito águas procedentes de drenagens naturais, águas de infiltração e drenagem das terras irrigadas e despejos e restos procedentes de atividades humanas, agrícolas e industriais (ALMEIDA, 2010).

2.3.2. Águas subterrâneas

As águas subterrâneas são aquelas que se infiltram através da superfície do terreno e enchem os espaços vazios dos interstícios das rochas. Estas águas podem ser extraídas dos aquíferos para a superfície mediante a construção de poços. O acúmulo de sais nas águas subterrâneas depende principalmente da natureza das rochas que formam o aquífero, da sua posição nele e dos processos de contaminação que tenham ocorrido (ERIKA DE ALMEIDA SAMPAIO BRAGA, 2020).

2.4. Qualidade da água para irrigação

A salinidade em áreas irrigadas ocorre em decorrência do uso de águas de qualidade inadequada, associado ao manejo do sistema solo-água-plantas e, qualquer que seja a sua fonte, a água utilizada na irrigação sempre contém sais, embora a quantidade e qualidade dos sais presentes variem bastante (JUNIOR e SILVA, 2010).

Bernardo et al. (2005) relaciona cinco parâmetros básicos para se analisar a água e determinar a sua qualidade para irrigação, são eles: a) concentração total de sais solúveis ou salinidade; b) proporção relativa de sódio em relação aos outros cátions ou capacidade de infiltração do solo; c) concentração de elementos tóxicos; d) concentração de bicarbonatos; e) aspecto sanitário (JUNIOR e SILVA, 2010).

A qualidade da água para irrigação é avaliada não apenas pelo seu conteúdo de total de sais, mas, também, pela composição individual dos íons presentes. Alguns cátions e aniões, quando em excesso, podem trazer prejuízos ao solo (pelo efeito direto na sodificação) e as plantas cultivadas, dependendo do grau de tolerância destes aos sais (AYERS e WESTCOT citado por MEDEIROS et al., 2003). A qualidade da água para irrigação é dependente da sua composição e concentração dos constituintes dissolvidos. Além disso, a consideração para o aumento da

salinidade e alcalinidade pode ser necessária na área irrigada. A Razão de Adsorção de Sódio (RAS) mede a tendência de os cátions de sódio na água de irrigação serem substituídos pelo Ca^{2+} e Mg^{2+} adsorvido nas argilas do solo e, assim, danifica a estrutura do solo (MEDEIROS et al., 2003).

A qualidade da água de irrigação deve ser avaliada, principalmente com relação aos nutrientes (N, S, Ca, Mg, Cl, Fe e B), ao sódio, carbonatos, bicarbonatos, a salinidade e pH (Tabela 1). Segundo Ayers & Westcot, (1999) não existe um limite fixo da qualidade das águas e seu uso é determinado pelas condições que controlam a acumulação dos sais e seus efeitos nos rendimentos das culturas.

Tabela 1: Problemas potenciais relacionados com a qualidade da água

características	nível de dano		
	nenhum	Médio	Severo
pH	5,5 - 7,0	< 5,5 ou > 7,0	< 4,5 ou > 8,0
C.E. (dS/m)	0,5 - 0,75	0,75 - 3,0	> 3,0
Totais sólidos solúveis (mg/L)	325 - 480	480 - 1920	> 1920
Bicarbonatos (mg/L)	< 40	40 - 180	> 180
Sódio (mg/L)	< 70	70 - 180	> 180
Cálcio (mg/L)	20 - 100	100 - 200	> 200
Magnésio (mg/L)	< 63	> 63	
RAS	< 3,0	3,0 - 6,0	> 6,0
Boro (mg/L)	< 0,5	0,5 - 2,0	> 2,0
Cloro (mg/L)	< 70	70 - 300	> 300
Flúor (mg/L)	< 0,25	0,25 - 1,0	> 1,0
Ferro (mg/L)	< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4
Nitrogênio (mg/L)	< 5,0	5,0 - 30,0	> 30

Fonte: (ALMEIDA, 2010)

2.4.1. Parâmetros de qualidade de água para irrigação

Os parâmetros da qualidade de água são analisados em laboratório. Alguns parâmetros como temperatura, condutividade, alcalinidade, oxigênio dissolvido, pH, são determinados no campo (ABREHA, 2014).

2.4.1.1. Parâmetros químicos da água

a) Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade que a água tem de transportar corrente elétrica. Este parâmetro está diretamente relacionado com a presença de íões dissolvidos na água, ou seja, são partículas eletricamente carregadas. Quanto maior for a quantidade de íões dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Este parâmetro é dependente da temperatura, a variação da mesma em material condutor elétrico pode alterar a sua condutividade e a unidade internacional é Siemens por metro (S/m) que é numericamente equivalente ao Mhos / m. A condutividade é um bom estimador de sólidos totais dissolvidos (SDT) porque os SDT em mg / l são proporcionais à condutividade em micromhos, sendo a demonstração matemática na equação abaixo (ALMEIDA, 2010).

$$\text{SDT (mg / l)} = A * \text{condutividade (\mu\text{Mhos / cm})} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

A = 0,54 -0,96 normalmente (0,55-0,76);

SDT= sólidos totais dissolvidos

b) pH

O termo pH (potencial hidrogeniônico) é definido como um parâmetro usado para identificar a intensidade da condição ácida ou básica de uma solução e é uma maneira de expressar a concentração do íon hidrogênio. As unidades de pH são o logaritmo negativo da concentração do íon hidrogênio (equação 4), expressa em moles por litro (FORMIGA, 2015).

$$\text{pH} = - \log (\text{H}^+) \quad \text{Equação 4}$$

onde:

pH= potencial de hidrogénio

H^+ = ão hidrogénio

c) Cálcio

O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 mg/L a 100 mg/L. O cálcio ocorre principalmente nos minerais calcita, dolomita e aragonita, em rochas calcárias, sendo o plagioclásio e a hepatita as maiores fontes de cálcio nas rochas ígneas para a água subterrânea (FORMIGA, 2015).

d) Magnésio

Os minerais mais abundantes fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são: magnesite, biotita, granada, olivina, anfibólios e piroxénios (FEITOSA citado por FORMIGA, 2015). Estes minerais são mais estáveis diante do intemperismo químico diferente dos minerais fornecedores de cálcio, por isso, seu teor nas águas subterrâneas é significativamente reduzido.

Em zonas de rochas carbonáticas, o mineral dolomita é um importante fornecedor de magnésio. Nas fontes subterrâneas ocorre com teores que variam entre 1 mg/L e 40 mg/L (FORMIGA, 2015).

e) Sódio

O ão sódio (Na^+) é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas fontes de água subterrâneas. Ele possui ampla distribuição nas fontes minerais, baixa estabilidade química dos minerais que o contêm, solubilidade alta de difícil precipitação quando em solução. O acúmulo de sódio nas águas subterrâneas pode variar com a profundidade do poço e alcançar maiores concentrações do que nas águas superficiais (FORMIGA, 2015).

f) Potássio

O íon potássio (K^+) é um elemento abundante na crosta terrestre. Entretanto, é pouco observado nas águas subterrâneas devido a sua intensa actividade em processos de troca iónica, além de ser facilmente adsorvidos pelos minerais de argila, é bastante utilizado pelos vegetais. Esse íon corresponde a sais de solubilidade muito elevadas e difíceis de precipitar. Segundo FORMIGA (2015), os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg/L, sendo mais frequentes entre 1 e 5 mg/L.

g) Amônia

Segundo SILVA (2004) a fonte de amónia pode ser o processo biogeoquímico, tendo início na decomposição das células fito planctónicas que liberam para a coluna de água os micronutrientes que compõem seus protoplasmas (nitrato) e podem ser convertidos em amónia através de reações químicas. O nitrogénio pode ser encontrado nas águas, em forma de nitrogénio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato.

h) Nitrato

Os nitratos (NO_3^-) são solúveis em água. Nos corpos de água está geralmente presente em concentrações moderadas, como agente natural do processo de nitrificação. As principais fontes de poluição por nitratos são os adubos incorporados ao solo com fins agrícolas e efluentes de estação de tratamento de esgoto (FORMIGA, 2015).

i) Nitrito

O nitrito aparece em uma fase intermediária natural na oxidação da amónia. Por via de regras o nitrito formado é imediatamente oxidado para a forma de nitrato. Em casos de aumentos drásticos da amónia ionizada, ou valores elevados de pH e temperatura, a nitrificação pode ocorrer em velocidade muito alta, causando acúmulo de nitrato (FORMIGA, 2015).

j) Sulfato

O Sulfato é o anião dos mais abundantes iões na natureza, surge nas águas subterrâneas através do rompimento de solos e rochas. Os iões sulfato SO_4^{2-} são encontrados na água devido à lixiviação das rochas sedimentares incluindo o xisto. A maior contribuição são os depósitos de

sulfato como gipsite ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4), e, além disso, a oxidação de matéria orgânica e os despejos industriais (FORMIGA, 2015).

k) Alumínio

O alumínio encontra-se em excesso nas rochas e minerais, sendo considerado elemento de constituição. Nas águas naturais doces e marinhas, não se encontram concentrações elevadas de alumínio, sendo esse fato decorrente da sua baixa solubilidade, precipitando-se ou sendo absorvido como hidróxido ou carbonato (FORMIGA, 2015).

l) Sólidos totais dissolvidos

Sólidos totais dissolvidos nas águas é toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação e secagem da amostra a uma temperatura entre 103° e 105°C , durante um tempo fixado (SILVA citado por FORMIGA, 2015). O parâmetro STD é um indicador de determinação da qualidade da água, pois avalia o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. O conteúdo de STD é calculado adicionando a massa de íões mais SiO_2 , como mostra a equação 5 (FORMIGA, 2015).

$$\text{STD} = \text{soma dos íões} + \text{SiO}_2 \text{ (mg/L)} \quad \text{Equação 5}$$

Onde: SiO_2 = Dióxido de Silício

2.5. Processos hidroquímicos

A hidroquímica permite estabelecer a evolução da composição das águas subterrâneas ao longo do seu trajeto de percolação nas rochas. Permite ainda relacionar a esta evolução as direções, sentidos do fluxo e o tempo de permanência das águas nos aquíferos. A ocorrência dos fenômenos modificadores da composição química das águas no interior dos aquíferos, trocas de base, reduções de sulfatos e ferro, oxido-reduções, concentrações, dissoluções e precipitações, limita uma melhor caracterização da história evolutiva do percurso de água (SILVA, 1983).

A qualidade química da água resulta de processos hidrogeoquímicos de solução ou precipitação de minerais sólidos, compostos de redução e oxidação, solução ou evolução de gases, adsorção ou troca iônica, poluição, fertilizantes ou esterco lixiviante, e mistura de diferentes águas. Esses processos dependem da interação da água e das rochas, insumos atmosféricos, insumos químicos por actividades humanas, precipitação, estrutura geológica, mineralogia de aquíferos (ABREHA, 2014).

2.5.1. Faces hidroquímicas

As faces hidroquímicas são o resultado da (inter) relação entre os iões básicos ou principais mais predominantes na água e representados pela parte catiónica e aniónica. As faces hidroquímicas em águas, podem ser determinadas com base em diagramas hidroquímicos para modelos de água. Existem diferentes modelos usados para a determinação de faces hidroquímicas

em águas subterrâneas, sendo que os diagramas de Piper em combinação com o diagrama de Stiff são os mais usados. A representação gráfica de dados hidroquímicos constitui uma ferramenta de trabalho muito eficiente na interpretação das propriedades de água, assim como para fazer comparações e correlações iónicas. Esta representação, também permite ver com facilidade o comportamento e a evolução da qualidade de água em um determinado território depois de um certo período ou tempo (DE FREITA, 2010).

2.5.2. Reação de troca iónica

As reações de troca iónica são importantes na geoquímica, pois, são reações que controlam o equilíbrio, a distribuição e ocorrência de iões nas águas subterrâneas. O processo de troca catiónica pode ser identificado usando correlação iónica entre Na^+ e Cl^- . A troca iónica e a contaminação

industrial e / ou agrícola são provavelmente responsáveis pelo aumento de sódio em um terreno gnáissico (FORMIGA, 2015). Alta concentração de Na^+ em relação ao Cl^- ou depleção de Na^+ com relação a Cl^- é a evidência de reações de troca catiónica. Na reação de troca iónica normal, o Ca^{2+} é retido no material do aquífero e Na^+ é liberado para a água. O excesso de Na gerado por reação de troca iónica não é equilibrada por Cl^- , mas por alcalinidade ou SO_4^{2-} . Da mesma

forma, no ião reverso troca, Na^+ é retido por materiais de aquífero e Ca^{2+} é liberado para a água. Neste caso, o excesso de Cl^- sobre Na^+ é balanceado por Ca^{2+} e Mg^{2+} . Portanto, excesso de Na^+ sobre Cl^- ou excesso Cl^- sobre Na^+ é uma boa indicação para reações de troca iônica (FORMIGA, 2015).

2.5.3. Diagrama de Stiff

O diagrama de Stiff representa a concentração de cátions e aniões, em semi-rectas paralelas unidas em seus extremos para formar um polígono (figura 1). A figura geométrica resultante indica a categoria hidrogeoquímica da água. Este gráfico é composto por três eixos horizontais, cada um deles une um cátion e um anião. Os cátions encontram-se no lado esquerdo e os aniões no lado direito. Sempre o Na^+ se confronta com o Cl^- , o Ca^{2+} com o HCO_3^- e o Mg^{2+} com o SO_4^{2-} (as vezes também podem mostrar-se outros iões, como o Fe^{2+} contra o NO_3^-). Todos os eixos horizontais estão na mesma escala linear (CUSTODIO, 2010).

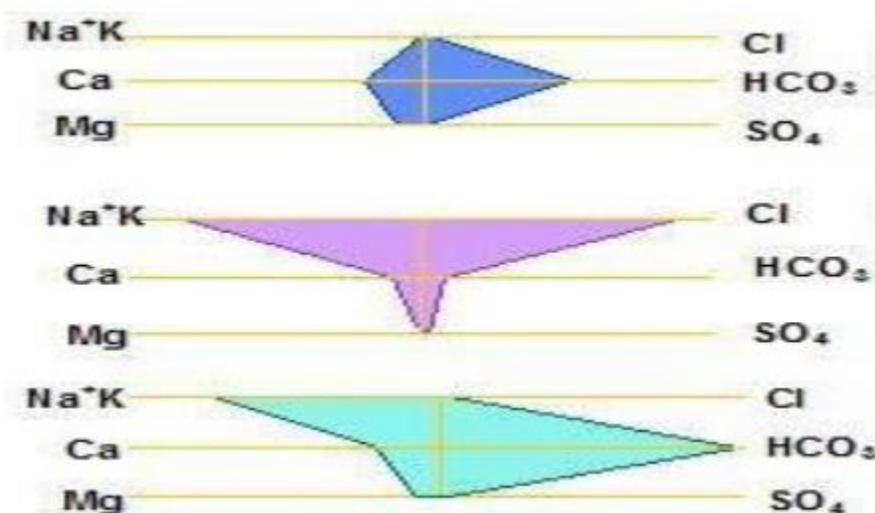


Figura 1:Diagrama de Stiff

Fonte: (CUSTODIO, 2010)

2.6. Classificação da água para irrigação

A classificação da qualidade de água pode obedecer vários critérios, dependendo do autor. Segundo Richard 1954, a classificação da qualidade de água pode ser baseada na proposta dos técnicos do laboratório de salinidade dos Estados Unidos como mostra o diagrama da figura abaixo. No diagrama, as águas dividem-se em quatro classes (C1 a C4), correspondente a sua condutividade elétrica (CE), isto é, em função de sua concentração total de sais solúveis, e outras quatro classes (S1 a S4), segundo sua sodicidade baseada principalmente no efeito que tem o sódio trocável na condição física do solo. As combinações destes dois índices, CE e RAS, permitem estabelecer diferentes tipos de águas, ficando identificada cada uma delas pela inicial de cada um dos índices e subíndices numéricos. Quanto maior for o valor dos subíndices, menor a qualidade da água de irrigação.

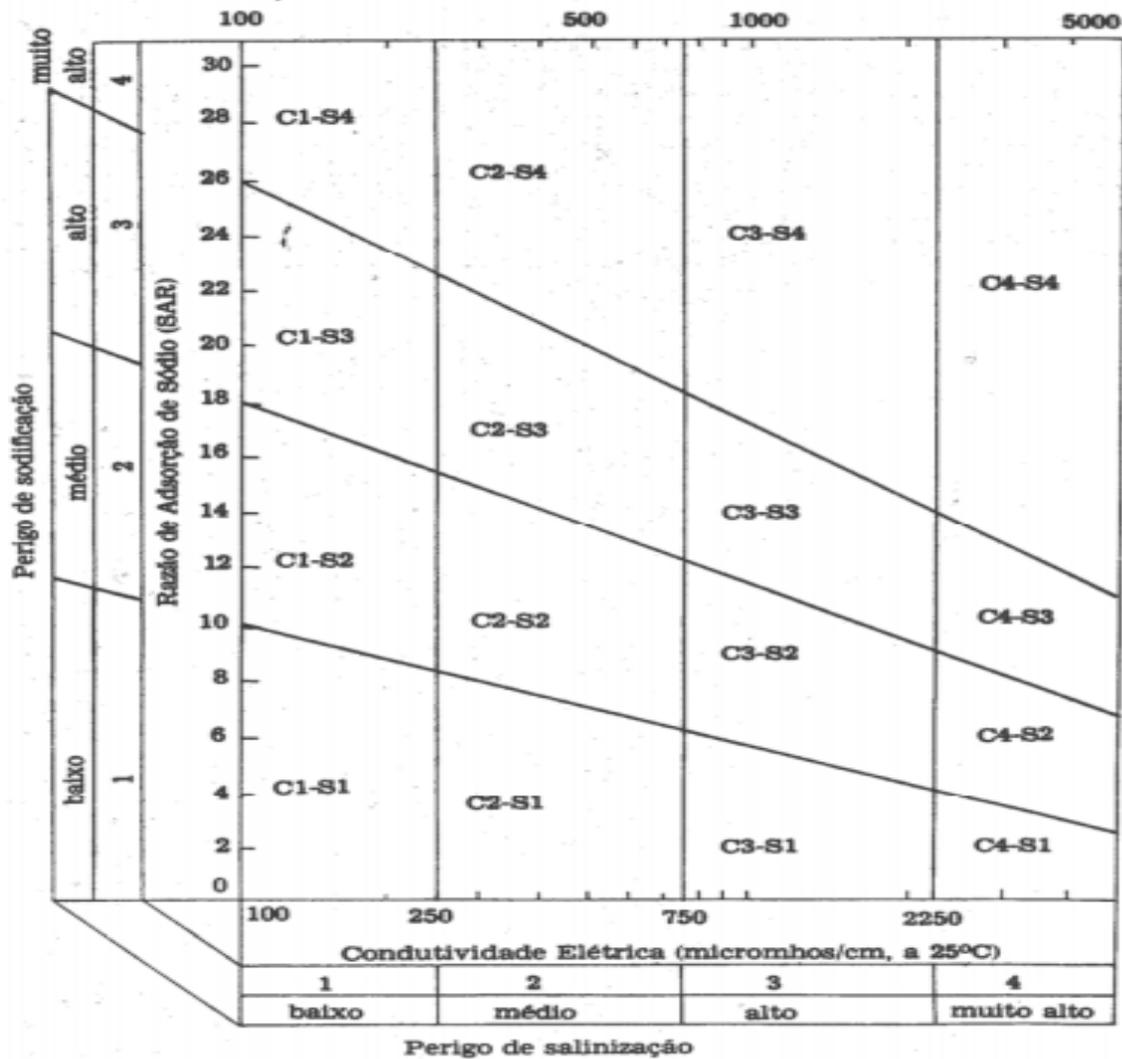


Figura 2: Diagrama para a interpretação das águas para irrigação

Fonte: (ALMEIDA, 2010)

C1. Água de baixa salinidade

Pode ser usada para irrigação da maior parte das culturas, em quase todos tipos de solos com muita pouca probabilidade de que se desenvolva salinidade. Necessita de alguma lixiviação, porém está se consegue em condições normais de irrigação, exceto em solos de muito baixa permeabilidade (ALMEIDA, 2010).

C2. Água de salinidade média

Água de salinidade média, com conteúdo de sais entre 250 a 750 micromhos/cm: pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas em muitos casos, sem necessidade de prática especiais de controle da salinidade (CORDEIRO, 2015).

C3. Água de salinidade alta

Não pode ser usada em solos cuja drenagem seja deficiente. Mesmo com drenagem adequada podem necessitar de práticas especiais de controle da salinidade, devendo selecionar unicamente aquelas espécies vegetais muito tolerantes a sais (ALMEIDA, 2010).

C4. Água de salinidade muito alta

Não é adequada para irrigação sob condições ordinárias, porém pode ser usada em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, podendo aplicar um excesso de água para alcançar uma boa lixiviação, devem ser selecionados cultivos altamente tolerantes a sais (CORDEIRO, 2015).

S1. Água com baixo conteúdo em sódio

Pode ser usada para irrigação na maioria dos solos com pouca probabilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável. Não é obstante, aos cultivos sensíveis, como algumas fruteiras e abacate, podem acumular quantidades prejudiciais de sódio (CORDEIRO, 2015).

S2. água com conteúdo médio em sódio

Em solos de textura fina o sódio representa um perigo considerável, mais ainda se ditos solos possuem uma alta capacidade de intercâmbio de cátions, especialmente em condições de lixiviação deficiente, a menos que o solo contenha gesso. Essas águas só podem ser utilizadas em solos com textura grossa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade (ALMEIDA, 2010).

S3. água com alto conteúdo de sódio

Pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, pelo que estes precisarão de práticas especiais de manejo, boa drenagem, lixiviação fácil e aporte de matéria orgânica. Os solos com elevado conteúdo de gesso podem não desenvolver níveis prejudiciais de sódio trocável quando irrigados com este tipo de águas. Pode ser requerido o uso de melhoradores químicos para substituir o sódio trocável; entretanto, tais melhoradores não serão economicamente viáveis quando são usadas águas de muito baixa salinidade (ALMEIDA, 2010).

S4. Água com conteúdo muito alto de sódio

É inadequada para irrigação, exceto quando sua salinidade é baixa ou média e quando a dissolução de cálcio do solo e a aplicação de gesso ou outros melhoradores não faz antieconômico o emprego desta classe de água (ALMEIDA, 2010).

2.7. Atributos químicos do solo

O conhecimento dos atributos químicos do solo, segundo Santos (2010), permite uma melhor compreensão da dinâmica de liberação dos nutrientes para as plantas e fornece subsídios à adequação das recomendações de adubação, de forma a elevar o rendimento agrícola. O estudo dos atributos químicos é importante também na detecção de elementos em excesso, especialmente aqueles cuja presença pode ter efeito prejudicial tanto à planta como ao solo.

2.8. Métodos e sistemas de irrigação

O método de irrigação é a maneira pela qual a água pode ser aplicada às culturas. Há basicamente três tipos: aspersão, localizada e superfície. Para cada método, podem ser adicionados dois ou mais sistemas de irrigação.

- ❖ **Aspersão:** a água é aplicada sobre a folhagem da cultura e acima do solo (na forma de chuva);
- ❖ **Superfície:** quando se utiliza a superfície do solo de forma parcial ou total para a aplicação da água por ação da gravidade (como a enxurrada);

- ❖ **Localizada:** a aplicação da água é realizada em uma área limitada da superfície do solo, preferencialmente dentro da área sombreada pela copa das plantas.



Figura 3: Ilustração dos três métodos de irrigação

Fonte: (TESTEZLAF, 2017)

Para que a água seja aplicada às culturas pelos quatro diferentes métodos, atendendo a sua demanda, é necessário que se faça o uso de diferentes sistemas de irrigação, que são definidos como o conjunto de equipamentos, acessórios, formas de operação e manejo, que de forma organizada realizará o ato de irrigar as culturas. A tabela 2 relaciona de forma didática os três métodos de irrigação com os seus principais sistemas de operação.

Tabela 2: Métodos de irrigação e os seus respectivos sistemas

Métodos	Sistemas
Superfície	<ul style="list-style-type: none">➤ Sulcos➤ Inundação
Aspersão	<ul style="list-style-type: none">➤ Convencional➤ Mecanizada [pivô]
Localizada	<ul style="list-style-type: none">➤ Gotejamento➤ Microaspersão

Fonte : (TESTEZLAF, 2017)

2.8.1. Sistemas de irrigação por superfície

Os sistemas de irrigação por superfície também, também conhecidos como irrigação por gravidade, uma vez que a água é aplicada diretamente na superfície do solo e pelo efeito da

gravidade se movimenta e infiltra no solo. Os sistemas de irrigação por superfície podem ser classificados como:

Sistemas de irrigação por sulcos: a água é aplicada na área a ser irrigada por inundação parcial, acompanhando as linhas da cultura, escoando e se infiltrando por sulcos construídos na superfície do solo (TESTEZLAF, 2017).

Sistemas de irrigação por inundação: aplica-se a água sobre a área plantada e limitada por diques, acumulando na superfície do solo e se infiltrando, como se verifica na cultura do arroz.



Figura 4: Sistema de irrigação por superfície: sulcos (esquerda) e inundação (direita).

Fonte: (TESTEZLAF, 2017)

2.8.2. Sistemas de irrigação localizada

Segundo (TESTEZLAF, 2017), na irrigação localizada a água é aplicada sobre o solo em uma área restrita, debaixo da área sombreada pela copa da cultura ou perto do caule, com intenção de umedecer somente o volume de solo explorado pelo sistema radicular da planta. Estes sistemas utilizam pequenas vazões, quando comparados a outros sistemas de irrigação, devido o emprego de emissores com diâmetros de saída reduzidos e submetidos a baixas pressões. Em função do tipo de emissor utilizado, os sistemas de irrigação localizada podem ser classificados da seguinte maneira :

Sistema por gotejamento: a água é aplicada no solo na forma de gotas com baixa vazão através de pequenos emissores denominados gotejadores (TESTEZLAF, 2017).

Sistemas de microaspersão: estes sistemas utilizam microaspersores ou sprays, que aplicam a água na forma de jatos ou aerossol, de preferência, na área sombreada pela copa da planta. Esses sistemas de gotejamento possuem vazões e áreas de aplicação maiores (TESTEZLAF, 2017).



Figura 5: Sistemas de irrigação localizada: gotejamento (esquerda) e microaspersão (direita).

Fonte: (TESTEZLAF, 2017).

2.9. Entupimento dos emissores

A água natural pode conter muitas impurezas, características do ciclo hidrológico pelo qual passou. Em ciclo citado, a evaporação da água até as nuvens constitui um processo naturalmente purificador. No entanto, na sua queda em forma de chuva, a água começa um processo de contaminação cujo resultado final irá depender das condições atmosféricas e climáticas da zona em que cairá, das características geológicas do terreno e de sua distribuição como fontes de águas superficiais e subterrâneas. Segundo López Aguado (1992), dentre os problemas que se pode estabelecer, podem ser diferenciados os seguintes grupos de contaminantes da água:

- ❖ Materiais em suspensão: areia, argila e/ou limo;
- ❖ Sais minerais em dissolução: cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, sílica, boro, etc;
- ❖ Matéria orgânica em suspensão;
- ❖ Organismos vivos que constituem a fauna e a flora do meio.

Os sistemas de irrigação localizada de frequência alta , principalmente gotejamento e microaspersão, são os mais afetado pelos problemas de contaminação da água. O caso do gotejamento é mais crítico, haja vista que a água, conduzida pela rede de tubos instalados, passa através de gotejadores cujo orifício é de tamanho pequeno (0,75 – 1,40 mm) e forma (espiral, labirinto, etc.), para produzir a perda de carga suficiente e conseguir baixas vazões de descarga (2,0 – 8,0 L h⁻¹). Essa situação possibilita uma fácil obstrução dos gotejadores, se a água de irrigação conduz ou produz materiais que uma vez depositados neles , reduzem progressivamente a passagem da água até chegar à obstrução total. Assim, sabendo-se que os efeitos prejudiciais que se podem produzir são muito importantes, haja vista que se deve assegurar uma igualdade na distribuição e na emissão de água e de solução nutritiva, na prática, a manutenção das instalações de irrigação localizada é descuidada com demasiada frequência (ALMEIDA, 2010).

Por essa razão que a solução nutritiva não chega às plantas em quantidade suficiente para o seu adequado crescimento e desenvolvimento e, conseqüente, uma boa produção, daí a necessidade de se colocar no cabeçal de controle ou mesmo nas parcelas individuais de irrigação e/ou fertirrigação dos elementos indispensáveis para garantir condições de filtração e limpeza da água (filtros de areia, de tela ou de disco), além de ser necessário ter um bom conhecimento de todo o conjunto desta técnica (ALMEIDA, 2010).

2.9.1. Causas do entupimento dos emissores

E difícil determinar com precisão quando vão ocorrer os problemas de entupimento dos sistemas de irrigação localizada, ainda que é possível estabelecer alguns valores orientadores para avaliar as diferentes situações que se apresentem. Na tabela 4 é mostrada uma classificação das águas em função da sua restrição de uso em irrigação localizada, como uma aproximação que se deve avaliar, em cada caso concreto, especialmente quando a restrição é severa (TESTEZLAF, 2017).

Ainda que se tenha um sistema de filtros em condições às características da água e do emissor, há risco de entupimento de origem física, química e biológica devido à presença de sedimentos sólidos, à formação de precipitados e ao desenvolvimento de colônias bacterianas, estando uma série de elementos suscetíveis de produzir obstruções detalhados na Tabela 4.

Tabela 3: Influência da qualidade da água em criar problemas de entupimento nos sistemas de irrigação localizada

Parâmetros	Restrições de uso			
	Unidades	Nenhuma	Moderada	Severa
Físicos				
Sólidos em Suspensão	mg/l	< 50	50 – 100	>100
Químicos				
Ph	mg/l	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos Solúveis	mg/l	< 500	500 – 2.000	> 2.000
Manganês	mg/l	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ferro	mg/l	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ácido Sulfídrico	mg/l	< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0
Biológicos				
Populações Bacterianas	mg/l	< 10.000	10.000–50.000	> 50.000

Fonte : (CUSTODIO, 2010).

Tabela 4: Elementos físicos, químicos e biológicos que provocam entupimento nos sistemas de irrigação localizados.

Físicos (Sólidos em suspensão)	Químicos (Precipitados)	Biológicos (Bactérias e Algas)
Partículas inorgânicas: Areia Limo Argila Plástico Partículas orgânicas: Plantas aquáticas (fitoplâncton/algas) Animais aquáticos (zooplâncton)	Carbonatos de Ca e Mg Sulfato de Ca Hidróxidos e Sulfetos de metais pesados Óleo e outros lubrificantes Fertilizantes: Fosfatos Amoníaco líquido Fe, Cu, Zn e Mn	Filamentos Mucilagem (Lodo) Depósitos de Ferro Enxofre e Manganês de origem microbiano

Bactérias		
-----------	--	--

III. MATERIAS E MÉTODOS

Neste capítulo do trabalho, descreve-se os materiais e métodos que foram usados para realização das atividades, assim como os procedimentos que foram obtidos para alcançar os resultados esperados do trabalho.

3.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi feito no posto administrativo de Macarretane, especificamente no distrito de Chókwè que por sua vez localiza-se na Província de Gaza. Macarretane está situado a Sul da Província de Gaza, no curso médio do rio Limpopo, tendo como limites a Norte o rio Limpopo que o separa dos distritos de Massingir, Mabalane e Guijá, a Sul da cidade de Chókwè e o Posto Administrativo de Lionde, a este confina com os distritos de Bilene e Chibuto e a Oeste com os distritos de Magude e de Massingir (MAE, 2014).

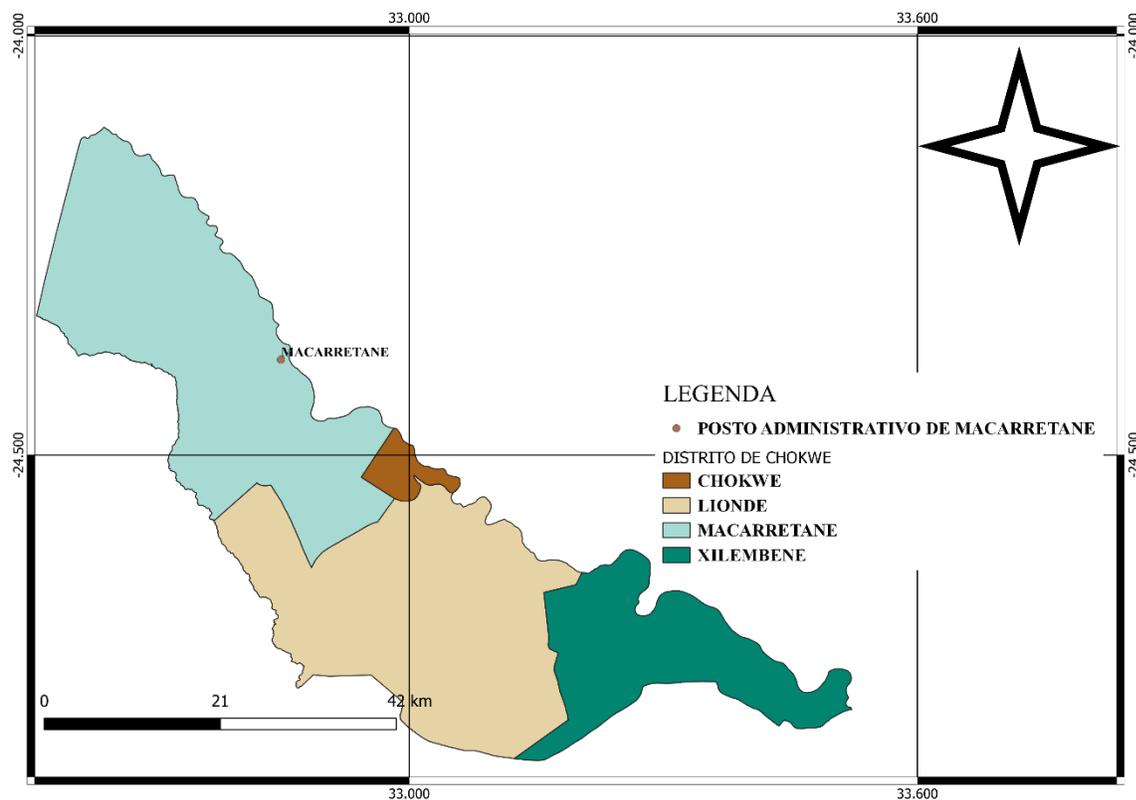


Figura 6: Posto administrativo de Macarretane

3.1.1. Relevo e solo

Segundo (SITHOE, 2003) o posto administrativo de Macarretane, distrito de chókwe é uma planície com 70 metros de altitude e composta por aluviões ao longo do rio Limpopo, que atravessa todo o distrito no sentido NW-SE, e por depósitos indiferenciados no resto do distrito de Macarretane e Lionde (Torres et al., 2013).

3.1.2. Clima

De uma forma geral pode afirmar-se que o clima de Macarretane é do tipo semiárido seco segundo a classificação de Köppen, caracterizado por grandes variações pluviométricas ao longo do ano (FAEFCOMPETIR, 2001). A precipitação média anual é de 620 mm, ocorrendo essencialmente,

de novembro a março e a evapotranspiração de referência média anual situa-se nos 1500 mm. Este regime pluviométrico permite apenas um período de crescimento com uma

duração estimada em cerca de 90 dias, apresentando a região um elevado risco de perda para as culturas de sequeiro (FAEF-COMPETIR, 2001). A temperatura média anual é de 23,6 °C e o risco de ocorrência de geadas é nulo, mesmo durante a época fresca. Existem dois períodos bem marcantes quanto a queda pluviométrica: a estação de chuvas ou húmida, de outubro a abril, coincidindo com a época quente, em que a queda pluviométrica é de 88% da total caída no ano; e a estação seca, de maio a setembro, com 12%. Os meses de outubro a abril também são considerados como meses de transição da época seca para a chuvosa e da chuvosa para a seca, respetivamente (FAEF-COMPETIR, 2001).

3.1.3. Hidrografia

O distrito tem um grande potencial hidrográfico, sendo banhado pela margem direita do Rio Limpopo e pelo Rio Mazimuchope, possuindo ainda os riachos periódicos de Ngonwane, Munhuane, Chuezi, Nhambabwe e as lagoas de Chinangue, Ngondzo, Nha-nhai, Mbalambe e Khokhotiva. O caudal do Limpopo é caracterizado por uma variação de caudal considerável, estando, alguns anos, seco por alguns meses. Estima-se que apenas 10% do caudal medido em Chókwe é gerado na parte moçambicana da área de captação do rio (MAE, 2014).

3.1.4. Geologia

A geologia na maior parte da Bacia do Limpopo em Moçambique é caracterizada por espessos depósitos de sedimentos marinhos do Pleistocénico, denominados “Mananga”, localizados em áreas relativamente elevadas e, por depósitos arenosos do Quaternário (figura 7). Esta região apresenta uma textura franco-arenosa com elevada percentagem de areia grossa. A bacia do Limpopo é partilhada por quatro países nomeadamente a África do Sul, Moçambique, Botswana e o Zimbabwe. Estende-se por uma área de cerca de 412.000 Km² (MAE, 2014).

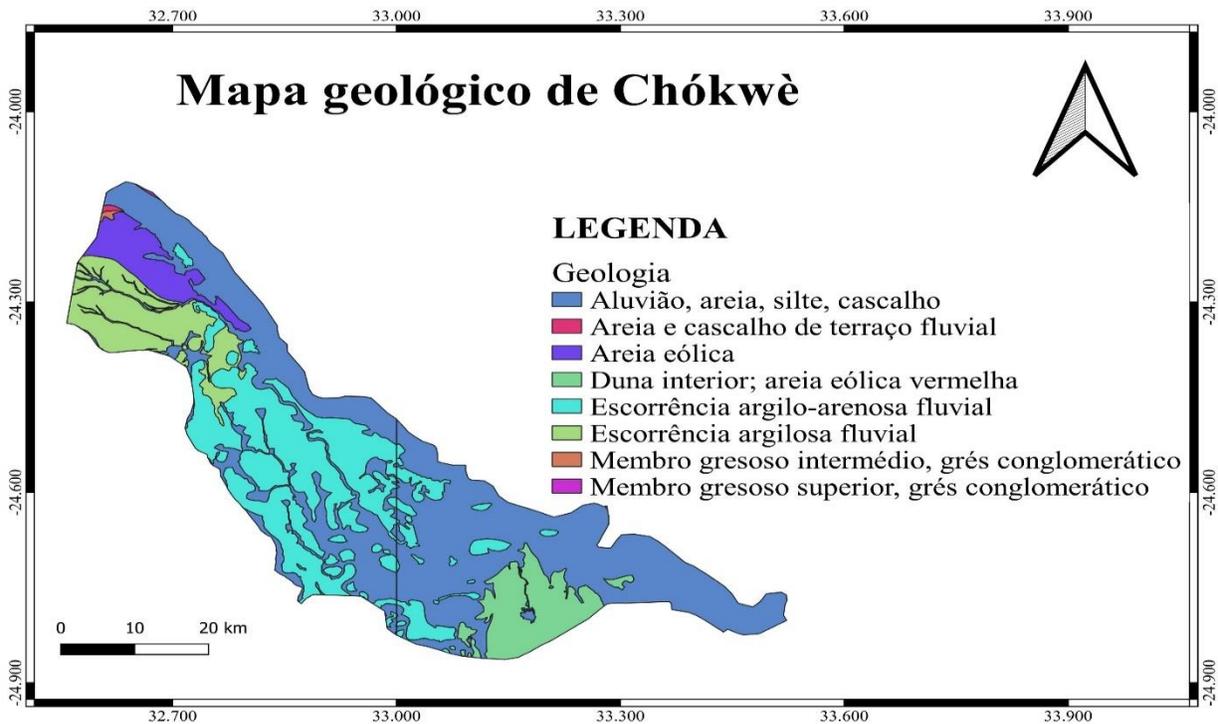


Figura 7: Geologia do distrito de Chókwè

3.2. Metodologia e procedimentos do campo

3.2.1. Coleta de amostras de água subterrânea e superficial

AVALIÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE

A coleta de água foi realizada em novembro de 2021. As amostras foram colhidas em doze (12) fontes subterrâneas (fontenárias e poços) e nove (9) fontes superficiais, o rio e a lagoa cocotiva. O critério de amostragem foi aleatório ou estratificado e foram colhidas o total de vinte e uma (21) amostra devido a disponibilidade das fontes. A coleta de água nos furos foi feita com auxílio de um tubo plástico denominado bailer (Figura 9), acompanhados por movimentos lentos de introdução e retirada dentro do poço de modo que evite a oxigenação e agitação da amostra da água no poço, assim como aumentar a turbidez. A coleta da água superficial foi feita diretamente no rio e lago, por meio de uma garrafa plástica de 500ml removendo a tampa da garrafa e segurando-a pela base mergulhou-se de boca para baixo. A garrafa foi direcionada no sentido contrário da corrente superficial, inclinando-a lentamente para cima permitindo assim a saída do ar e deixando completamente cheia (de modo que não gere agitação da amostra durante o transporte). Após a coleta, retirou-se rapidamente do corpo hídrico, segurada ainda pela base colocou-se cuidadosamente a tampa de volta. As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas de 500ml, recebendo uma identificação para distinguir uma da outra. De salientar que antes de coletar-se as amostras de água, houve uma necessidade de lavar a garrafa três vezes com a própria água, para evitar a contaminação, de modo que haja fiabilidade nos resultados.



Figura 8:Localização dos pontos de amostragem na área de estudo





Figura 9: Procedimentos de coleta de dados no campo e o respetivo material. 1- bailer usado para coleta de amostra de água subterrânea; 2- furo de água; 3- coleta de amostra de água no rio; 4 - coleta de amostra de água na lagoa cocotiva.

3.2.2. Coleta de amostras de solo

A coleta de amostras de solo foi realizada em Agosto de 2022, entre 0-1 m de profundidade. Um total de nove (09) amostras de solo foram coletadas, das quais seis (06) no campo da dona Anita



Figura 10: Ilustração do processo de coleta de amostra de solo na área de estudo. 1- Coleta de amostra de solo usando trado manual; 2- amostras de solo organizadas em profundidades.

(sendo três na área de cultivo irrigado e três no cultivo a sequeiro) e três em campos próximos a lagoa cocotiva. As amostras coletadas eram deformadas, conservadas em sacos plásticos previamente etiquetados/codificados para cada local. A obtenção das amostras deformadas foi com o auxílio de trado manual. Após a perfuração com o trado manual em diferentes profundidades até 1m, as amostras foram misturadas num balde para permitir a obtenção de solo com propriedades físico-químicas homogêneas.

1

3.3.Determinação dos parâmetros químicos do solo e da água para irrigação

Para determinação dos parâmetros químicos da água para irrigação recorreu-se a dois métodos, o método laboratorial e método do campo (in situ). As análises no campo foram feitas no acto de monitoria, através de equipamentos portáteis, o condutivímetro para a medição da condutividade eléctrica (CE) e da temperatura (T) e o pH-meter para a medição do potencial de hidrogénio. Os parâmetros químicos da água que foram analisados no laboratório são, catiões (NH_4^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e aniões, (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Estes parâmetros foram analisados tanto na água subterrânea assim com superficial.



Para o solo, apenas foram analisados os seguintes parâmetros químicos: pH, CE e Na^+ . A análise das amostras de solo foi realizada no laboratório da FAEF-UEM e da água no Laboratório da IGS-África de Sul.

3.4.Identificação das classes de água para irrigação e o respetivo padrão para os sistemas de rega

Para determinação das classes de água para irrigação foi usada a classificação proposta pelos técnicos do Laboratório de salinidade dos Estados Unidos (USSL), que se baseia no diagrama para a interpretação das águas para irrigação. Com o método USSL classificou-se a água focando-se em dois parâmetros principais: a condutividade eléctrica (CE) e a razão de adsorção de sódio (RAS), visualizando os dois parâmetros no diagrama com as respetivas classes. O diagrama de classificação da água para irrigação foi obtido no software WISH versão 3.0.2. A RAS foi calculada baseando-se em três parâmetros químicos como mostra a equação:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{Equação}$$

6

Onde:

RAS – é a razão de adsorção de sódio;

Na^+ - Concentração de sódio, em mmol/L;

Ca^+ - Concentração de cálcio em mmol/L;

Mg^{2+} - Concentração de magnésio na água em mmol/L.

3.5.Determinação dos atributos físico-químicos do solo e sua adequação na interação solo-água nos sistemas de irrigação

A determinação dos atributos físico-químicos do solo foram feitas com base no método laboratorial, nos atributos físicos foram avaliado a composição granulométrica e a argila dispersa na água pelo método do densímetro e a densidade do solo pelo método do cilindro volumétrico e a condutividade hidráulica em meio saturado com o permeâmetro de coluna vertical e carga constante(Corrêa et al., 2010).

Os atributos químicos que foram avaliados são a CE, pH e Na^+ trocável .

3.6.Analise e interpretação dos dados

Para a análise e interpretação dos dados usou-se o software MS Office Excel (para a estatística descritiva, gráfico de barras), o software de qualidade de água WISH 3.0.2. O software de qualidade de água WISH 3.0.2 é uma interface gráfica, fornecendo a maioria das funcionalidades para o gerenciamento e interpretação de dados do dia-a-dia. Fornece diferentes opções de interpretação de dados, onde encontram-se incluídas a análise espacial, análise de série temporal, diagramas químicos especializados, análise de teste de bombeamento, registros hidrogeológicos simples e detalhados, contornos e seções (SADC, 2017). Antes que fossem feitas as análises estatísticas, houve a necessidade de calcular-se o balanço iônico, onde transformou-se as concentrações de mg/L para meq/L através da equação 7.

$$\text{meq/L} = \frac{\text{mg/L} * \text{valencia}}{\text{PM}} \quad \text{Equação 7.}$$

Onde:

mg/L= concentração do ião em mg/L;

Valência= carga do ião;

PM= peso molar do elemento químico correspondente ao ião em g/mol.

O cálculo de BI permitiu definir o coeficiente individual de erro de análises, admitindo um valor máximo de 10% para as análises aproveitáveis. O balanço iônico é importante, pois promove uma explicação para a variabilidade do equilíbrio químico da água subterrânea assim como a superficial. No BI uma solução deve ser eletricamente neutra (em equilíbrio), ou seja, a soma dos catiões em meq/L deve ser igual a soma dos aniões em meq/L (ABREHA, 2014). O cálculo do balanço iônico foi feito usando a equação 8.

$$BI = \frac{\sum \text{catiões} + \sum \text{aniões}}{\sum \text{catiões} - \sum \text{aniões}} * 100\% \quad \text{Equação 8}$$

Onde: BI= balanço iônico (%)

\sum catiões= somatório dos catiões (meq/L);

IV. RESULTADOS

4.1. Análise dos parâmetros químicos da água subterrânea e superficial para irrigação

Os valores de balanço iônico (BI) ilustrados na Figura 11 obtidos das amostras de água subterrânea apresentam uma média de 8.9%, tendo um valor mínimo de 6.1% e o valor máximo de 11.3% e os da água superficial uma média de 4.1%, com o valor mínimo de 0.37% e o máximo de 8.7%. De uma forma geral a maioria das amostras tem valor de BI < 10%.

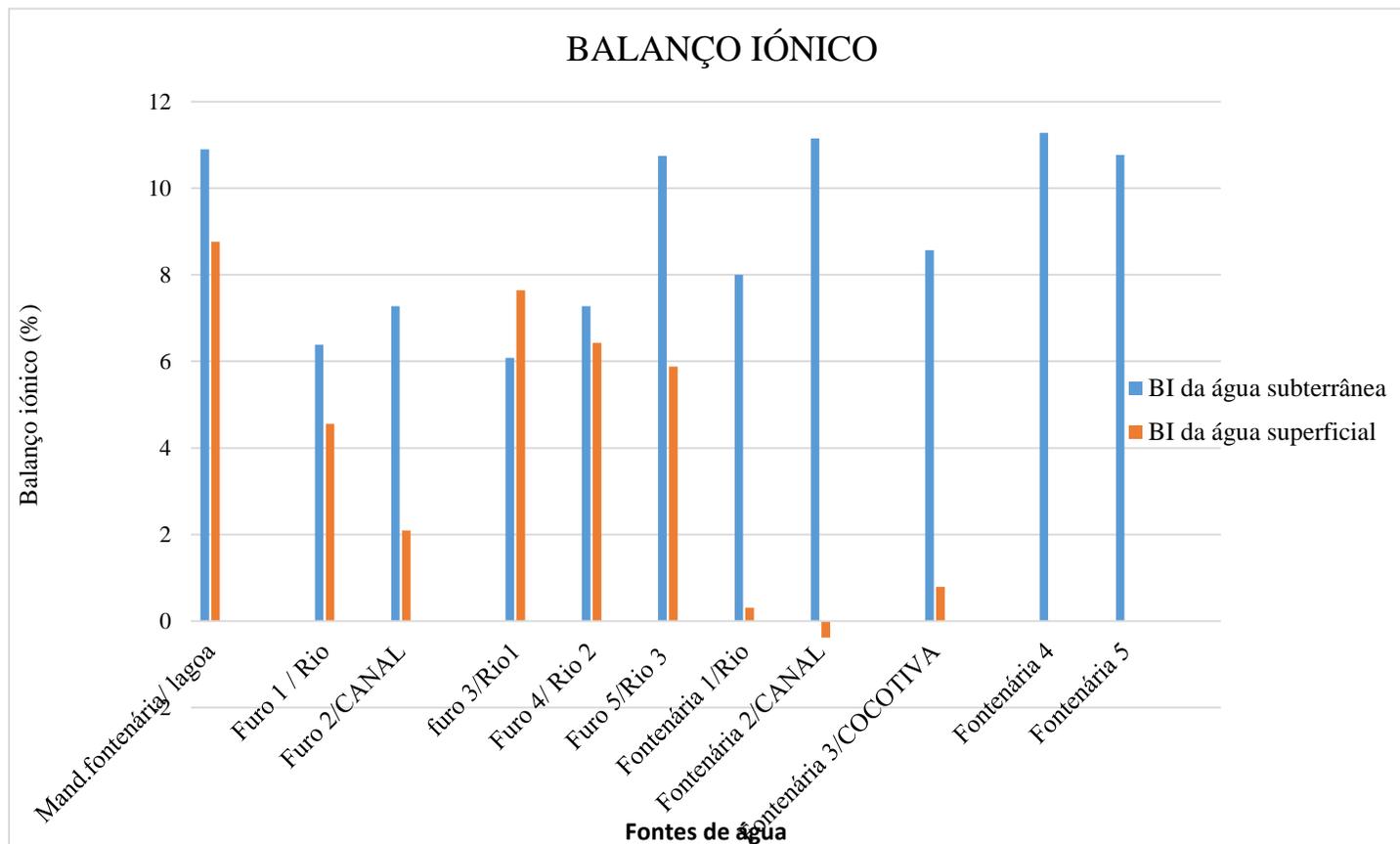


Figura 11: Ilustração dos resultados do balanço iônico

A estatística descritiva dos parâmetros químicos da qualidade de água para as fontes subterrâneas e superficiais está representada na Tabela 5 e 6, respetivamente. De acordo com os resultados obtidos verifica-se que há maior variabilidade das variáveis químicas da água nas fontes subterrânea em relação a água das fontes superficiais.

O valor médio do pH nas fontes da água superficial é de 7.91, com valor mínimo de 7.60 e máximo de 8.10, enquanto que para as fontes subterrâneas o valor médio é de 7.06

AVALIÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE

apresentando um mínimo de 6.77 e máximo de 8.07. O nível de salinidade medido através de CE mostra que para as águas superficiais tem em média 49.50 mS/m, com mínimo de 43,54mS/m e máximo de 83.30 mS/m, em comparação com as águas subterrâneas que apresentam média de 72.25 mS/m, mínimo de 54.26 mS/m e máximo de 109 mS/m. A mesma tendência de variação observa-se em outros parâmetros químicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}) da qualidade é ilustrada nas Tabelas 5 e 6. Nas águas subterrâneas os valores das variáveis Ca^{2+} (48.54 mg/L), Mg^{2+} (31.73 mg/L), Na^{+} (74.91 mg/L) apresentam valores de concentração média e intervalos de máximo-mínimo superiores quando comparados com as águas superficiais Ca^{2+} (29.46 mg/L), Mg^{2+} (21.86 mg/L), e Na^{+} (45.50 mg/L) respectivamente.

Diferentemente de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^{+} , a concentração média de potássio na fonte superficial (5.22 mg/L) é superior em relação a da fonte subterrânea (3.85 mg/L).

Os resultados da média das variáveis de HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , TDS das águas superficiais são todos inferiores em relação as da água subterrânea.

Tabela 5: Análise estatística da água subterrânea

A.SUB	CE	PH	Ca	Mg	Na	K	MAIk	F	Cl	NO3-N	SO4	TDS
Média	72,245	7,05555	48,5365	31,7342	74,908	3,85343	257,0491	0,337	66,4674	0,23039	42,6837	526,5
Erro padrão	5,45257	0,10838	4,74124	3,86346	20,7924	0,50249	27,73632	0,04325	4,38138	0,02848	5,11808	48,7059
Mediana	68,815	6,996	45,197	30,7229	53,7166	3,6816	220,54	0,29	68,2	0,24	41,5198	484,408
Moda	#N/A	6,996	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0,24	#N/A	#N/A
Desvio padrão	18,0841	0,35945	15,7249	12,8136	68,9607	1,66657	91,99097	0,14344	14,5314	0,09447	16,9747	161,539
Variância da amostra	327,036	0,12921	247,273	164,189	4755,57	2,77745	8462,338	0,02058	211,162	0,00892	288,142	26094,9
Curtose	0,8778	7,6041	2,2495	2,4281	10,1838	1,25654	2,458412	0,415	-1,6807	3,82181	-1,0416	2,54116
Assimetria	1,31006	2,6161	-0,9193	1,04442	3,15749	0,85454	1,82422	1,06523	0,07693	-0,9237	0,39344	1,72091
Intervalo	54,743	1,3	60,3489	49,8476	237,779	5,9696	280,58	0,45	38,6618	0,3957	50,8651	519,643
Mínimo	54,257	6,77	12,3102	11,499	42,134	1,5487	193,42	0,18	48,76	0,0043	21,4936	389,684
Máximo	109	8,07	72,6592	61,3466	279,913	7,5183	474	0,63	87,4218	0,4	72,3587	909,326
Soma	794,695	77,611	533,901	349,076	823,988	42,3878	2827,54	3,707	731,142	2,5343	469,52	5791,5
Contagem	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Nível de confiança(95.0%)	12,1491	0,24148	10,5641	8,60832	46,3284	1,11962	61,80037	0,09636	9,76233	0,06346	11,4038	108,524

AVALIÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE

Tabela 6: Análise estatística da água superficial

A.SUP	CE	PH	Ca	Mg	Na	K	MAK	F	Cl	NO3-N	SO4	TDS
Média	49,5009	7,90575	28,4617	21,8592	45,4974	5,2221	143,2038	0,27248	58,2738	0,20238	46,006	349,726
Erro padrão	1,39291	0,05664	1,55198	1,11883	4,42303	0,37536	6,187784	0,05163	5,89221	0,04811	3,00069	15,3042
Mediana	51,0775	7,9195	27,7435	22,75	45,1059	4,96905	140,98	0,32	54,845	0,225	46,8378	362,158
Moda	#N/A	#N/A	25	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0,32	#N/A	0,33	45	#N/A
Desvio padrão	3,93974	0,16021	4,38967	3,16452	12,5102	1,06168	17,5017	0,14603	16,6657	0,13609	8,48723	43,2869
Variância da amostra	15,5215	0,02567	19,2692	10,0142	156,506	1,12717	306,3093	0,02132	277,746	0,01852	72,033	1873,76
Curtose	-1,0381	0,69611	5,14367	-1,3106	-1,1644	-1,9907	2,768923	-0,048	-0,7681	0,24319	-0,9862	-1,3874
Assimetria	-0,8341	-0,9216	2,118	-0,5731	0,01081	0,32688	1,403678	-1,0515	0,57067	-1,0273	-0,6787	-0,6302
Intervalo	9,765	0,495	13,5963	8,30341	33,2	2,5566	55,38	0,4003	44,93	0,38	21,8	105,462
Mínimo	43,535	7,601	25	17	29	4,07	124,91	0,0097	39,32	-0,05	33	287,351
Máximo	53,3	8,096	38,5963	25,3034	62,2	6,6266	180,29	0,41	84,25	0,33	54,8	392,813
Soma	396,007	63,246	227,694	174,874	363,979	41,7768	1145,63	2,1798	466,19	1,619	368,048	2797,81
Contagem	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Nível de confiança(95.0%)	3,2937	0,13394	3,66986	2,64561	10,4588	0,88759	14,63178	0,12208	13,9329	0,11377	7,0955	36,1888

A percentagem de dominância dos principais iões em ambas fontes de água está representada nas Figuras 12 e Figura 13. Na fonte de água subterrânea o HCO_3^- é o anião dominante com uma variação de 474 - 257,05 mg/L, seguido pelo anião Cl^- com uma variação de 87,42 - 66,47 - 48,76 mg/L. Nas águas subterrânea a ordem de abundância dos catiões é $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$, e para os aniões é $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$.

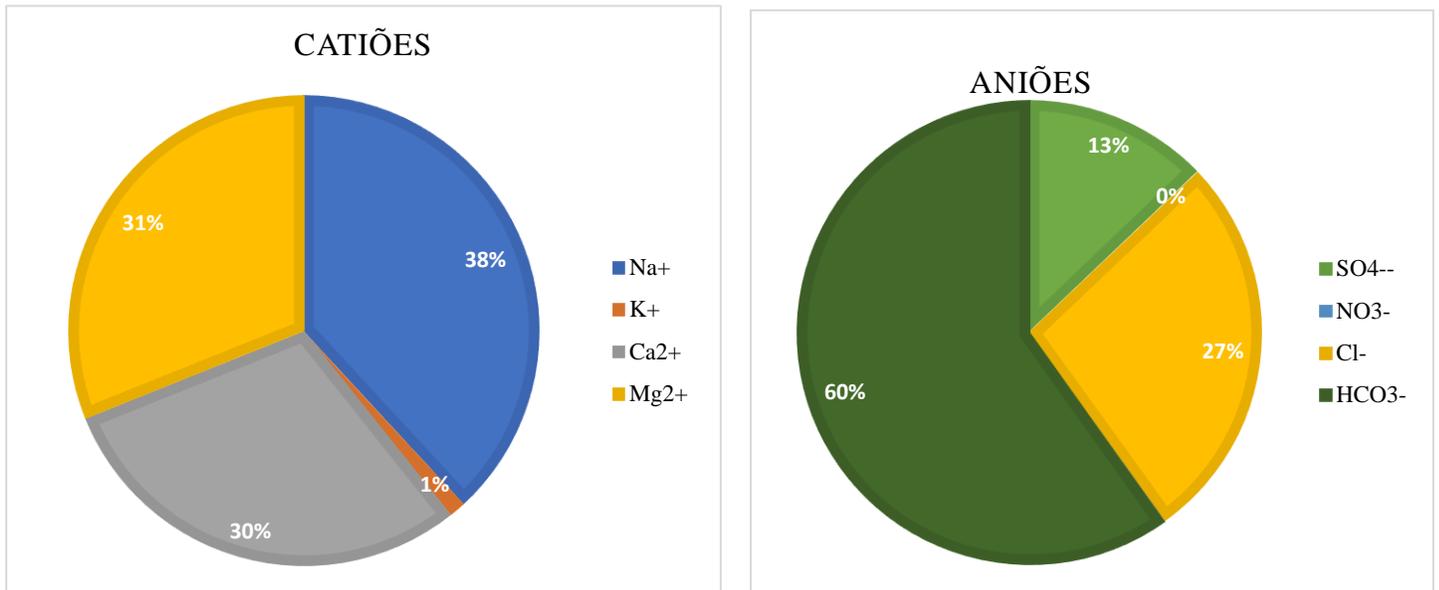


Figura 12: Ordem de abundância percentual dos principais íões na água subterrânea

A água superficial comparativamente com a água subterrânea apresenta o maior número de parâmetros químicos com concentrações relativamente baixas, apesar de ter a similaridade dos aniões dominantes, o HCO₃⁻ que varia de 124.91 a 180.29 mg/L, seguido pelo Cl⁻ que varia de 39.32 a 84.25 mg/l. A ordem de abundância da água superficial para os catiões é Na⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ e para os aniões é HCO₃⁻ > Cl⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻.

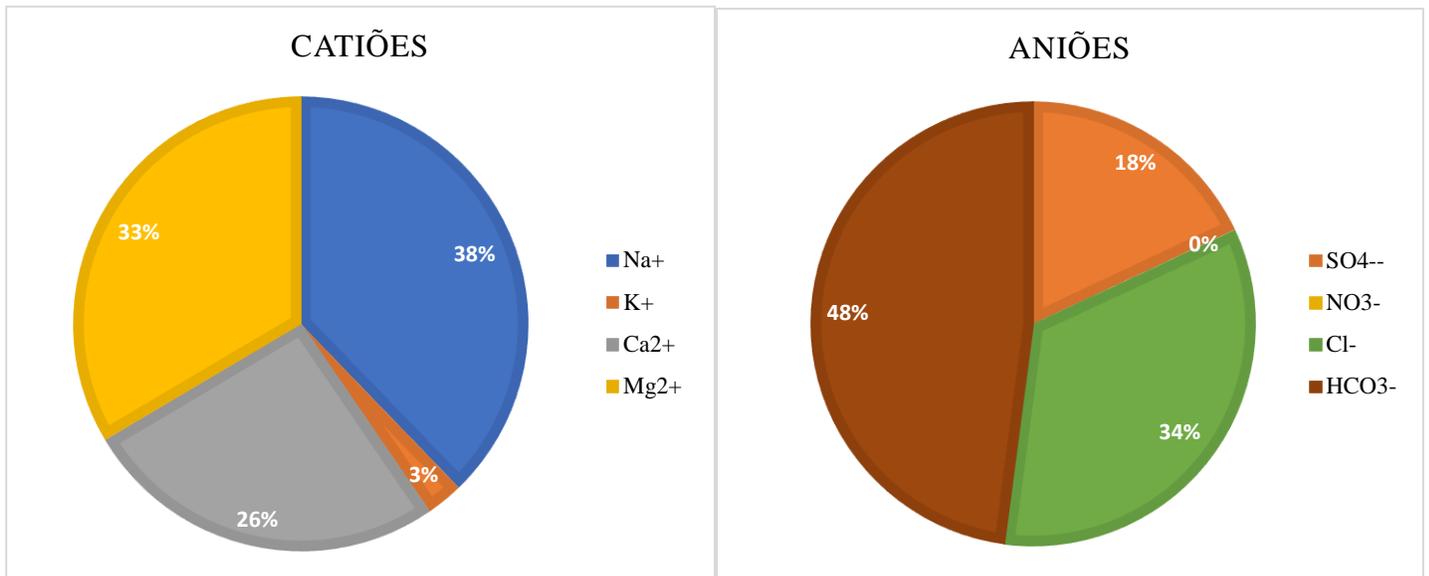


Figura 13: Ordem de abundância percentual dos principais iões na água superficial

4.2. Classificação geoquímica e fácies hidrogeoquímicas da água subterrânea e superficial

A classificação da qualidade de água para irrigação baseada na RAS, mostra que a água superficial e subterrânea tem valores menores do que 10 meq/L (Tabela 7 e 8) com exceção de uma fonte subterrânea que apresenta um valor de RAS maior que 10 meq/L.

No diagrama de classificação de água para irrigação da USSL (figura 14), observa-se que a maioria das amostras de água para irrigação são classificadas como C2-S1 (salinidade média, baixo teor de sodicidade). Apenas uma amostra foi classificada como C3S1 (salinidade alta, baixo teor de sodicidade) e uma como C3S3 (salinidade alta, alto teor de sodicidade).

Tabela 7: Classe de qualidade de água subterrânea para irrigação usando RAS e CE

N°	Fontes subterrâneas	RAS meq/L	CE ms/m
1	Mandjangué HP	13.784569	109,00
2	Macarretane well 1	1.420449878	70,53
3	Macarretane well 2	1.333781324	75,14
4	Macarretane well 3	1.230049352	65,57
5	Macarretane well 4	1.447108899	54,26
6	Macarretane well 5	1.484594835	62,25
7	Macarretane (dona Anita)	0.98571781	79,73
8	Macarretane hand pump1	1.373592174	68,82
9	Macarretane hand pump2	1.425673998	57,96
10	Macarretane Hand pump3	1.269853665	55,31
11	Macarretane Hand pump4	1.757474271	102,85
12	Macarretane Hand pump5	1.671271241	73,04

Tabela 8: Classe de qualidade de água superficial para irrigação usando RAS

N°	FONTES SUPERFICIAIS	RAS meq/L	CE ms/m
1	Macarretane Swamp	1.940247945	44,40
2	Macarretane River	2.097963065	52,10
3	Macarretane river 1	1.380981078	52,14
4	Macarretane river 2	1.530075669	48,21
5	Macarretane river 3	1.698657054	52,81
6	Macarretane River	1.117236426	43,85
7	Macarretane Canal	1.08645952	43,54
8	Macarretane Mcanal	2.066215705	53,30
9	Cocotiva	1.446664839	50,06

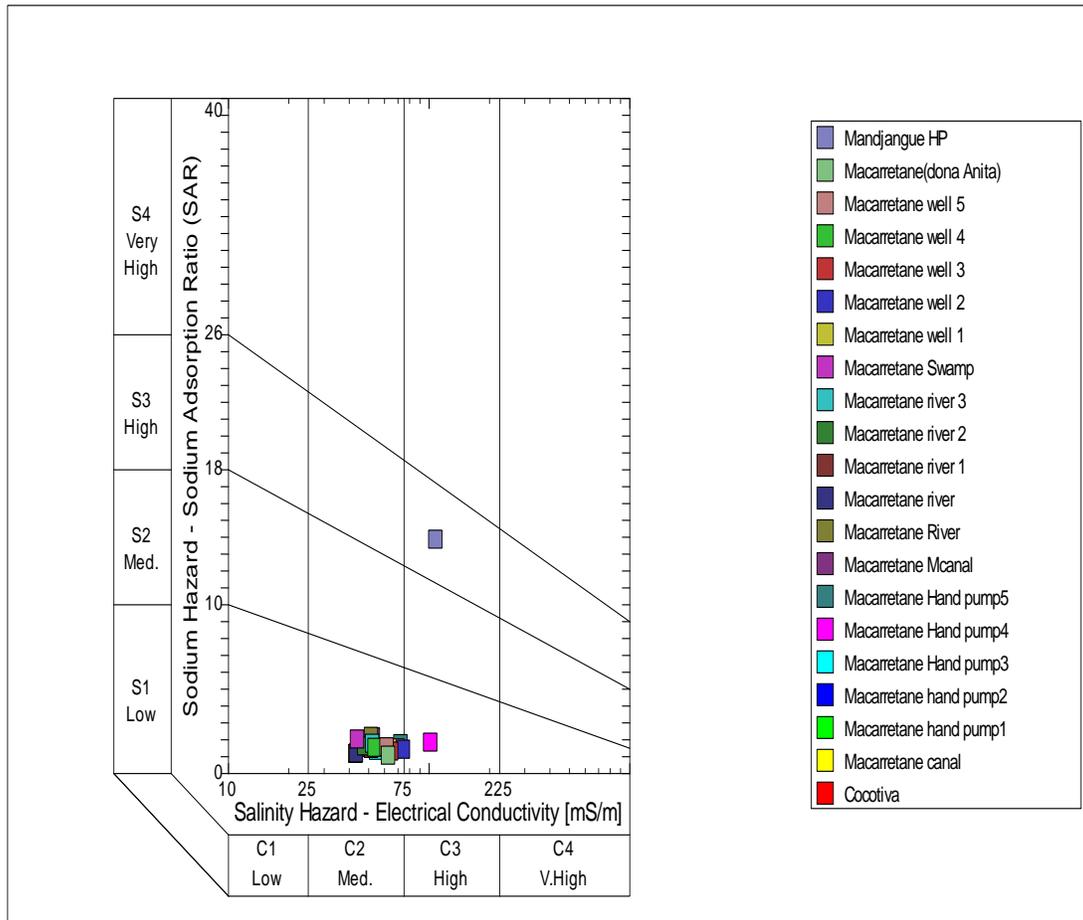


Figura 14:Classes de qualidade de água para irrigação usando a combinação RAS e CE

4.2.1. Faces hidroquímicas na água

O diagrama de Piper (figura 13) apresenta os resultados das amostras das fontes de água analisadas (subterrânea e superficial). O diagrama permitiu classificar a água com base na triangulação iônica projetando os cátions e aniões no losango central. De acordo com a classificação catiónica ambas fontes se enquadram na classe de águas mistas, isto é, sem dominância de nenhum cátion com exceção de uma fonte subterrânea que se encontra na classe de água sódica, com dominância dos cátions Na^{2+} e K^+ . Diferentemente da classificação

aniônica na água subterrânea e superficial há dominância de HCO_3^- , sendo consideradas águas que pertencem a classe bicarbonatada com exceção de uma fonte superficial que se encontra na classe de água pertencente a águas mistas. As amostras apresentam uma face hidroquímica classificada como água bicarbonatada cálcica ou magnesiânica segundo a projeção geral no losango do diagrama de Piper.

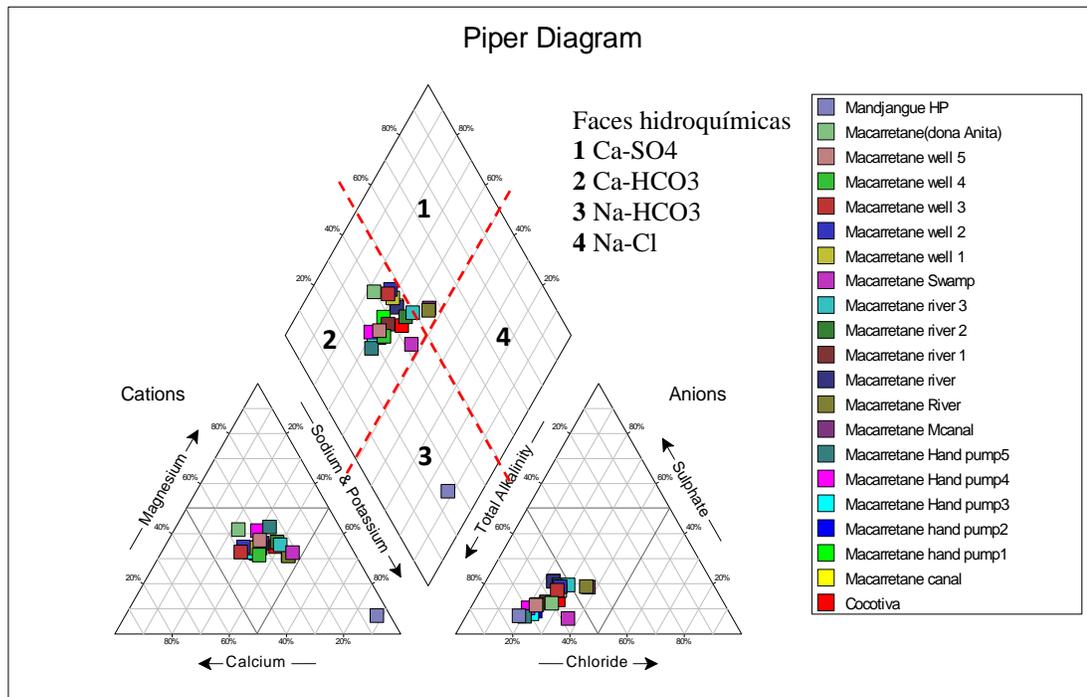


Figura 15: Faces hidroquímicas da água subterrânea e superficial no diagrama de Piper

4.2.2. Configuração geométrica da relação iônica na água

A figura abaixo representa o diagrama de Stiff que ilustra o resultado do equilíbrio iônico a partir da configuração geométrica das amostras de água.

Existem alguns caracteres geométricos semelhantes nas amostras, com variação apenas na concentração dos iões. Em todos os furos e bombas manuais nota-se uma maior concentração de HCO_3^- .

AVALIÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE

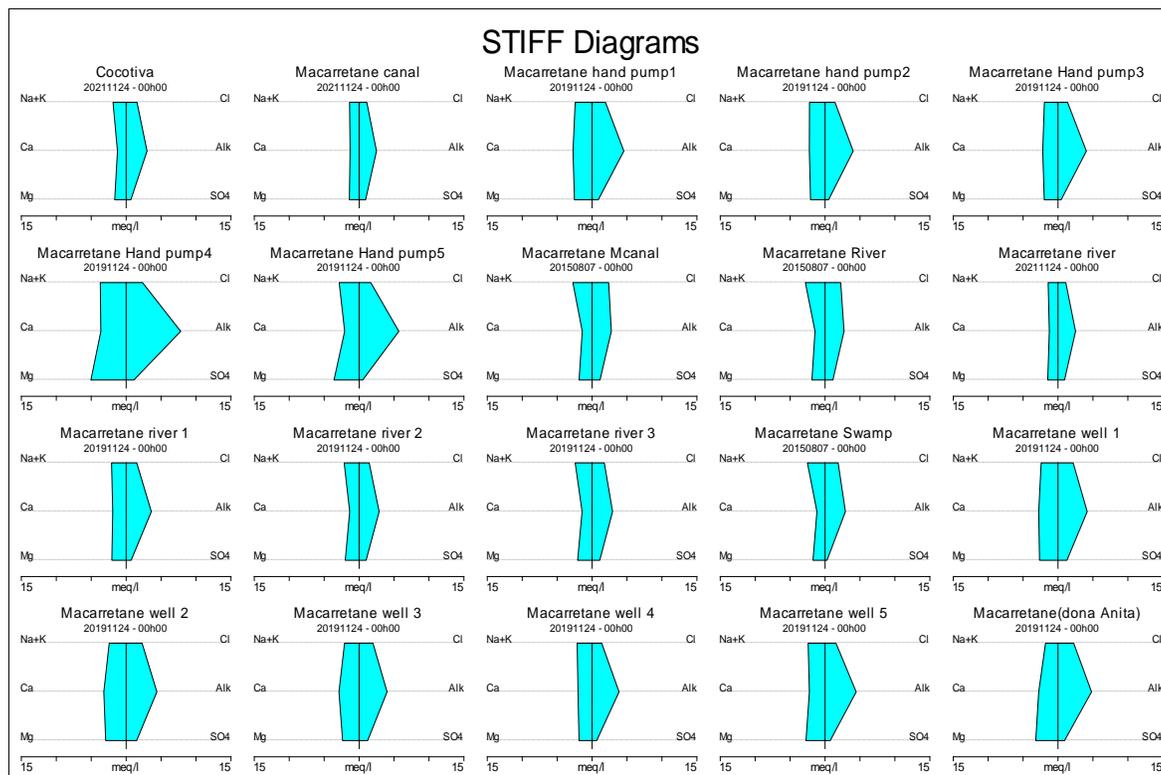


Figura 16:Configuração geométrica dos iões no diagrama de Stiff

4.3. Classificação da qualidade de água usando percentagem de sódio

O sódio nas águas de irrigação é geralmente denotado como percentagem de sódio e pode ser determinado com a fórmula seguinte:

$$\% \text{ Na} = (\text{Na}^+) \times 100 / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)$$

A classificação das amostras de águas subterrâneas e superficiais referente a percentagem de sódio é mostrada na Tabela 9. Observa-se que cerca 92% das amostras de fontes subterrâneas são boas para irrigação e 8% das amostras é inadequada para irrigação, nas fontes superficiais observou-se que cerca de 67% das amostras são boas e 33% são admissíveis para irrigação.

Tabela 9 : Classes de água usando percentagem de sódio

Nº de amostras de água subterrânea	%	Classe de % de sódio	Nº de amostras de água superficial	%
0	0%	Excelente <20	0	0%
11	92%	Bom 20-40	6	67%
0	0%	Admissíveis 40 - 60	3	33%
0	0%	Duvidoso 60 - 80	0	0%
1	8%	Inadequado >80	0	0%
12	100%		9	100%

4.3.1. Parâmetros químicos da água

Os parâmetros físico-químicos analisados nas amostras das duas fontes de água da área de estudo, encontram-se dentro dos limites aceitáveis da água usada para irrigação agrícola, facto esse que é comprovado por diferentes fontes bibliográficas citadas na tabela 10 e 11.

Tabela 10: Classificação usada na determinação dos parâmetros físico-químicos da fonte de água subterrânea

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Unidade	Limites aceitáveis	Classificação usada
pH	8,07	8,07	7,05555	meq/L	6.5-8.4	ALMEIDA 2010; CHAVES 2017 & FAO 2010
Ca	72,65916	72,65916	48,5365	meq/L	0-20	ALMEIDA 2010
Mg	61,34661	61,34661	31,7342	meq/L	0-5	ALMEIDA 2010
Na	279,9132	279,9132	74,908	meq/L	0-10	ALMEIDA 2010
K	7,5183	7,5183	3,85343	meq/L	0-2	ALMEIDA 2010
HCO ₃	474	474	257,049	meq/L	1.5-8.5	CHAVES 2017 & FAO 2010
Cl	0,63	87,4218	66,4674	meq/L	0-10	ALMEIDA 2010; CHAVES 2017 & FAO 2010
NO ₃	87,4218	0,4	0,23039	meq/L	0-10	ALMEIDA 2010
SO ₄	0,4	72,3587	42,6837	meq/L	0-20	ALMEIDA 2010
TDS	909,32623	909,32623	526,5	meq/L	200-4000	SILVA <i>et al.</i> , 2010 & FAO 2010

Tabela 11: Classificação usada na determinação dos parâmetros físico-químicos da fonte de água superficial

AVALIÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Unidade	Limites aceitáveis	Classificação usada
pH	7,601	8,096	7,90575	meq/L	6.5-8.4	ALMEIDA 2010; CHAVES 2017 & FAO 2010
Ca	25	38,5963	28,4617	meq/L	0-20	ALMEIDA 2010
Mg	17	25,3034	21,8592	meq/L	0-5	ALMEIDA 2010
Na	29	62,2	45,4974	meq/L	0-10	ALMEIDA 2010
K	4,07	6,6266	5,2221	meq/L	0-2	ALMEIDA 2010
HCO ₃	124,91	180,29	143,204	meq/L	1.5-8.5	CHAVES 2017 & FAO 2010
Cl	39,32	84,25	58,2738	meq/L	0-10	ALMEIDA 2010; CHAVES 2017 & FAO 2010
NO ₃	-0,05	0,33	0,20238	meq/L	0-10	ALMEIDA 2010
SO ₄	33	54,8	46,006	meq/L	0-20	ALMEIDA 2010
TDS	287,351	392,813	349,726	meq/L	200-4000	SILVA <i>et al.</i> , 2010 & FAO 2010

4.4.Determinação dos atributos físico-químicos do solo

Os parâmetros químicos de solo analisados foram o pH, a condutividade elétrica e o sódio trocável e o potássio, como se mostra na Tabela 12. Na tabela abaixo encontra-se ilustrados os resultados das análises laboratoriais dos parâmetros acima mencionados.

Verifica-se que a CE dos solos da área em estudo apresenta uma concentração média de sais de 0.156 mS/cm equivalente a 1.56 dS/m, com referência ao pH da água no solo todos os valores encontram-se dentro dos limites dos solos normais (menor que 8.5), mesmo analisando conjuntamente com o sódio trocável.

Tabela 12: Resultados laboratoriais das análises físico-químico do solo

	Código	pH_{H2O} (1:2.5)	CE (1:2.5)	Na⁺	K⁺
Cod. Lab		[-]	[mS/cm]	[meq/100g]	[meq/100g]
1	K1	8,27	0,187	0,38	2,28
2	K2	7,89	0,181	1,69	0,62
3	K3	8,04	0,187	0,58	1,01
4	K4	7,81	0,085	0,15	0,44
5	K5	7,72	0,152	0,16	0,57
6	K6	7,88	0,141	0,19	0,84
Média		7,94	0,156	0,53	0,96

V. DISCUSSÃO

5.1. Parâmetros químicos da água subterrânea e superficial para irrigação

Os dados das amostras colhidas em diferentes fontes hídricas foram submetidos ao cálculo do Balanço iônico e verificou-se que os dados da água superficial se encontram dentro dos limites aceitáveis do equilíbrio iônico, diferente de alguns dados da água subterrânea que apresentam o BI acima do limite aceitável. Segundo Bittencurt, o balanço iônico não deve ser superior a 10% para uma análise ser considerada admissível.

De acordo com Deutsch (1997), diversas razões possíveis podem criar um desequilíbrio eletrônico na composição dos dados relatados, como o projeto do programa de amostragem negligenciar uma espécie principal dissolvida; usar amostras de água não filtradas contendo partículas da matéria que se dissolve na amostragem quando o ácido é adicionado para finalidades da preservação e muitas outras razões.

5.2. Classes de qualidade de água para irrigação nas fontes de subterrâneas e superficiais

5.2.1. Risco de salinidade

A condutividade elétrica (CE) é o parâmetro mais importante para determinar a adequação da água para utilização de irrigação e é uma boa medição do risco de salinidade para a cultura, uma vez que reflete o TDS nas águas subterrâneas assim como as superficiais. Segundo (ALMEIDA, 2010), a condutividade elétrica média da água para irrigação encontra-se no intervalo de 0,75 – 2,25 dS m⁻¹. De acordo com o mesmo autor, a classe de água subterrânea de Macarretane é não salina ou [C2] água com salinidade média, pois a média da condutividade elétrica foi de 0,72 dS/m e a condutividade elétrica da água superficial foi de 0,49 dS/m, encontrando-se na mesma classe que a da água subterrânea. Essa classe de água pode ser usada sempre que houver grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos sem práticas especiais de controle da salinização, o grau de tolerância a salinidade varia de acordo com o tipo de cultura, tendo algumas mais sensíveis e outras tolerantes, culturas como milho e feijão (culturas mais cultivadas na área em estudo), que para níveis de salinidade inferior ou igual a 7 dS/m, sofrem perdas de rendimentos até 50% .

Tabela 13: Redução relativa do rendimento de algumas culturas

Culturas	Redução relativa do rendimento			
	0%	10%	25%	50%
Algodão	< 8.0	12	13	18
Trigo	< 6.0	7,5	9,5	13
Arroz	< 3.0	4	5	7
Milho	< 1.5	2,2	4	7
Feijão	< 1.0	1,5	2,5	3,5
Tomate	< 1.5	2,5	4,5	7

Fonte: (WILSON, 2009)

5.2.2. Risco de sódio

A concentração de sódio é o mais problemático dos principais constituintes e um fator importante na avaliação da qualidade da água de irrigação. O sódio tem efeito directo na estrutura do solo. O excesso de sódio conduz ao desenvolvimento de um solo alcalino que pode causar manchas físicas do solo e reduzir a permeabilidade do solo. Além disso, a água de irrigação que contém grandes quantidades de sódio é particularmente preocupante devido ao absorvimento de sódio por raízes vegetais que é transportada para as folhas onde pode acumular e causar ferimentos na cultura (ABDUL HAMEED M. JAWAD ALOBAIDY, 2010).

No entanto, existe uma restrição à utilização do método dos fios de sprin com água que contém um alto nível de sais de sódio, uma vez que estes sais podem ser absorvidos diretamente pelas folhas das plantas e produzirão efeitos nocivos. Segundo (ABDUL HAMEED M. JAWAD ALOBAIDY, 2010) a água pode ser utilizada para irrigação quando a concentração de sódio for de cerca de 8,0 meq/L. As concentrações de sódio nas amostras de água subterrânea variaram de 42,13404 a 279,9132 mg/L (valor médio = 74,90mg/L), não apresenta nenhum grau de restrição para as culturas sensíveis sobre a utilização destas águas na irrigação. Nas águas superficiais a concentração de sódio varia de 29 a 62,2 mg/L, (valor médio = 45,49 mg/L), assim como a água subterrânea não apresenta nenhum grau de restrição para sua utilização na irrigação.

Tabela 14: Classificação da água para irrigação

Risco de salinidade								
Parâmetros	Classificação da água de irrigação					Grau de restrição à utilização		
	Excelente	Bom	Admissível	Nenhum.		Ligeira a Moderada		Grave
CE (dS/m)	< 0.25	0.25-0.75	0.75-2.25	2.25-	< 0.7	0.7-3.0		> 3.0
TDS (mg/L)	< 200	200-500	500-1500	1500-	< 450	450-2000		> 2000
Toxicidade específica dos iões								
	Grau de restrição à utilização				Grau de restrição à utilização			
	Baixo	Média	Alto	Muito alto	Nenhum.	Ligeira a Moderad	Grave	
Na+ (mg/L)	-	-	-	-	< 100	> 100	> 100	
Na+ (SAR)	< 10.0	10--18	18-26	> 26.0	< 3.0	3--9	> 9.0	
Na+ (SSP)	< 20.0	20-40	40-80	> 80	-	-	-	

Fonte : (ABREHA, 2014)

5.2.3. Faces hidroquímicas na água

Com base nas amostras de água foi determinada a sua tipologia usando o diagrama de Piper, esse que por sua vez permitiu classificar a água como sendo do tipo bicarbonatada cálcica ou magnésiana (Ca/Mg-HCO₃) e bicarbonatada sódica.

O campo predominante das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnésianas está relacionado com a composição química das litologias que hospedam o sistema aquífero. Essa relação indica que a fonte original dos cátions Ca²⁺, Na⁺ e Mg²⁺ está associada com a alteração dos silicatos que constituem as rochas caracterizadas por um enriquecimento de cálcio e magnésio do topo para a base do aquífero, comprovando a existência de um controle litoquímico (CHAMBAL, 2020). A composição mineralógica dos aluviões é quase que exclusivamente de quartzo, com a presença de minerais acessórios como feldspatos, micas, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, argilo-minerais dentre outros. A composição bicarbonatada cálcicas ou magnésianas, indica a presença de feldspatos e argilo-minerais mais ricos em cálcio que em sódio, e a presença de magnésio associada a ocorrência de micas (biotita) (CHANG, 2014).

5.2.4. Configuração geométrica da relação iônica na água

As figuras geométricas representadas no diagrama de Stiff mostram diferentes concentrações de íons na água. As amostras representativas da fonte de água subterrânea, apresentam maiores concentrações dos íons Mg^{2+} e HCO_3^- , enquanto as figuras geométricas dos resultados obtidos com base nas amostras da água superficial, apresentam maiores concentrações dos íons Na^+ e HCO_3^- . Apesar das diferenças acima citadas tanto as amostras das águas subterrâneas, assim como as das águas superficiais apresentam maiores concentrações de HCO_3^- .

5.2.5. Classe de qualidade da água subterrânea para irrigação agrícola

Com os resultados laboratoriais obtidos com base nas duas fontes de água, o diagrama da USSL permitiu classificar a água para irrigação em três classes distintas, tendo como a primeira classe C2-S1 a segunda C3-S1 e a terceira C3S3. Os resultados mostram que a maioria das amostras, subterrâneas assim como superficiais encontram -se na classe de salinidade média e baixo risco de sodicidade.

Segundo GUEDES et al., (2016) as águas que apresentam uma concentração menor a 10 meq/L para RAS são consideradas boas para irrigação não apresentando um risco de sodicidade para o solo, a classe de água C2-S1 é classificada como tendo um médio risco e salinidade e baixo risco de sodicidade, podendo ser usada para irrigação com pouca probabilidade do solo ter níveis perigosos de sodicidade. A classe C3-S1 é classificada como tendo um alto teor de salinidade e baixo nível de sodicidade. Apesar deste nível de salinidade, essa água pode ser usada para irrigar culturas, desde que os solos tenham boa drenagem para permitir que haja lixiviação e não deixe o solo sob efeito osmótico. De acordo com Richards (1954), a classificação C3 S3 representa perigo de salinidade e sodicidade alto em que, uma vez usada nas culturas, afetará o rendimento das mesmas ocasionando problemas de infiltração da água no solo.

Águas subterrâneas de ambas categorias C2-S1 e C3-S1 podem ser usados para irrigação em quase todos os solos, porem, apresentando um pequeno risco de desenvolver-se o nível de Na^+ trocável (SENTHILKUMAR, 2013).

A água subterrânea de classe C3-S1 localiza-se na margem do leito seco do rio, a sua composição litológica apresenta intercalação de areias e argilas, como mostra a figura 17.

A presença de argilas pode causar a dissolução ou ocorrência de minerais silicatados, uma vez em contacto com a água aumenta o seu grau de mineralização.

5.3. Atributos físico-químicos do solo e sua adequação na interação solo-água nos sistemas de irrigação

Verifica-se que nos solos dos campos em estudo não há sodificação. Nos campos K1 e K3 que se encontram ao redor da lagoa cocotiva apresentam valores um pouco elevados do pH e nos mesmos campos o sódio trocável permaneceu com valores menores que 15, induzindo o solo a uma ligeira salinidade. Nesses mesmos campos a CE apresenta valores médios de conteúdo de sais inferior a 4 dS/m.

Segundo (ALMEIDA, 2010) a lixiviação do excesso de sais solúveis modifica acentuadamente as propriedades físicas, tornando-as semelhante às do sódico.

O mapa apresentado abaixo, mostra que os pontos de amostragem se encontram nos solos aluvionares estratificados de textura grossa e verifica-se que os valores referentes a CE, pH e PST estão dentro dos limites para solos-não salinos de acordo com RICHARD (1954).

Com base na afirmação anterior e nos resultados da análises químicas dos solos da área estudada, pode-se considerar que, em geral, as limitações associadas aos solos argilosos estão relacionadas a ocorrência de sódio e sais solúveis em profundidades abaixo de 1m, porém não afetam culturas exploradas na área (milho e feijão). Pelas diversas variações nas características dos solos argilosos que se encontram na área estudada, podem ser irrigados pelos métodos localizados em função das camadas de argila e areia fina na superfície e um pouco abaixo da superfície, da alta capacidade de retenção de água ao longo do perfil e da alta demanda de evapotranspiração. Os métodos de irrigação por superfície (sulcos) são os mais indicados devido a alta capacidade de retenção de água e a intensa lixiviação.

Com referência aos solos da área em estudo , pela boa capacidade de retenção de água, irrigações leves com baixa frequência (turnos de rega mais espaçados) em plantas de sistema radicular superficial (tomate, feijão, milho) semeadas em curvas de níveis, se adequam as características desses solos (MAURÍCIO RIZZATO COELHO).

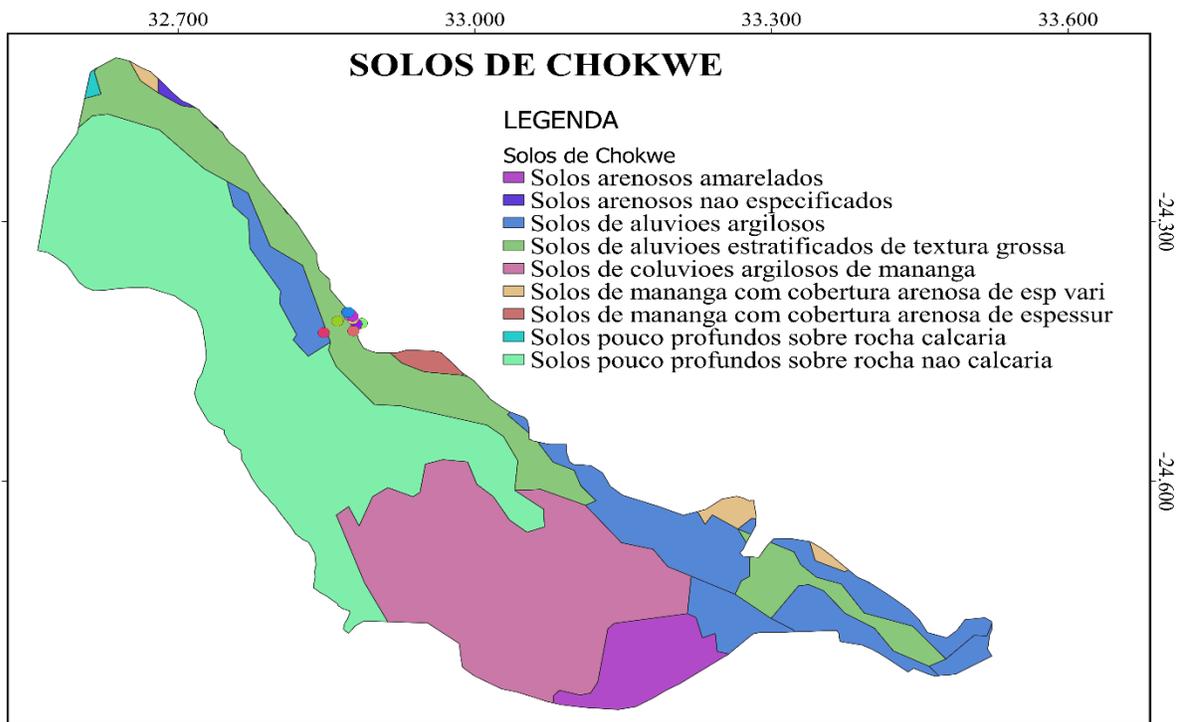


Figura 17: Ilustração do Mapa de solos de Chókwe

VI. CONCLUSÃO

Os dados das amostras colhidas em diferentes fontes hídricas do posto administrativo de Macarretane foram submetidos ao cálculo do Balanço iônico e verificou-se que os dados da água superficial se encontram dentro dos limites aceitáveis do equilíbrio iônico, diferente de alguns dados da água subterrânea que apresentam o BI um pouco acima do limite aceitável.

As fontes de água subterrânea e superficial para irrigação, encontram-se nas classes C2-S1, C3-S1 e C3S3. Os resultados mostram que a maioria das amostras, subterrâneas assim como superficiais encontram -se na classe de salinidade média e baixo risco de sodicidade.

Nas análises dos atributos químicos dos solos da área estudada, pode-se considerar que, em geral, as limitações associadas aos solos argilosos estão relacionadas a ocorrência de sódio e sais solúveis em profundidades abaixo de 1m, porém não afetam culturas exploradas na área (milho e feijão). Os métodos de irrigação por superfície (sulcos) são os mais indicados devido a alta capacidade de retenção de água e a intensa lixiviação, contudo há necessidade de garantir boas práticas de gestão de solo-planta-água por forma a evitar o risco de salinização e sodificação dos solos.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE

VII. RECOMENDAÇÕES

- ❖ Recomenda-se o uso de métodos de irrigação por superfície (sulcos), associados a um sistema de drenagem, visto que as fontes de água apresentam risco de salinidade que é uma das principais causas da salinidade do solo e o sistema de drenagem irá permitir que haja lixiviação e não deixará os solos sob efeito osmótico.
- ❖ Também recomenda-se que seja feito um estudo parecido, mas considerando os parâmetros físicos do solo de modo a identificar o melhor sistema de irrigação com base nesta análise.
- ❖ E por fim recomenda-se que seja feito um estudo de vulnerabilidade (contaminação da água) nas fontes hídricas.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ABDUL HAMEED M. JAWAD ALOBAIDY, M. A. A.-S. A. A.-S. A. M. Evaluation of Treated Municipal Wastewater Quality for Irrigation. **Journal of Environmental Protection**, p. 10, 2010.
- ABREHA, A. G. **Hydrogeochemical and water quality investigation on irrigation and drinking water supplies in the mekelle region, northern ETHIOPIA**. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation: [s.n.], 2014.
- ALMEIDA, O. Á. D. **qualidade da Água de irrigação**. 1. ed. cruz das almas, Bahia: [s.n.], 2010.
- APOSTILA SOBRE CONCEITOS SOBRE SOLOS. [S.l.]: [s.n.], 2010.
- BERNARDO, S. S. Manual de irrigação. In: BERNARDO, S. S. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2018. p. 26. ISBN 35.
- CELSEMY ELEUTÉRIO MAIA, E. R. C. D. M. CLASSIFICAÇÃO DA GUA DE IRRIGAO utilizando quatro metodologias de cálculo para a razão de adsorção de sódio. **Classificação da água de irrigação utilizando quatro metodologias de cálculo para a razão de adsorção de sódio**, Universidade Federal de Viçosa, 13 Maio 2017. 130.
- CHAMBAL, N. E. S. **Avaliação dos processos hidroquímicos e qualidade da água subterrânea no leito seco do rio limpopo para irrigação agrícola em macarretane**. Instituto superior politécnico de Gaza: [s.n.], 2020.
- CHANG, H. K. **Implicações hidroquímicas da interação rocha-água**: interpretações através da representação gráfica de análises químicas de águas subterrâneas. UNESP: [s.n.], 2014.
- CORDEIRO, G. G. **Qualidade de Água para Fins de Irrigação (Conceitos básicos e práticos)**. 1a. ed. [S.l.]: Lopes Gráfica Editora, 2015.

CUSTODIO, L. **Avaliação microbiológica de diferentes marcas de água mineral.** [S.l.]: [s.n.], 2010.

DE FREITA, F. & C. A. **Caracterizacion Hidrogeoquimica de las aguas subterraneas del acuífero-Las piedras.** Venezuela: [s.n.], 2010.

ERIKA DE ALMEIDA SAMPAIO BRAGA, M. D. D. A. M. S. R. S. A. D. S. M. R. F. D. S. S. Classificação da água subterrânea para uso na irrigação. **Estudos de Caso e Notas**, 2020. 9.

FORMIGA, A. R. D. S. Variação Espaço/ Temporal da qualidade de água subterrânea do município de Juazeiro do Nore- CE, 2015.

JUNIOR, J. A. D. L.; SILVA, A. L. P. D. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos, 2010.

MAE. Perfil do distrito de chokwe provincia de gaza. 2005. ed. [S.l.]: [s.n.], 2014.

MAURÍCIO RIZZATO COELHO, E. C. F. H. G. D. S. D. L. M. S. B. E. D. V. P. **Solos:** tipos, suas funções no ambiente, como se formam no ambiente, como se formam crescimento das plantas. [S.l.]: [s.n.].

PAULO CÉSAR TEIXEIRA, G. K. D. A. F. W. G. T. **Manual de métodos de análise de solo.** 3 edição. ed. Brazil: Revista e ampliada, 2017.

SENTHILKUMAR, M. E. **Geochemical processes controlling the groundwater.** quality in lower Palar river basin, southern India: [s.n.], 2013.

SILVA, R. B. G. **Estudo hidroquimico e isotopico das aguas subteraneas do aquifero Botucatu no estado de Sao Paulo.** Universidade de Sao Paulo- Instituto de Geociencias: [s.n.], 1983.

SITHOE, P. J. **mudancas espaciais do uso de cobertura da terra no distrito de Chokwe.** Universidade Eduardo Mondlane-Departamento de Geologia. Maputo, p. 69. 2003.

TESTEZLAF, R. **Irrigação:** métodos,sistemas e aplicações. Faculdade de Engenharia Agricola: [s.n.], 2017.

VIDALETT, S. F. caracterizacao dos atributos quimicos e fisicos de solos em diferentes sistemas de manejo no municipio no municipio de Conceição, 2018. 42.

WILSON, T. L. Gestão da Água de Rega e sua Implicação na Salinização de Solos no Regadio de Chókwè. **Gestão da Água de Rega e sua Implicação na Salinização de Solos no Regadio de Chókwè**, UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE (Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal), Janeiro 2009. 80.

AVALIÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Resultados laboratoriais das análises químicas e físicas da água subterrânea

FONTES SUBTERRANEAS	CE	PH	Ca	Mg	Na	K	MAIk	F	Cl	NO3-N	SO4	TDS
Mandjanguê HP	109,00	8,07	12,31	11,50	279,91	3,08	474,00	0,55	87,422	0,004	41,520	909,326
Macarretane well 1	70,53	6,77	55,4	32,2	53,7	3,14	208,98	0,33	77,250	0,200	61,727	493,681
Macarretane well 2	75,14	6,83	64,2	35,7	53,7	3,78	220,54	0,27	80,960	0,220	72,359	532,456
Macarretane well 3	65,57	6,86	58,0	28,8	45,9	3,68	200,55	0,24	70,520	0,400	58,803	468,179
Macarretane well 4	54,26	7,00	40,6	22,8	46,5	4,65	193,42	0,29	48,920	0,300	31,961	390,407
Macarretane well 5	62,25	7,00	45,0	33,2	53,8	3,00	222,91	0,4	55,280	0,230	35,759	450,418
Macarretane hand pump1	68,82	7,13	54,9	30,7	51,3	7,52	227,37	0,19	68,200	0,270	43,035	484,408
Macarretane hand pump2	57,96	6,88	45,2	25,3	48,2	5,20	201,19	0,18	50,810	0,240	24,659	401,804
Macarretane Hand pump3	55,31	7,01	44,0	23,9	42,1	4,86	203,16	0,25	48,760	0,240	21,494	389,684
Macarretane Hand pump4	102,85	6,88	72,7	61,3	84,1	1,93	390,57	0,38	83,430	0,240	53,497	749,011
Macarretane Hand pump5	73,04	7,19	41,5	43,7	64,7	1,55	284,85	0,63	59,590	0,190	24,709	522,128

ANEXO 2: Resultados laboratoriais das análises químicas e físicas da água superficial

FONTES SUPERFICIAIS	CE	PH	Ca	Mg	Na	K	MAIk	F	Cl	NO3-N	SO4	TDS
Macarretane Swamp	44,40	7,09	23,30	21,10	53,70	7,74	146,00	0,04	66,500	-0,050	13,898	332,108
Macarretane River	52,10	8,02	28,90	22,90	62,20	4,38	136,00	0,10	79,900	0,059	54,000	388,809
Macarretane river 1	52,14	7,94	38,6	24,9	44,8	5,54	180,29	0,25	54,230	0,230	34,437	384,068
Macarretane river 2	48,21	8,10	27,1	24,1	45,4	6,56	143,96	0,32	51,170	0,220	48,676	348,322
Macarretane river 3	52,81	7,77	28,7	25,3	51,8	6,63	146,96	0,32	62,330	0,190	53,136	375,994
Macarretane River	43,85	7,88	25	18	30	4,4	125,9	0,41	39,53	0,31	45	289,61
Macarretane Canal	43,54	7,90	26	17	29	4,3	124,91	0,36	39,32	0,33	45	287,35
Macarretane Mcanal	53,30	8,04	28,40	22,60	60,80	4,07	138,00	0,01	84,250	-0,050	54,800	392,813
Cocotiva	50,06	7,60	25	20	40	5,9	149,61	0,41	55,46	0,33	33	330,84

ANEXO 3: Ordem de abundância dos iões da água subterrânea

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO POSTO ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE

iões da água subterrânea	Média	% dos catiões
Na+	3,157106054	38%
K+	0,097753154	1%
Ca ²⁺	2,450765448	30%
Mg ²⁺	2,573569238	31%
Total	8,279193895	100%
		% dos aniões
SO ₄ ⁻⁻	-0,892937528	13%
NO ₃ ⁻	-0,006927823	0%
Cl ⁻	-1,906562764	27%
HCO ₃ ⁻	-4,189330001	60%
Total	-6,995758116	100%

ANEXO 4: Ordem de abundância dos iões da água superficial

iões da água superficial	Média	% dos catiões
Na+	2,018649993	38%
K+	0,140712702	3%
Ca ²⁺	1,391625749	26%
Mg ²⁺	1,791432424	34%
Total	5,342420868	100%
		% dos aniões
SO ₄ ⁻⁻	-0,88348935	18%
NO ₃ ⁻	-0,00281183	0%
Cl ⁻	-1,66961291	34%
HCO ₃ ⁻	-2,35192469	48%
Total	-4,90783878	100%

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PARA SUA ADEQUAÇÃO AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO
POSTO ADMINISTRATIVO DE MACARRETANE**

ANEXO 5: Balanço iônico da água subterrânea e superficial

FONTES	Mand. HP & SW	well 1 & RIVER15	well 2 & CANAL15	well 3 & RIVER1	well 4 & RIVER 2	well 5 & RIVER3	HP1 & RIVER	HP2 & CANAL	HP3 & COCOTIVA	HP4	HP5
BI da água subterrânea	10,90188874	6,386669999	7,277241577	6,081253847	7,27314195	10,74719953	8,003239548	11,15257763	8,57051614	11,27953875	10,77143039
BI da água superficial	8,762094355	4,560040003	2,092913045	7,644101844	6,4259957	5,883970417	0,310400517	-0,37892543	0,791196671		