



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DA AGRICULTURA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA HIDRÁULICA ÁGRICOLA E
ÁGUA RURAL

MONOGRAFIA CIENTÍFICA

ESTUDO DA VARIABILIDADE HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO
LEITO SECO DO RIO LIMPOPO E O SEU APROVEITAMENTO NA IRRIGAÇÃO
EM GUIJÁ

Monografia científica apresentada e defendida como requisito para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola Água Rural

Autora: Vânia Florinda Vilanculo

Tutor: Eng° Paulo Sérgio Lourenço Saveca, MSc

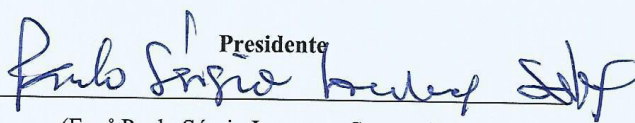
Lionde, Dezembro de 2021

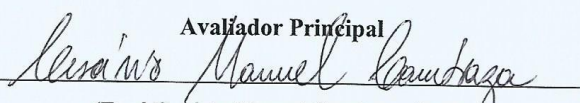


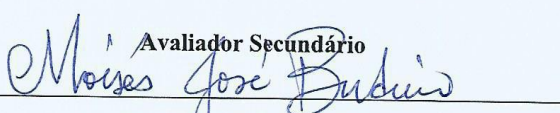
INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia de investigação científica sobre o estudo da variabilidade hidroquímica da água subterrânea no leito seco do rio Limpopo e o seu aproveitamento na irrigação, estudo realizado no leito seco do rio Limpopo no distrito de Guijá, apresentada e defendida ao curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na divisão da Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Monografia de investigação científica aprovada pelos membros do júri:

Presidente

(Eng^o Paulo Sérgio Lourenço Saveca, MSc)

Avaliador Principal

(Eng^o Cesário Manuel Cambaza, MSc)

Avaliador Secundário

(Eng^o Moisés José Buduio)

Lionde, Dezembro de 2021

	Páginas
ÍNDICE	
ÍNDICE DAS FIGURAS	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS.....	vii
DEDICATÓRIA	ix
AGRADECIMENTOS	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos	2
1.1.1. Geral.....	2
1.1.2. Específicos	2
1.2. Problema e justificação	2
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Água subterrânea em Moçambique	4
2.2. Água de recarga	4
2.3. Hidroquímica da água subterrânea.....	5
2.3.1. Ciclo hidrológico.....	5
2.3.2. Ciclo hidrogeoquímico.....	6
2.4. Classificação da água através da composição química de iões predominantes	8
2.4.1. Hidroquímica.....	8
2.4.2. pH.....	8
2.4.3. Temperatura	9
2.4.4. Condutividade eléctrica.....	9
2.4.5. Sólidos totais dissolvidos	9
2.5. Principais constituintes iónicos.....	10
2.5.1. Catiões principais	10
2.5.2. Aniões principais.....	12

2.6. Classificação do tipo de água.....	13
2.6.1. Diagrama de Piper.....	13
2.6.2. Diagrama de Stiff.....	14
2.7. Qualidade de água para irrigação.....	15
2.7.1. A relação entre a qualidade de água e o seu aproveitamento na irrigação.....	15
2.7.2. Classes de água para irrigação	16
2.7.3. Razão de adsorção de sódio	16
2.7.4. Categorias de águas usando a classificação do USSL.....	17
a) Classes de água levando em consideração o risco de salinidade	17
b) Classe de água levando em consideração o risco de sodicidade	17
2.8. Identificação dos processos hidroquímicos dominantes na contribuição da qualidade de água subterrânea.....	18
2.8.1. Processos hidroquímicos	18
2.8.2. Reação hidroquímica em águas subterrâneas.....	18
2.8.3. Relação iônica	19
2.8.4. Classificação química e as suas proporções iônicas.....	19
2.9. Balanço iônico	19
III. MATERIAS E MÉTODOS	21
3.1. Descrição da área do estudo.....	21
3.1.1. Localização da área do estudo	21
3.1.2. Clima.....	21
3.1.3. Relevo, solos e geologia	22
3.1.4. Hidrografia.....	23
3.2. Procedimentos de colecta de amostras.....	24
3.3. Frequência de amostragem	24
3.4. Determinação dos parâmetros físicos – químicos na água	25
3.5. Processamento e análise de dados.....	26

3.6. Classificação da água através da composição química dos iões.....	27
3.7. Qualidade de água o seu aproveitamento para irrigação	27
IV. RESULTADOS	28
4.2. Classificação das amostras de água através da composição química de iões predominantes	28
a) Ordem de abundância dos iões na água	30
b) Classificação química da água através do diagrama triangular de Piper	30
c) Classificação da água através do diagrama de Stiff.....	31
4.3.1. Conductividade eléctrica.....	34
4.3.2. Potencial hidrogenóico.....	34
4.3.3. Sólidos totais dissolvidos.....	35
4.4. Relação entre qualidade de água e o seu aproveitamento na irrigação.....	36
a) Classe da água para o aproveitamento na irrigação	37
4.5. Processos hidroquímicos dominantes na água subterrânea	38
4.5.1. Relações iónicas.....	40
V. DISCUSSÃO	42
5.1. Qualidade dos dados das amostras da água através da composição química de iões predominates	42
5.2. Classificação da água através da composição química de iões predominates	42
a) Classificação através do diagrama triangular de Piper e Stiff.....	44
5.3. Parâmetros directamente proporcional á concentração iónica da água	45
5.4. Relação entre qualidade de água e o seu aproveitamento na irrigação.....	46
5.4.1. Classe da água para o aproveitamento na irrigação	46
5.5. Processos hidroquímicos dominantes na água subterrânea	46
5.5.1. Relação iónica.....	48
VI. CONCLUSÃO.....	49
VII. RECOMENDAÇÕES	50
VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

IX. ANEXOS 55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Restrição do aproveitamento da água para irrigação segundo os riscos associados	15
Tabela 2: Limites da relação de absorção do sódio	16
Tabela 3: Classificação da água utilizado o diagrama da RAS	18
Tabela 4: Classificação química e as suas proporções iônicas	19
Tabela 5: Matriz de correlação da água subterrânea, as propriedades químicas e as suas concentrações iônicas.....	39
Tabela 6: Matriz de correlação da água superficial suas propriedades químicas e as concentrações de iões.....	39
Tabela 7: Valores médios de relações iônicas entre Mg/Ca;Na/Cl & STD.....	40
Tabela 8: Limites aceitáveis em água superficial	43
Tabela 9: Limites aceitáveis em água subterrânea.....	43
Tabela 10: Classificação da água segundo os STD	55
Tabela 11: Valores dos parâmetros físico-químicos das amostras de água.....	55
Tabela 12: Concentração dos elementos químicos presentes na água subterrânea e superficial na área do estudo.....	55
Tabela 13: Resultado do calculo da RAS para fontes hídricas	55
Tabela 14: Identificação de processos hidroquímicos dominantes na contribuição da qualidade de água segundo seus respectivos rácios iônicos	56
Tabela 15: Valores da estatística descritiva em água subterrânea	57
Tabela 16: Valores da estatística descritiva em água superficial.....	57

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1: Ciclo hidrológico	6
Figura 2: Ciclo hidrogeoquímico	7
Figura 3: Diagrama de Piper	13
Figura 4: Diagrama de Stiff	14
Figura 5: Mapa da localização da área do estudo	21
Figura 6: Mapa da geologia do distrito de Guijá	23
Figura 7: Localização dos poços de monitoria da qualidade de água subterrânea no leito seco do rio Limpopo.	24
Figura 8: Materias e instrumentos usados para a medição dos parâmetros físico-químicos durante realização do estudo, a) Sonda eléctrica; b) conductivímetro; c) ilustração da configuração dos poços de monitoria da qualidade da água.	25
Figura 9: Ilustração do resultado do cálculo do balanço iónico de amostras de água	28
Figura 10: Variação da concentração média dos parâmetros hidroquímicos na água superficial e subterrânea.	30
Figura 11: Diagrama de Piper para a classificação da água através da composição química de iões predominantes.....	31
Figura 12: Diagrama de Stiff para a classificação em termos da composição química dos iões predominante.....	32
Figura 13: Ordem de abundância de iões em água superficial (a, b) e em água subterrânea (c, d).	33
Figura 14: Resultado de valores médios da CE em fontes hídricas	34
Figura 15: Resultado de valores médios de pH em fontes hídricas	35
Figura 16: Resultado de valores médios de STD em fontes hídricas	36
Figura 17: Resultado da RAS no aproveitamento da água p'ra a irrigação.....	37
Figura 18: Resultado das classes de água no diagrama utilizado para relacionar a água para o aproveitamento na irrigação.	38
Figura 19: Ilustração do resultado de relação iónica STD.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

BI	Balanço iónico
C1	Classe de água de baixa salinidade
C2	Classe de água de média salinidade
C3	Classe água de alta salinidade
C4	Classe água de muito alta salinidade
Ca ²⁺	Ião Cálcio
CE	Condutividade eléctrica
Cl ⁻	Ião Cloreto
DNG	Direcção Nacional de Geologia
FAO	Food and Agricultural organization
HCO ₃ ⁻	Ião Bicarbonato
NO ₃ ⁻	Ião Nitrato
MAE	Ministério de Administração Estatal
Mg ²⁺	Ião Magnésio
mg/L	Miligramas por litro
Na ⁺	Ião Sódio
pH	Potencial hidrogenónico
RAS	Razão de absorção de sódio
SO ₄ ²⁻	Ião Sulfato
S1	Classe de água de baixa sodicidade
S2	Classe de água de média sodicidade
S3	Classe de água de alta sodicidade
S4	Classe de água de muito alta sodicidade
STD	Sólidos totais dissolvidos
T°C	Temperatura;
USSL	United states salinity laboratory
WISH	Windows Interpretations System for hidrogelologists



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DA AGRICULTURA

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso (TCC) é resultado da minha investigação pessoal e da orientação do meu tutor, 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 académico.

Lionde, 16 de Setembro de 2022
Vânia Florinda Vilanculos
(Vânia Florinda Vilanculos)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha mãe Florinda Saiela Vilanculos. Pois, me lembro de todo esforço e sacrifício que foi feito para que eu pudesse estudar. No entanto, foram muitas luas perdidas e cheias de incertezas, contudo prometo a mim mesma que apesar das dificuldades enfrentadas não mediria esforços para alcançar a mais esperada conquista. E hoje podemos afirmar que valeu apenas o esforço. Nunca conseguiria sem o apoio incondicional da minha família. Esperando que este sirva de inspiração para meu sobrinho Cleyton Vilanculos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo fôlego da vida, sua força física e sobrenatural para a realização do trabalho. E pelas oportunidades concedidas a minha pessoa.

Agradeço em especial aos meus familiares por me apoiarem em todos os aspectos principalmente em recursos financeiros e em todos meios que julguei necessários para a realização de mais uma etapa rumo a minha formação. Além da paciência e o apoio incondicional quando eu achei que todo estivesse perdido.

Exprimo meus sinceros agradecimentos ao meu tutor, Eng^o Paulo Sérgio Lourenço Saveca MSc, pela sua especial atenção, contribuições técnicas desde a formulação do tema e durante desenvolvimento do trabalho. Pelo incentivo, confiança, compreensão e por todos os ensinamentos transmitidos que levarei comigo é que serão muito importantes para toda a vida.

A todos docentes agradeço, em particular aos da Faculdade da Agricultura, no curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural, pelos conhecimentos transmitidos durante toda a minha formação.

Aos meus colegas do curso no geral que directa ou indirectamente apoiaram-me para a materialização deste sonho.

E por fim agradeço a todos aqueles que no momento não me permite lembrar, por ser impossível mencionar seus nomes, mais que participaram de alguma forma ao longo do meu percurso.

O MEU MUITO OBRIGADA.

RESUMO

A água subterrânea que ocorre nos sedimentos aluvionares das regiões semi-áridas, mostra-se de vital importância devido as suas variáveis hidroquímicas bem como a sua respectiva característica iônica. O presente trabalho é resultado de uma pesquisa realizada no distrito de Guijá, com o objectivo de estudar a variabilidade hidroquímica da água subterrânea que ocorre no leito do rio Limpopo e seu aproveitamento na irrigação agrícola. Num período de quatro (04) meses de Novembro a Fevereiro foram colectadas (06) seis amostras de água, das quais três (03) de água subterrânea a uma profundidade de 7.60 m, e as restantes três (03) de água superficial em locais previamente georeferenciados. A análise e interpretação dos parâmetros hidroquímicos e a categorização das classes de água foi feito através do uso combinado do programa WISH 3.02, com rácios iónicos e análises gráficas como o diagrama de Piper e de Stiff. Da análise dos parâmetros físicos-químicos, os resultados mostraram que todos os valores das concentrações iónicas estiveram dentro dos limites aceitáveis em padrões de qualidade de água para irrigação. Na água subterrânea e superficial obtiveram-se os seguintes valores médios: 51.82 e 18.88 mg/L (Na^+); 46.99 e 37.44 mg/L (Ca^{2+}), 28.33 e 18.48 mg/L (Mg^{2+}); 3.66 e 3.50 mg/L (K^+); 75.66 e 16.32 mg/L (Cl^-), 199.09 e 168.85 mg/L (HCO_3^-); 34.84 e 6.15mg/L (SO_4^{2-}); 344.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 624 $\mu\text{S}/\text{cm}$; (CE) 271mg/L e 441mg/L (STD); 7.10 e 7.95 (pH), respectivamente. A classificação da classe hidroquímica demonstrou que em ambas as fontes (superficial e subterrânea), a água é do tipo bicarbonatada cálcica ($\text{Ca}/\text{Mg}-\text{HCO}_3$) indicando maior predominância dos iões bicarbonato e cálcio. A ordem de abundância observada em catiões foi tipo do misto Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ enquanto que a dos aniões $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$. Em relação a qualidade de água e respectivo aproveitamento para irrigação, a água foi classificada em duas (02) classes C1S1e C2S1. Esta água por apresentar $\text{RAS} < 10\text{meq}/\text{L}$ pode ser usada para irrigar maior parte de hortícolas e alguns cereais (Milho), havendo necessidade de observância de boas práticas de manejo de solo-planta-água.

Palavras-chaves: Hidroquímica, água subterrânea, leito seco, irrigação agrícola.

ABSTRACT

The groundwater that occurs in alluvial sediments of semi-arid regions is of vital importance due to its hydrochemical variables as well as its respective ionic characteristic. The present study is the result of a research carried out in the district of Guijá, with the aim of studying the hydrochemical variability of groundwater that occurs in the Limpopo riverbed and its use in agricultural irrigation. In a period of four (04) months from November to February, six (06) water samples were collected, of which three (03) were groundwater at a depth of 7.60 m, and the remaining three (03) were surface water at sites previously georeferenced. The analysis and interpretation of hydrochemical parameters and the categorization of water classes was through the combined use of the WISH 3.02 program, with ionic ratios and graphical analysis such as the Piper and Stiff diagrams. From the analysis of the physical-chemical parameters, the results show that all ionic concentration values were within acceptable limits in irrigation water quality standards. In groundwater and surface water, the following values were obtained: 51.82 and 18.88 mg/L (Na^+); 46.99 and 37.44 mg/L (Ca^{2+}), 28.33 and 18.48 mg/L (Mg^{2+}); 3.66 and 3.50 mg/L (K^+); 75.66 and 16.32 mg/L (Cl^-), 199.09 and 168.85 mg/L (HCO_3^-); 34.84 and 6.15 mg/L (SO_4^{2-}); 344.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 624 $\mu\text{S}/\text{cm}$; (EC) 271 mg/L and 441 mg/L (STD); 7.10 and 7.95 (pH), respectively. The classification of the hydrochemical class showed that in both sources (surface and underground), water is of the calcium bicarbonate type (Ca/Mg- HCO_3), indicating a greater predominance of bicarbonate and calcium ions. The order of abundance of cations observed was of the mixed type (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and K^+) while that of the anions $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$. Regarding water quality and its use for irrigation, the water was classified into two (02) classes C1S1 and C2S1. This water, by presenting $\text{RAS} < 10 \text{ meq}/\text{L}$, can be used to irrigate most vegetables and some cereals (Maize), requiring the observance of good soil-plant-water management practices.

Keywords: hydrochemistry, groundwater, dry bed, agricultural irrigation.

I. INTRODUÇÃO

A água doce proveniente do subsolo é um recurso natural com grande importância estratégica no desenvolvimento sustentável de uma região. Este recurso torna essencial para a garantia da manutenção da vida biológica, devido principalmente a sua qualidade natural, uma vez que a água superficial está sendo cada vez mais poluída, além da sua distribuição desigual em algumas regiões do globo (MELO, 2014). Assim, os recursos hídricos subterrâneos são elementos intrínsecos ao ciclo hidrológico e os conhecimentos das suas características hidroquímicas são fundamentais para compreensão das variáveis em relação ao meio circulante (LUIZ, *et al.*, 2017).

Para SILVA *et al* (2014), a qualidade da água subterrânea geralmente é boa, porém ao infiltrar-se e percolar nos espaços vazios de sedimentos rochosos, intensifica a interação e o enriquecimento de teor de sais dissolvidos. Estes processos hidrológicos ocorrem porque a água é um solvente natural químicamente muito activo capaz de reagir com o meio percolante, incorporando substâncias orgânicas e inorgânicas, também com a capacidade de dissolução muito elevada.

No entanto, a composição química da água subterrânea têm-se mostrado uma relação directa de diversos factores tais como: tipo de rocha, o pH, a pressão parcial dos gases dissolvidos, a temperatura da água, o clima da região, a composição inicial da água na zona de recarga, o tempo de residência a velocidade do fluxo subterrâneo o tipo de sistema do fluxo hidrogeológico e as actividades antropogênicas (FEITOSA *et al.*, 2008; ALVES *et al.*, 2014; SILVA & MIGLIORINI, 2014). Nesse sentido, a hidroquímica fornece informações sobre a variação dos elementos, sua evolução espacial e temporal em sistemas hídricos, a partir de análises das principais variáveis físico-químicas, e que os seus resultados são a expressão dos processos químicos, físicos e biológicos que reagem ao meio aquático e que ajudam a caracterizar os aquíferos OLIVEIRA *et al.*, (2014); MESTRINHO, (2005). Portanto, a análise da água subterrânea e superficial são necessárias para ajudar a compreender o tipo de interação entre as fontes hídricas, incluindo as diferentes variações hidroquímicas por onde a água percola. Em regiões semi-áridas, devido á alta variabilidade espacial e temporal na distribuição da precipitação, a recarga dos aquíferos fica limitada. Este facto propício pouco rejuvenescimento da água, favorecendo a transformação e evolução da qualidade de água nos aquíferos dependendo do tipo de regime do fluxo de água local, intermitente e regional.

Estudos hidroquímicos realizados por SAVECA (2016) mostraram que a qualidade de água subterrânea apresenta-se com um alto grau de mineralização na extensão de Chókwè. Apesar

do distrito de Guijá apresentar as mesmas características agroclimáticas e hidrogeológicas dominantes em relação ao distrito de Chókwè, pouco se sabe sobre a qualidade de água subterrânea e sua adequação para a irrigação agrícola. Um estudo realizado por COSSA (2019) mostra que a qualidade de água subterrânea no leito seco em Guijá é boa, mas desconhece-se da sua variabilidade hidroquímica. Do outro lado um CHAMBAL (2020) evidenciou que em Chókwè, no leito seco do rio Limpopo a variabilidade hidroquímica adequa-se ao uso da água na irrigação agrícola. Desta feita, fica assim, evidente a necessidade de-se realizar um estudo hidroquímico no leito seco do rio Limpopo em Guijá, afim, de produzir informação científica que possa contribuir para um melhor esclarecimento de forma mais consciente e racional sobre o uso da água subterrânea para irrigação em períodos de escasses hídrica.

Assim sendo foi proposto o presente estudo com a finalidade de estudar a variabilidade hidroquímica da água subterrânea e o aproveitamento da água para irrigação de pequena escala, com o principal enfoque nos parâmetros físico-químicos e sua relevancia na contribuição da qualidade da água subterrânea.

1.1. Objectivos

1.1.1. Geral

- ❖ Estudar a variabilidade hidroquímica da água subterrânea no leito seco do rio Limpopo e o seu aproveitamento na irrigação em Guijá.

1.1.2. Específicos

- ❖ Identificar os processos hidroquímicos dominantes na contribuição da qualidade de água subterrânea;
- ❖ Classificar a água subterrânea através da composição química de iões predominates;
- ❖ Relacionar a qualidade de água subterrânea e o seu aproveitamento na irrigação.

1.2. Problema e justificação

A maior parte das regiões semiáridas, como é o caso de alguns distritos da província de Gaza particularmente no distrito de Guijá, que é ponto focal do estudo é caracterizada por altas temperaturas, baixo índice pluviométrico (400-500 mm/ano), distribuição irregular das chuvas ao longo de todo o ano hidrológico e a elevada evapotranspiração (1600-2600 mm/ano), devido á sua localização geográfica (FERRO e BOUMAN 1987). Em função a estas características hidrológicas, a disponibilidade de água superficial é muito variável e é limitada, apenas em poucos meses após as chuvas fortes que causam escoamento significativo assim como cheias. Na maior parte do ano, o leito do rio Limpopo apresenta-se

completamente seco, colocando em risco e em situações de incerteza a prática de agricultura irrigada. Este cenário não só deixa os pequenos agricultores que praticam a agricultura irrigada como também os outros em regime de sequeiro numa situação vulnerável devido em parte a falta de chuva, associado com o facto de que a água subterrânea da região não é adequada para irrigação. Em regime experimental, no âmbito do projecto Arid african Alluvial Aquifers (A4labs), foram realizados estudos no leito seco do distrito de Chokwe e Guijá por ATTOUMANE, (2018); GUJAMO, (2019); COSSA, (2019) e CHAMBAL (2020). Ambos os autores, concluíram que há ocorrência de água subterrânea de boa qualidade e em quantidades suficientes para o uso da irrigação agrícola. Apesar de ter ficado claro e evidente que o leito seco do rio Limpopo proporciona boas condições hidrogeológicas para o armazenamento de água subterrânea em quantidades suficientes, pouco se conhece sobre a variabilidade hidroquímica da mesma e sua adequação para a irrigação agrícola. A falta deste conhecimento condiciona o uso da água subterrânea no leito seco, sob a pena de ocorrerem riscos de salinização assim como a deterioração da estrutura física do solo caso seja aplicada na produção de culturas. Existem também poucos estudos e conhecimento no que concerne ao comportamento da variação hidroquímica e da qualidade de água no leito seco do rio Limpopo em Guijá para o aproveitamento na agricultura em pequena escala. Dai que, há uma grande necessidade de estudar a hidroquímica da água subterrânea, por forma a identificar a classe de água de rega e possível variabilidade da qualidade de água na relação água-planta-solo.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Água subterrânea em Moçambique

No estudo realizado por FEITOSA *et al* (2008), mencionam que a água subterrânea é toda aquela que circula invisivelmente pelo subsolo da terra e se acumula formando os aquíferos preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, fracturas, falhas fissuras das rochas compactas desempenhando assim um papel essencial na manutenção da humidade do solo e de fluxo dos rios. Por outro lado FILHO *et al.*,(2011) mencionam os aquíferos como camadas de solo ou de rocha na qual a água ocupa a totalidade dos espaços vazios (poros) no subsolo portanto, saturando-os e circulando de tal maneira que possa ser extraída de forma económica por algum tipo de estrutura (poços, furos) em quantidade suficiente para atender a algum uso ou demanda.

Em Moçambique, foi projectado o uso da Carta Hidrogeológica para o entendimento em relação a água subterrânea. Este por sua vez constitui um documento didáctico de água subterrânea em Moçambique. Contudo essa descrição sobre a água subterrânea em Moçambique é baseada principalmente, nos resultados obtidos na elaboração de Notícias Explicativas da Carta Hidrogeológica de Moçambique na escala 1:1000000. A carta hidrogeológica de Moçambique evidencia a escassez de recursos em águas subterrânea de qualidades aceitáveis no território nacional. Cerca de 80% compreende formações do domínio C, correspondentes à maior parte do complexo de base, aos terrenos vulcânicos pelo menos 40% das bacias sedimentares. Sendo que, 40% dos aquíferos das bacias sedimentares contêm águas salobras, podendo com isso concluir que apenas 17% da superfície do País dispõem de águas subterrâneas, cujos caudais e mineralização previstos se situam entre 3m³/h e abaixo de 1500mg/L respectivamente.

2.2. Água de recarga

Na Pesquisa desenvolvida por PINA, (2009) indica que a recarga de água subterrânea pode definir-se de forma muito sintética, como o volume de água de infiltração que atinge a zona saturada de um aquífero e que estes processos de recarga de água subterrânea ocorrem normalmente na zona não saturada a uma profundidade superior a de zona de influência das raízes das plantas, e que podem estar relacionados com processos naturais como a infiltração da água da chuva, água superficial (rios), água de rega, ou a transferência de água entre diferentes níveis de aquíferos conectados hidráulicamente. Em geral, a água subterrânea é recarregada pela água da chuva, água de irrigação, água dos rios, água residual ou por

combinação das mesmas, porém cada uma destas contém com a sua própria composição química AZEVEDO,(2012). Ainda na fundamentação teórica do mesmo autor, a composição depende das condições meteorológicas e da sua distância em relação ao do mar. Perto do mar encontram-se substâncias com conteúdo de sais mais alto. Também os valores de alguns parâmetros medidos na água de chuva podem ser aumentados pela poluição do ar, se a água da chuva recarregar a água subterrânea, parte das substâncias dissolvidas são derivadas dos aerossóis depositados nas árvores e na superfície da terra. A própria composição da água de cada rio, depende da sua bacia. Em geral os conteúdos das substâncias dissolvidas em água dos rios são maiores do que na água da chuva, água de irrigação proveniente dos rios terá as mesmas características ou mineralização maior pela evaporação durante o transporte. Devido ao facto da captação para a água da irrigação depender de estações, têm que se considerarem as flutuações pelo tempo na qualidade de água do rio. Percolando para a água subterrânea, a água de irrigação terá fertilizantes residuais e outros compostos químicos usados na agricultura na área da rega.

2.3. Hidroquímica da água subterrânea

A hidrogeologia é um dos ramos da hidrologia que estuda o movimento, volume, distribuição, e qualidade das águas subterrâneas. O ramo da hidrogeologia que trata da caracterização e migração das substâncias químicas presentes na água subterrânea é denominado hidroquímica. De acordo SILVA (2011), a hidroquímica fornece informações sobre a distribuição dos elementos e sua evolução espacial e temporal em sistemas hídricos, a partir de análises das principais variáveis físico-químicas. Os padrões hidroquímicos são a principal ferramenta para a classificação e a caracterização da qualidade da água subterrânea, elas elucidam o resultado das interações entre os recursos hídricos e o ambiente de circulação. Na ordem de ideia MESTRINHO (2005), a hidroquímica relaciona-se ao tipo de rocha e clima, ainda deve ser considerada a influência do relevo, vegetação, tempo de contacto rocha-água e as condições hidrológicas locais.

2.3.1. Ciclo hidrológico

Quase toda a água subterrânea existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico. O sistema pelo qual a natureza faz água circular do oceano para a atmosfera e daí para os continentes, onde retorna superficialmente e subterraneamente para o oceano. Este ciclo é governado no solo e no subsolo pela acção da gravidade bem como pelo tipo e pela densidade da cobertura

vegetal, e na atmosfera pelas superfícies líquidas (rios, lagos, mares e oceano), pelos elementos e pelos factores climáticos como, por exemplo: temperatura do ar, ventos, humidade relativa do ar, insolação que são os responsáveis pelos processos de circulação de água dos oceanos para a atmosfera (FILHO 1994).

O ciclo hidrológico representado pela na Figura 1 é um modelo que permite visualizar a circulação da água e a humidade global na crosta terrestre. Segundo MESTINHO (2005), afirma que o ciclo teoricamente é considerado fechado, não possuindo inicio ou fim. Conceitualmente, o ciclo se inicia pelas águas dos oceanos que a sua irradiação solar evapora, passando para a atmosfera como parte das nuvens. Segundo FILHO (1994) menciona que ao condensar a humidade retorna sob a forma de chuva, granizo, neve, orvalho e geada, sendo considerado como água meteórica. Essas precipitações, ao atingirem uma determinada bacia fluvial, infiltrando-se através do solo, constituem a fonte de renovação de seus recursos de água. A humidade é evaporada diretamente ou então usada pela vegetação e posteriormente retorna a atmosfera. Parte dessa água cai diretamente sobre os oceanos e cursos de água. Outra parcela fica retida no solo, infiltrando-se em maior ou menor quantidade em função das características deste e da vegetação.

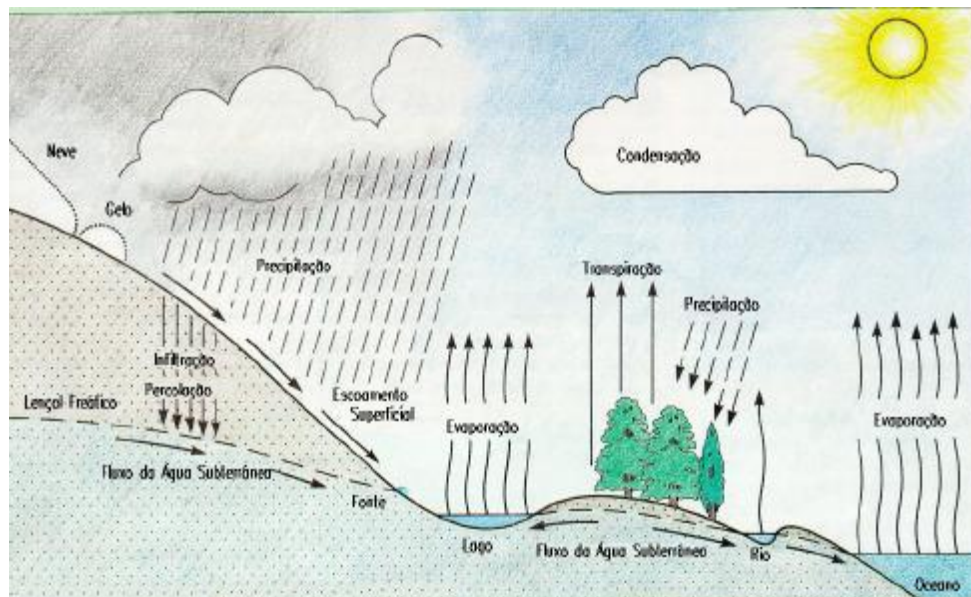


Figura 1: Ciclo hidrológico
Fonte: FILHO (1994)

2.3.2. Ciclo hidrogeoquímico

Segundo FEITOSA *et al.*, (2008) o estudo hidrogeoquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e os constituintes químicos presentes na água

subterrânea, procurando estabelecer uma relação com o meio físico rochoso. Os processos e factores que influenciam na evolução da qualidade da água subterrânea podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. A água subterrânea tende a aumentar a concentração de substâncias dissolvidas a medida que percola em diferentes aquíferos, mais outros factores interferem, tais como: o clima, a composição da água da recarga, o tempo de contacto/meio físico entre outros, além da contaminação antrópica. Por outro lado MESTRINHO (2005) menciona que os principais componentes do Ciclo hidrogeoquímico como ilustra a (Figura 2), estão relacionados por uma complexa sequência de processos e reacções que ocorrem entre os domínios litogénico, biogénico e climático. A composição química da água subterrânea, inicialmente, depende da colocação atmosférica; em seguida é comandada pela infiltração da água do solo e das reacções biogeoquímicas, entre as fases sólida, líquida e gasosa da zona não saturada, evoluem com o resultado da interacção água-rocha e das características da zona saturada. Sendo os silicatos, carbonatos, sulfatos e cloretos os principais minerais formadores das rochas, os iões predominantes naturalmente encontrados nas águas são: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} e HCO_3^- . O conhecimento destes processos é de fundamental importância para a interpretação dos processos físico-químico-bioquímicos, que resultam em factores tecnológicos limitantes de utilização das águas subterrâneas.

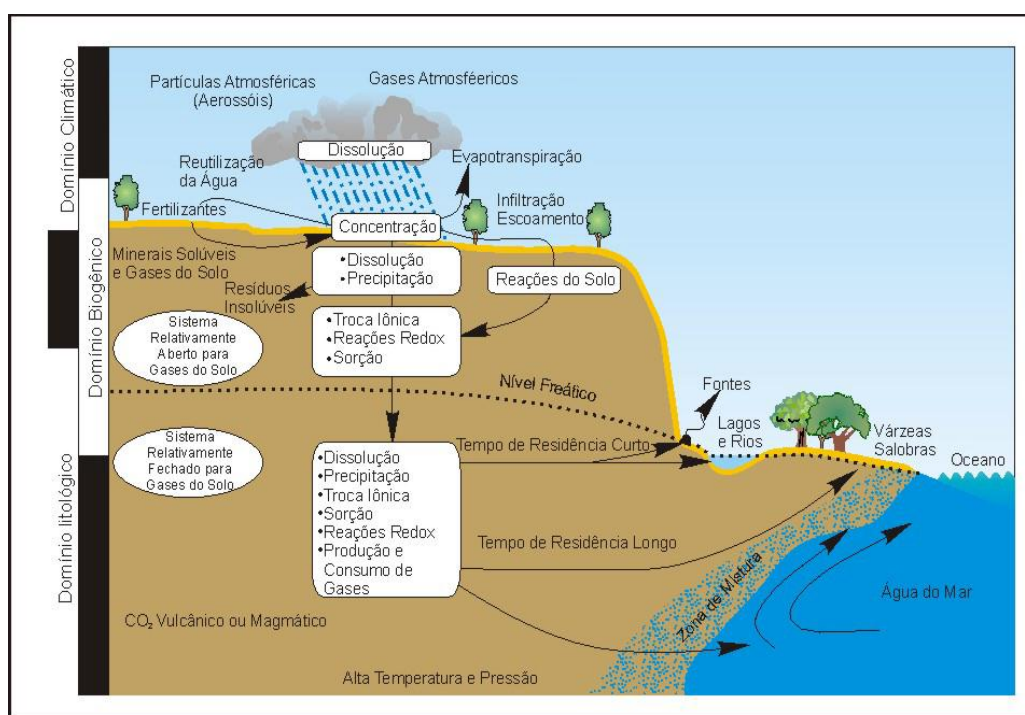


Figura 2: Ciclo hidrogeoquímico
Fonte: MESTRINHO (2005)

2.4. Classificação da água através da composição química de iões predominantes

A classificação da água através da composição química de iões predominantes foi feita através da hidroquímica dos parâmetros físico - químicos analisados. Segundo BARROSO *et al.* (2010), afirma que a avaliação dos parâmetros físico – químicos fornecem uma ideia de conceito qualidade de água subterrânea referentes as suas características que podem afectar o seu aproveitamento para o uso específico em um determinado local.

Segundo CELLIGOI, (2011) menciona que é necessário saber, inicialmente a finalidade a que se destinam as análises a serem realizadas, pois os parâmetros a analisar não são os mesmos dependendo da finalidade. Neste caso os parâmetros a analisar para o aproveitamento da água para irrigação estão descritos abaixo:

2.4.1. Hidroquímica

O estudo hidroquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e os constituintes químicos presentes na água, procurando estabelecer uma relação com o meio físico, (MANASSES 2009). Para um melhor entendimento na presente pesquisa sobre estudo o variabilidade hidroquímica da água subterrânea e o seu aproveitamento na irrigação em Guijá. Os parâmetros físicos e químicos necessários para o alcance dos objectivos estão mencionados a seguir:

2.4.2. pH

Segundo SILVA (2015) o termo pH (potencial hidrogênionico) é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de iões de hidrogênio nessa solução. A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade que é essencialmente controlado por reacções químicas e por equilíbrio entre os iões presentes na água em função do gás carbónico e da alcalinidade. Analisando a fundamentação teórica MARION *et al.*,(2007) menciona que a alcalinidade da água e capacidade de neutralização de um ácido sendo que a alcalinidade não significa necessariamente que o pH do meio deve ser superior a 7. A água subterrânea com pH abaixo de 7 pode conter alguns sais que neutralizam ácidos e portanto, ter alguma alcalinidade mensurável. Segundo ALVES *et al.*,(2014) mencionam que os iões carbonato e bicarbonato contribuem para a alcalinidade da água. No caso da água para irrigação o pH normal situa-se

entre 6.5 a 8.4 vale ressaltar que, a maioria da água subterrânea tem um pH entre 5.5 a 8.5 em casos excepcionais pode variar de 3 a 11 (SILVA & MIGLIORINI, 2014).

2.4.3. Temperatura

Em relação a temperatura da água, ela é importante por acelerar reacções químicas e reduzir a solubilidade dos gases, bem como acentuar sabores e odor das águas naturais. No geral a água subterrânea apresenta pequena variação térmica, pois a sua temperatura não é influenciada pela mudança da temperatura atmosférica. Existem excepções nos aquíferos freáticos pouco profundos em que, em profundidades maiores a temperatura de água sofre influência do grau geotérmico local em média 1°C/cm (CERQUEIRA, 2014).

2.4.4. Condutividade eléctrica

Segundo CERQUEIRA, (2014) afirma que a condutividade eléctrica é um parâmetro físico-químico que mede a capacidade da água para conduzir corrente eléctrica, em função da concentração iónica em solução e da temperatura, sendo por isso os resultados das medições normalmente referidos a uma temperatura padrão de 20 ou 25 °C. Analisado o trabalho desenvolvido pelo OLIVEIRA *et al.*, (2014) na pesquisa realizada BEZERRA *et al.*, (2018), menciona que essa habilidade que a CE tem é resultante da presença de catiões e aniões oriundos de substâncias dissolvidas ou em suspensão que se dissociam na água. Portanto, em água subterrânea os valores da condutividade eléctrica são normalmente usados como indicadores do grau de mineralização.

2.4.5. Sólidos totais dissolvidos

Na fundamentação teórica segundo MORAIS, *et al.*, (2015) afirmam que os sólidos totais dissolvidos são a soma dos teores de todos os constituintes (minerais) presentes na água, é que representam a concentração de todo material dissolvido na água, volátil ou não. Esses teores possuem relação direta com a composição mineralógica da rocha-reservatório e com o tempo de percolação e residência das águas subterrâneas no interior do sistema. Embora a água subterrânea seja uma excelente fonte de água na irrigação, nem sempre apresenta qualidade necessária. Dentre a característica que limita seu uso para irrigação está, por exemplo, a concentração de (STD), que é soma de todos os constituintes minerais presentes na água, podendo ser obtida através da conductividade eléctrica. FEITOSA *et al.*, (2008) na pesquisa realizada MORAIS *et al.*, (2015) afirmam que na maioria das águas subterrâneas

naturais a CE da água multiplicada por um factor que varia entre 0,58 a 0,75 gera uma boa estimativa de STD na água. No estado natural, a água apresenta condutividade elétrica diretamente proporcional a quantidade de iões dissolvidos (STD). Basta, porém, uma pequeníssima quantidade de material dissolvido para torná-la condutora, com componentes dissociados sob a forma de catiões e aniões. Quanto mais iões presentes na água, maior será a condutividade elétrica da água. Este parâmetro está diretamente ligado à concentração iónica, carga elétrica, estado de dissociação e da mobilidade dos iões. A resolução CONAMA 20/1986 citado pelo CERQUEIRA (2014) classifica as águas, com base nos valores estimados dos STD, em doces solobras ou salgados segundo os critérios de classes. Classe de águas doces 0-500 mg/L, Classe de águas salobras 500-30000 mg/L, Classes de águas salgadas > 30000 mg/L.

2.5. Principais constituintes iónicos

Segundo FEITOSA *et al.*, (2008) a composição química da água subterrânea é determinada pela natureza geológica do solo. A água que circula em substratos arenosos ou graníticos é ácida e possui menos minerais já a água que circula em solos argilosos ou siltosos é alcalina e contém bicarbonatos.

2.5.1. Catiões principais

Segundo FEITOSA *et al.*, (2008), menciona que em qualquer água independente de ser doce ou salgada, potável e mineral tem que ter o equilíbrio iónico, para que a mesma tenha a estabilidade química. Em água subterrânea, a grande maioria das substâncias dissolvidas encontram-se no estado iónico (catiões e aniões). Toda a fundamentação teórica referente a informação relativa aos catiões e aniões principal estão comentados a abaixo:

a) Cálcio (Ca^{2+})

Representa um dos principais elementos responsáveis pela dureza na água. É amplamente distribuído em rochas e solos. As fontes geológicas são muitas, tendo como exemplos anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e calcita (CaCO_3), os iões de cálcio possuem de moderado a elevada solubilidade, normalmente se precipita como carbonatos de cálcio, responsável pela dureza da água que é uma das principais constituintes da mesma, pois lhes confere sabor salgado em concentrações acima de 70mg/L, e apresentam-se em geral sob a forma de bicarbonatos e raramente como carbono, e como um dos elementos mais abundantes do planeta pois ocorrem

em minerais como calcita, aragonita, dolomita e nas rochas calcárias. Os teores de cálcio nas águas subterrâneas variam em geral de 10- 100 mg/L (FEITOSA *et al.*, 2008).

b) **Magnésio (Mg^{2+})**

O Magnésio apresenta características químicas muito semelhantes ao cálcio, porém é mais solúvel e é mais difícil de precipitar quando comparado ao cálcio, apresenta teores maiores geralmente no intervalo que variam 1-70 mg/L é que também é responsável pela dureza na água. Geralmente ocorrem na forma de bicarbonatos e têm como a principal fonte as rochas carbonatadas (minerais; Magnesita, biotita, granada, hornblenda, clorita, allanita e olivina). Um exemplo de mineral fonte é a biotita $[K (Mg, Fe)3AlSi_3O_{10}(OH)_2]$, como é responsável pela dureza produzem gosto salobro em águas subterrâneas apresentam teores entre 1-40 mg/L nas águas subterrânea (FEITOSA *et al.*, 2008).

c) **Potássio (K^+)**

O potássio 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 dissolvidos pelos minerais de argila e de seus sais serem absorvidos é utilizado pelos vegetais. Possui normalmente concentrações mais baixas nas águas quando comparadas com as de cálcio e magnésio. Exemplos de minerais fontes são feldspatos potássicos como microclina ($KAlSi_3O_8$) e o ortoclásio, os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10mg/l sendo mais frequentes valores 1-5 mg/L (FEITOSA *et al.*, 2008).

d) **Sódio (Na^+)**

O sódio é um metal alcalino mais importante e abundante nas águas subterrâneas, possui ampla distribuição nos minerais que o contém. A solubilidade elevada e de difícil precipitação quando em solução, ocorre nas águas subterrâneas geralmente na forma de cloretos, tendo como minerais fontes os plagioclásicos, feldspatoides, anfíbolios e piroxenios. Em geral ocorrem com um aumento gradativo de teores de sódio nas áreas de recarga, em direcção as porções mais confinadas até as áreas de descargas. Em geral as porções variam de 1 a 150 mg/L e em teores elevados são prejudiciais as plantas e por reduzir a permeabilidade do solo (FEITOSA *et al.*, 2008).

2.5.2. Aniões principais

e) Cloretos (Cl⁻)

Os cloretos estão presentes em quase todas as águas e normalmente estão associado ao sódio, suas principais características são alta solubilidade, muito estável em solução e dificilmente se precipitam, a alta solubilidade é o lento movimento da água subterrânea que provocam um aumento gradativo de cloretos em de áreas de recarga, em direcção das áreas de descarga, as águas subterrâneas geralmente apresentam teores inferiores a 100mg/L todas as águas naturais com valores situados entre 10-250mg/L, nas águas subterrâneas apresentam geralmente teores de cloretos inferiores a 100mg/L, minerais fontes de cloro são halita (NaCl) e silvita (FEITOSA *et al.*,2008).

f) Sulfatos (SO₄²⁻)

O sulfato é um componente importante na interpretação da qualidade da água, em grandes quantidades podem indicar em determinadas situações contaminação por esgotos domésticos, industrial ou prática de agricultura. São sais moderadamente a muito solúveis, excepto sulfatos de estrôncio e de bário. A presença de sulfato nas águas está relacionada à oxidação de sulfetos nas rochas e a lixiviação de compostos sulfatados como gipsita e anidrita e podem ocorrer naturalmente em grandes quantidades na água subterrâneas como resultado da oxidação de minerais contendo enxofre. Contudo a sua concentração média em águas subterrâneas apresentam geralmente teores inferiores a 100 mg/L (FEITOSA *et al.*,2008).

g) Bicarbonatos (HCO₃⁻)

Os iões de bicarbonatos não se oxidam nem se reduz em águas naturais, porém podem precipitar com muita facilidade como bicarbonatos de cálcio, variam entre 50-350 mg/L em águas doces, podendo chegar a 800mg/L, são benéficos aos vegetais principalmente na forma dos bicarbonatos de cálcio. O bicarbonato pode resultar na dissolução de fedspatos sódicos e calcários (FEITOSA *et al.*,2008). Podendo precipitar com certa facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO₃), mas estes iões não sofrem oxidação e nem redução nas águas naturais. Segundo Logan (1965) o bicarbonato predomina sobre o carbonato na faixa de pH de 6 a 10.

h) Série de nitrogénio

O nitrogénio ocorre em diversas formas em estados de oxidação. No meio aquático pode ser encontrado nas seguintes formas: Nitrogênio orgânico (NO)→ Nitrogénio amoniacal (NH₃)→ Nitrito (NO₂⁻) → Nitrato (NO₃⁻), sendo o nitrato é muito solúvel e dificilmente

precipita, trata-se de um íon de grande mobilidade sendo facilmente movido pelas camadas superiores do solo para as águas subterrâneas ocorre geralmente em pequenas concentrações representado o estágio final da oxidação da matéria orgânica, teores acima de 5mg/L pode indicar contaminação por esgotos, fossas sépticas. Aterros sanitários, cemitérios, adubos dentre outros resíduos, em água subterrâneas não poluídas geralmente apresentam teores entre 0.1 -10 mg/L (FEITOSA *et al*,2008).

2.6. Classificação do tipo de água

A classificação da água é feita com base nas espécies mais abundantes, dentre os seus principais constituintes, o cátion ou anião que perfaz mais de 50% do conteúdo iônico total. A Classificação da água de acordo com a sua espécie predominante, ou pelo cátion e anião que predomina quanto a várias espécies se apresenta com concentrações iguais a água exibe uma tipologia química mista, e é denominada de fácies hidroquímica (FEITOSA *et al* ,2008).

2.6.1. Diagrama de Piper

O diagrama Piper (Figura 3) é utilizado para classificar os distintos grupos de águas quanto aos íões dominantes (Cloretada, Sódicas, Carbonatas, Magnesianas, bicarbonatadas.). Este sistema de classificação é baseado na sobrepujança de determinados íões sobre outros, a água é denominada quanto ao anião ou cátion, cujas concentrações estão expresas em meq/L, é que ultrapassam em 50% nas suas respectivas somas. Se nenhum deles ultrapassa este valor, a água é denominada de acordo com os dois aniões ou cátions mais abundantes. Para plotar diagrama, transforma- se separadamente o valor de cada íão expreso em meq/L em percentagem total de aniões e de cátions (FEITOSA *et al*, 2008).

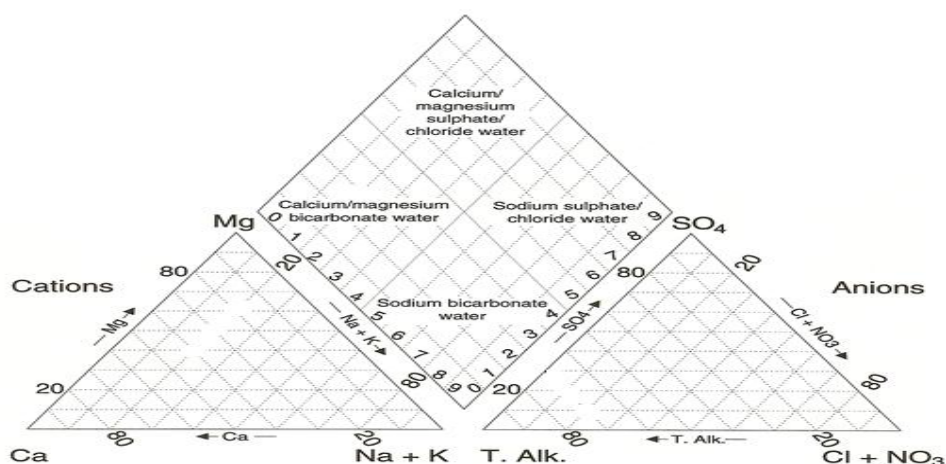


Figura 3: Diagrama de Piper
Fonte: (COSTUDIO & LLAMAS, 2001)

A classificação da água através da composição química dos íons predominantes, que é um dos objectivos específicos deste trabalho foi feita através do diagrama de Piper e o Stiff. O diagrama triangular considera que os íons plotados são expressos em concentrações relativas (meq.L^{-1}) de catiões (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e de aniões (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}). Este diagrama é composto por dois diagramas ternários, um compõe o diagrama de catiões definindo sua classificação, o outro apresenta a classificação para os aniões um terceiro diagrama apresenta o resultado de classificação para os catiões e aniões MANASSES, (2009). Para esta identificação foram obtidas 8 (oito) análises químicas no leito seco do rio Limpopo e plotados para o software Windows Interpretations Systems for hydrogeologists (WISH) versão 3.02, que automaticamente foram gerados no diagrama triangular expresso as suas concentrações relativas em (meq/L) de catiões (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) aniões (Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}).

2.6.2. Diagrama de Stiff

O diagrama de Stiff (Figura 4) gera uma imagem geométrica com dois lados. O lado esquerdo visualiza concentração de catiões Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e do lado direito visualiza concentrações de aniões $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$, Cl^- , SO_4^{2-} que são automaticamente utilizadas linhas paralelas horizontais e linhas de centro, onde se encontra o zero MELO (2014). É Assim serão representadas as classificações da composição química dos íons predominantes na água superficial e subterrânea da área do estudo por meio da ferramenta. Sendo assim, possível a análise química e gráfica da água na área do estudo.

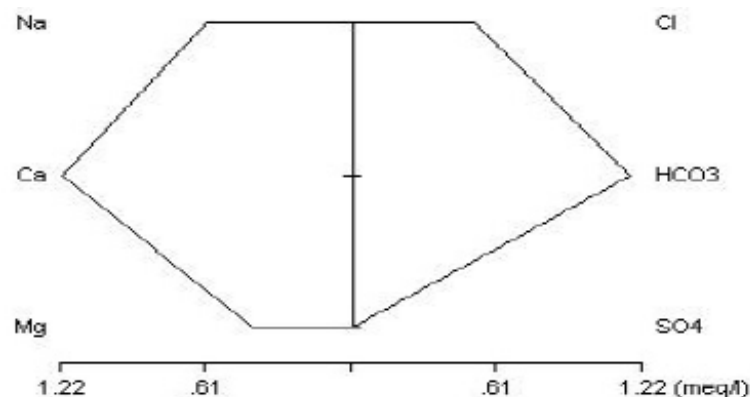


Figura 4: Diagrama de Stiff

Fonte: Melo (2014)

2.7. Qualidade de água para irrigação

Segundo MANASSES (2009), afirma que o uso da água subterrânea para fins de irrigação por vezes pode ser limitado pelos efeitos adversos a solos e plantas por apresentar substâncias e componentes químicos dissolvidos na água associados à salinidade e a sodicidade. A água com conteúdo elevado de STD causa risco de salinidade e por vezes podem vir a ser tóxicas para as plantas. As concentrações elevadas de sólidos dissolvidos no solo podem causar uma condição de seca fisiológica na qual apesar do solo estar húmido, a planta irá murchar pois as raízes não conseguirão absorver a água.

A presença de Ca^{2+} e Mg^{2+} em altas concentrações no solo ajudam a controlar os efeitos do sódio e a manter as propriedades texturais assim como estruturais do solo. O risco do sódio é expresso em termos de RAS (*Razão de absorção de sódio*), que usa as concentrações de Na^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+} para a sua determinação. A norma proposta é baseada nos padrões normais apresentados por AYERS & WESTCOT (1991), citado na pesquisa realizada pelo ALMEIDA (2010) em relação ao uso da água tendo em conta o risco de salinização e sodificação está descritos Tabela 1.

Tabela 1: Restrição do aproveitamento da água para irrigação segundo os riscos associados

Risco	Sistema de irrigação	Variáveis	Classe de restrição		
			Nenhuma	Leve moderada	Severa
Salinização		CE (dsm^{-1})	<0.7	0.7-3.0	>3.0
		STD (mg l^{-1})	<450	450-2000	>2000
Sodificação redução da infiltração da água no solo		RAS (mmolL)		CE (dsm-1)	
		0 a 3	>0.7	0.7 a 0.2	<0.2
		3 a 6	>1.2	1.2 a 0.3	<0.3
		6 a 12	>1.9	1.9 a 0.5	<0.5
		12 a 20	>2.9	2.9 a 1.3	<1.3
		20 a 40	>5.0	5.0 a 2.9	<2.9

Fonte: Almeida (2010)

2.7.1. A relação entre a qualidade de água e o seu aproveitamento na irrigação

A relação entre a qualidade da água e o seu aproveitamento, refere-se o seu aproveitamento para o uso específico, o conceito qualidade de água para irrigação é mais complexa, porque envolve relações entre a qualidade de água, eficiência de irrigação, tipo de subsolo, tipo de cultura (SILVA *et al.*, 2011). É importante ressaltar que para este trabalho será apenas abordado os aspectos referentes ao aproveitamento da qualidade de água para irrigação,

olhando apenas nas classes de água e no cálculo da RAS, de água proveniente do leito seco do rio Limpopo e água superficial no distrito de Guijá.

2.7.2. Classes de água para irrigação

Na fundamentação, o termo classe de água para a irrigação abordam alguns critérios que permitem verificar o aproveitamento da água para agricultura, sendo o mais aceite e utilizado a classificação do USSL, esta classificação foi proposta por RICHARDS (1954), com principal enfoque na irrigação, basea-se na RAS como indicador de perigo de alcalinização ou sodificação no solo e a CE como indicador de perigo de salinização do solo quanto maior for RAS menos apropriada é a água para fins de irrigação. A RAS indica a percentagem de sódio contido na água que pode ser absorvida pelo solo (FEITOSA *et al.*, (2008); SILVA *et al.*, (2017); ALMEIDA, 2010).

2.7.3. Razão de adsorção de sódio

Os sais dissociam-se na água em forma de iões (catiões e aniões), produzindo efeitos diferentes sobre as plantas. O cálcio e o magnésio são nutrientes essenciais para as plantas e ajudam a manter as boas condições físicas do solo, sendo eles indispensáveis para o cálculo de relação de adsorção de sódio, a tabela 2 ilustra alguns limites da relação de adsorção de sódio. Além de que o sódio tem um efeito tóxico sobre as plantas descola o cálcio ou outros iões associados à matéria absorvente do solo (argila e substâncias) modificando sua permeabilidade. Podendo essa concentração ser necessária para identificação de alguns efeitos tóxicos para as plantas SILVA *et al.*, (2017). A RAS pode ser determinada pela seguinte relação segundo ALMEIDA (2010):

$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}\right)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} representam as respectivamente a concentração de sódio, cálcio, magnésio na água expressa em meq/ L.

Tabela 2: Limites da relação de adsorção do sódio

RAS (meq/L)	Observações
0- 10	Excelente
10 – 18	Boa
18 – 26	Regular
> 26	Má – perigo de alcalinidade

Fonte: CELLIGOI (2011).

2.7.4. Categorias de águas usando a classificação do USSL

As categorias de água utilizadas para a classificação do USSL subdividem-se em duas classes de águas, a classe de água levando em consideração o perigo de salinidade e a classe de água levando em consideração o perigo de sodificação ou alcanização (ALMEIDA, 2010).

a) Classes de água levando em consideração o risco de salinidade

As águas se dividem em quatro classes de salinidade à medida que a um aumenta a concentração de sais,consequentemente a sua condutividade eléctrica também aumenta recebendo denominações sucessivas de C1, C2, C3 e C4 com os limites apresentados:

C1 - (0 – 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) – Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muito pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade. Se necessária alguma lixiviação de sais, esta é conseguida em condições normais de irrigação, excepto em solos de muito baixa permeabilidade. **C2** - (CE = 250 – 750 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) - Pode ser usada sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais. Em quase todos os casos adequada ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controlo de salinidade. **C3** - (CE = 750 – 2250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) - Pode ser usada em solos com drenagem deficiente. Mesmo com drenagem adequada podem ser necessárias práticas espécias de controlo da salinidade devendo, portanto a ser utilizada na irrigação de espécies de vegetais de alta tolerância aos sais. Os riscos apresentados por esta classe de água podem ser amenizados quando do emprego do método de irrigação localizada mantendo o solo continuamente húmido. **C4** – (CE = 2250 - 5000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) - Esta água não é apropriada para irrigação sob a condição normal, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias espécias. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação dos sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes aos sais (FEITOSA *et al.*, (2008); SILVA *et al.*, (2017); ALMEIDA, 2010).

b) Classe de água levando em consideração o risco de sodicidade

Em relação aos riscos de sodicidade, a água é dividida em quatro classes segundo a razão de adsorção de sódio (RAS), baseia essencialmente no efeito do sódio e nas condições físicas do solo causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade. RICHARDS (1954) dividiu a água em quatro classes tomando como base valores limites de RAS em função da CE com as seguintes interpretações:

S1 – esta classe de água pode ser usada para irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis de risco de sódio trocável. Entretanto, culturas sensíveis como fruteiras de caroço podem acumular quantidades prejudiciais de sódio. **S2** – Em solos de textura fina (argiloso) o sódio dessa classe de água apresenta com um risco considerável de dispersão com redução de permeabilidade. Por outro lado, essas águas podem ser usadas em solos de textura grossa (arenosos) ou em solos orgânicos de boa permeabilidade. **S3** – Pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, necessitando de práticas especiais de manejo: boa drenagem, alta lixiviação e adição de condicionadores químicos ou orgânicos. **S4** - É uma classe inadequada para irrigação excepto quando sua salinidade é baixa ou média (FEITOSA *et al.*, (2008); SILVA *et al.*, (2017); ALMEIDA, 2010).

Tabela 3: Classificação da água utilizado o diagrama da RAS

Classe	Risco de sódio	Classe	Risco de salinidade
S1	BAIXO	C1	BAIXO
S2	MÉDIO	C2	MÉDIO
S3	ALTO	C3	ALTO
S4	MUITO ALTO	C4	MUITO ALTO
		C5	EXCEPCIONALMENTE ALTO

Fonte: adaptada (FEITOSA *et al.*, (2008); SILVA *et al.*, (2017); ALMEIDA, 2010).

2.8. Identificação dos processos hidroquímicos dominantes na contribuição da qualidade de água subterrânea

2.8.1. Processos hidroquímicos

Em geral, a composição química da água subterrânea é em função da rocha através da qual a água flue. As principais interações incluem processos de dissolução de gases e de minerais, reacção de troca iónica, redox, ácido-base complexação e precipitação. A compreensão dos processos físico-químicos permite uma melhor interpretação da interacção água /rocha e da qualidade da água para um determinado uso específico (FEITOSA *et al.*, 2008).

2.8.2. Reacção hidroquímica em águas subterrâneas

O padrão ou tendência da dispersão dos pontos nos triângulos individuais dos catiões (Na^{++} , K^{++} , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e dos aniões (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) no diagrama de Piper, pode indicar algumas reacções de precipitação ou dissolução troca de iões e mistura de águas. Quando os dados exibem uma tendência linear em direcção a um vértice do triângulo dos catiões ou aniões conseqüentemente um aumento ou diminuição da concentração dos STD, podendo ser

indicativo respectivamente de precipitação ou dissolução progressiva (FEITOSA *et al.*, 2008; Melo 2014).

2.8.3. Relação iónica

Analisado a fundamentação teórica na pesquisa realizada por MANASSES,(2009) estudando a caracterização hidroquímica da água subterrânea menciona a relação iónica como um do pressuposto para a indentificação dos processos dominantes na qualidade de água subterrânea, para o mesmo autor, a interação geoquímica entre água percolante e as rochas que compõem o aquífero, ao longo da zona de recarga e a zona de descarga são factores determinantes para definição de suas características químicas. Assim, quanto mais tempo a água permanecer em contacto com materiais solúveis que constituem o aquífero, maior será o seu conteúdo de STD. A relação iónica indica sugestões de mineralogia das rochas por onde a água subterrânea flue (RICHTER & KREITHER,1993; MAYO & LOUCKS 1995; HOUNSLOW,1995; SILVA & MIGLIORINI, 2014).

As informações da Tabela 4 sobre a classificação química e as suas proporções iónicas, ajudam a compreender a tipologia química da água junto a reações em meq/L. Têm sido usadas para confirmar a análise química e auxiliar na dedução da rocha original, as reações químicas podem também ser deduzidas com base nos dados que são representativos aos aquíferos homogêneos com a sua composição mineralógica conhecida.

2.8.4. Classificação química e as suas proporções iónicas

Tabela 4: Classificação química e as suas proporções iónicas

	=1	Halite dissolution
Na⁺/Cl⁻	>1	Soure of Na is silicate weathering
	=1	Dolomite dissolution, Ca and Mg from carbonate
	>1	Minerals
Ca²⁺/Mg²⁺	>2	Calcite
		Dissolution of silicates
	>500	Carbonate weathering or brine seawater
TDS	>500	Silicte weathering

Fonte: RICHTER & KREITHER(1993); MAYO & LOUCKS (1995) & HOUNSLOW(1995)

2.9. Balanço iónico

Segundo MANASSES (2009), o balanço iónico é uma ferramenta fundamental para uma pesquisa hidroquímica. Um diagnóstico hidroquímico consistente possui concentração dos cátions bem proximos da concentração dos aniões (FEITOSA *et al.* 2008). A transformação

de unidade das concentrações de mgL^{-1} para meq/L pode ser dada pela equação de Stabler, definida por:

$$\text{meq/L} = \frac{C}{n} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

C = concentração do elemento em mgL^{-1} dividida pela massa atômica do elemento; n = número de oxidação.

O balanço iônico é dado pela fórmula abaixo e permite determinar o coeficiente de erro da análise, este coeficiente tem como objectivo resultar em um baixo erro, de no máximo 10% que pode ser expresso pela seguinte equação (CERQUEIRA, 2014).

$$\text{BI}(\%) = \frac{\sum \text{catins} - \sum \text{anions}}{\sum \text{catins} + \sum \text{anions}} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

BI – Equação do balanço iônico

$$\sum \text{Catiões [meq/l]} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Ca}^{2+}]$$

$$\sum \text{Aniões [meq/l]} = [\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{NO}_3^-]$$

Neste trabalho foram utilizados cálculos do balanço iônico aplicáveis em cada amostra para a verificação dos resultados das análises físico-químicas, antes que fosse feita a estatística descritiva e respectiva interpretação. Para uma amostra de água ser considerada admissível, o balanço iônico não deve ser superior a 10% (MANASSES, 2009).

III. MATERIAS E MÉTODOS

Neste capítulo, descrevem-se os materias que foram usados para a realização do estudo, bem como os procedimentos aplicados e métodos julgados necessários para o alcance os resultados.

3.1. Descrição da área do estudo

3.1.1. Localização da área do estudo

O estudo foi desenvolvido no distrito de Guijá, no posto administrativo Canicado, Sede distrital, ao longo do leito seco do rio Limpopo. O distrito possui uma área de 3.589 Km² de superfície, correspondentes a 5.6% de toda a área da província de Gaza, o mesmo está localizado a Sudoeste da Província, entre as latitudes 23°50'e 24°50'S, e entre as longitudes 32°25' e 33°40'E (MAE, 2005).

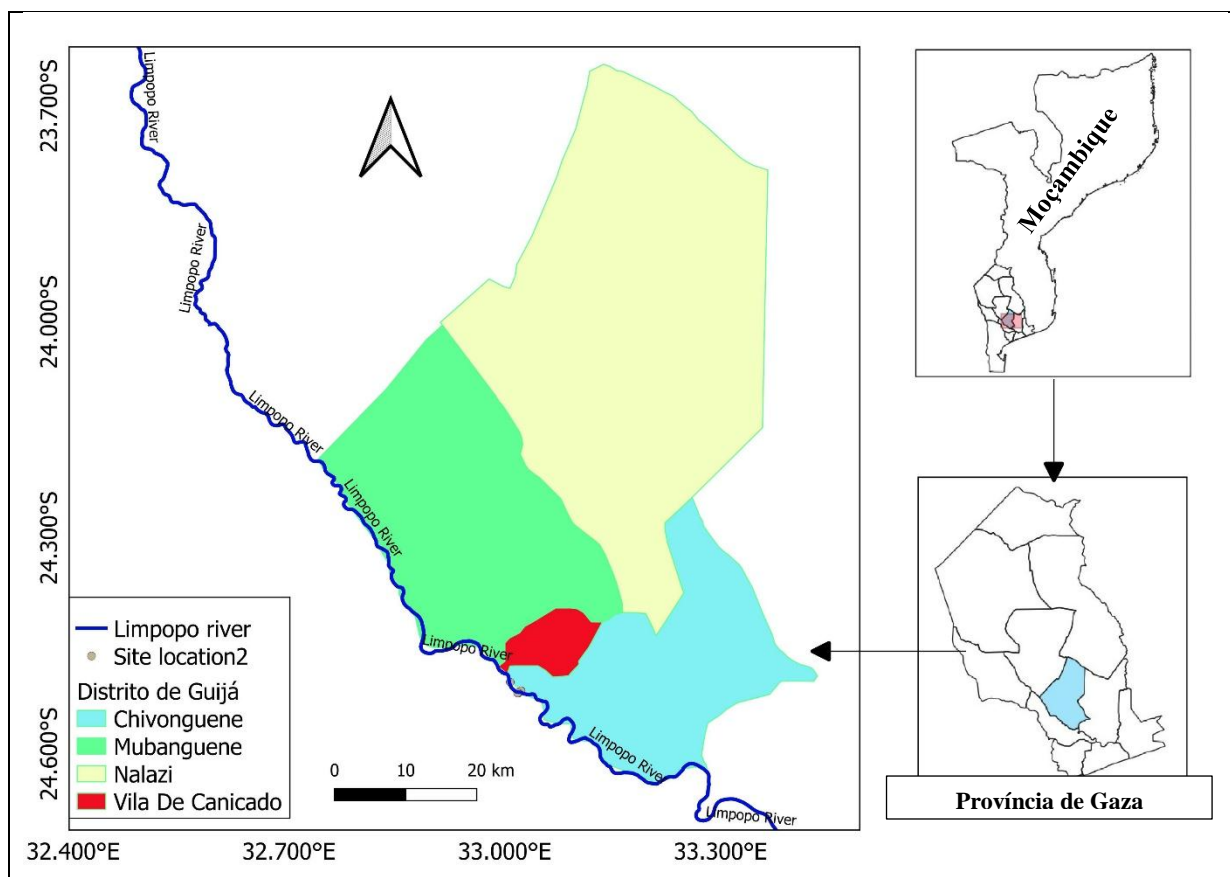


Figura 5: Mapa da localização da área do estudo

3.1.2. Clima

Segundo PINA (2009) o clima é o factor que assume a maior importância enquanto condicionador dos regimes hidrológicos superficiais e subterrâneos de uma dada região, uma

vez que influência na ocorrência da precipitação depois o escoamento superficial e a evapotranspiração, que por sua vez vão condicionando a taxa de infiltração e consequentemente a recarga dos aquíferos. Por via disso MAE, (2005) afirma que o local do estudo é dominado pelo clima semi-árido seco. As suas temperaturas médias anuais variam 24-26°C/ano, caracterizado por precipitação baixa e irregular, as precipitações médias anuais situa-se entre 400 e 600 mm/ano. A época das chuvas decorre entre os meses de Novembro a Março, um período quente e húmido, os restantes meses do ano têm um clima mais suave, a pluviosidade é irregular e mal distribuída, tornando a prática de agricultura de sequeiro numa actividade de risco e de incerteza.

3.1.3. Relevo, solos e geologia

Na área em estudo, verifica-se planície com altitudes inferior a 100 metros. Trata-se de uma área essencialmente plana e de baixa altitude. Em termos morfológicos, a ocorrência de planície de acumulação, formadas de material argiloso e de aluvião-prolúvio. Ao longo do rio Limpopo, ocorre vales abaixados com depósitos aluvionares (Figura 6) e com um bom potencial para actividade agrícola. Anorte da vila do caniçado (Mubangoene) há ocorrência de solos arenosos e na parte sudeste (Chivongoene) as argilas vermelhas e plásticas (MAE, 2005). No que se refere á morfologia, verifica-se a ocorrência de planícies de acumulação, formadas por materiais argilosos e de aluvião-pulúvio, sobretudo na sua metade norte (Nalazi) e de superfícies baixas de natureza sedimentares fluvio-marinha, na sua metade sul de Mubangoene e Chivongoene. Em termos geológicos conforme a ilustração da (Figura 6), o distrito é composta pelos depósitos indiferenciados, com excepção da zona do vale do rio Limpopo, que ocorre em sua fronteira meridional, que sua vez a evidência de ocorrência de aluviões adequada para practica agricultura (MAE, 2005).

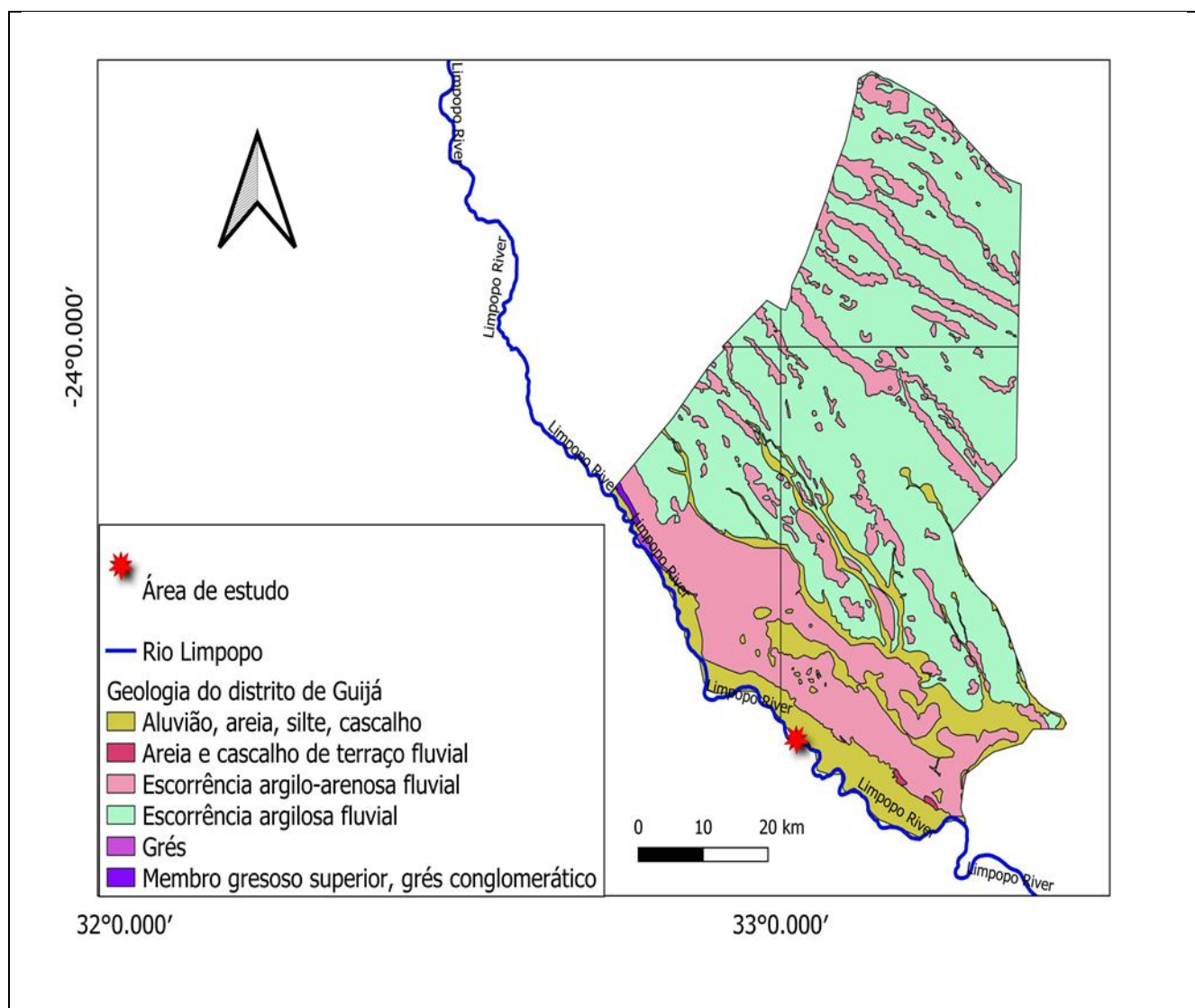


Figura 6: Mapa da geologia do distrito de Guijá

Fonte: DNG (2006)

3.1.4. Hidrografia

O Distrito situa-se na margem esquerda do rio Limpopo, sendo ainda percorrido pelos riachos Nandjote, Plane, Chichacuane e Balabala, que se juntam em Chibuto para formar o rio Chagane. Estes riachos, de regime periódico requerem alguns investimentos em infraestruturas para a retenção de água. Para além destes rios, destacam - se lagoas de Bambeni, e Linguaze, (MAE, 2005). O ponto focal do estudo foi o leito seco do rio Limpopo localizado a esquerda do mesmo distrito, o rio Limpopo é o centro vital, tornando o desenvolvimento socioeconómico do distrito em deferentes domínios da agricultura. Na

época seca, a ocorrência de água superficial no rio é limitada ou quase nula, podendo em alguns casos observar-se a presença de pequenas linhas de água para manter o caudal ecológico. Escoamentos significativos só ocorrem na época chuvosa

3.2. Procedimentos de colecta de amostras

Para estudar a variabilidade hidroquímica da água subterrânea no leito seco de rio Limpopo e seu aproveitamento na irrigação em Guijá, foram definidos seis (06) pontos de colectas de água. Dos quais três (03) poços de monitoria representativos a água subterrânea previamente instalados no leito seco do rio Limpopo com cerca de 10m de profundidade (Figura7). Houve também a necessidade de colecta de 03(três) amostras de água superficial no próprio rio Limpopo sendo também representativo a área em estudo.



Figura 7: Localização dos poços de monitoria da qualidade de água subterrânea no leito seco do rio Limpopo.

3.3. Frequência de amostragem

Para o presente estudo foi estabelecida uma frequência hidrológica sazonal de colecta das amostras. Estas foram colectadas entre Novembro a Fevereiro, período em que inicia da época chuvosa. Por forma a aferir o nível de variabilidade espacial hidroquímica da água, foram feitas monitorias mensais de parâmetros físico-químicos da água superficial e subterrânea. No entanto, um total de seis (06) amostras de água (3-superficial e 3-subterrânea) foram colectadas e enviadas para o laboratório da IGS.

Em ambas as fontes de água, a colecta das amostras foi feita uma única vez, pelo facto de durante a monitoria dos parâmetros físico-químicos não se ter constatado nenhuma variação considerável. Com auxílio de medidores portáteis (instrumento da hanna), foram realizadas análises *in situ* os seguintes parâmetros: Condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH e temperatura. Em seguida foram feitas as anotações na caderneta de campo de todas as características de campo. Porém no acto de monitoria antes da leitura dos parâmetros nas fontes de água subterrânea. Foi medido o nível de água em cada poço com o auxílio da sonda eléctrica e posterior registo dos dados. Diferentemente da água superficial a leitura era directa em pontos previamente estabelecidos para o estudo.

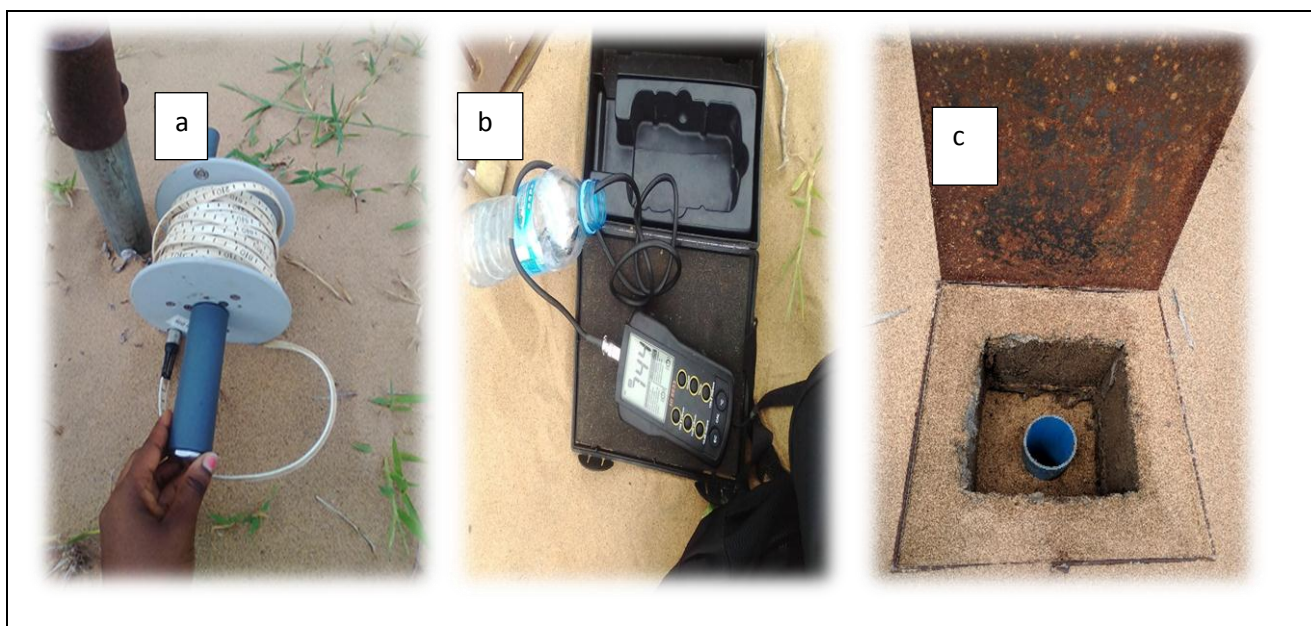


Figura 8: Materias e instrumentos usados para a medição dos parâmetros físico-químicos durante realização do estudo, a) Sonda eléctrica; b) conductivímetro; c) ilustração da configuração dos poços de monitoria da qualidade da água.

3.4. Determinação dos parâmetros físicos – químicos na água

Na abordagem feita pelo FILHO, (1994) indica a existência de certa sensibilidade de determinados parâmetros físico-químicos, pois apresentam características que estão sujeitas a alteração das suas propriedades, no momento da colecta e na sua análise em laboratório. Dai que certos procedimentos analíticos devem ser efectuados com maior brevidade de tempo possível. A rotina de colecta de amostras seguiu as normas estabelecidas por FILHO, (1994) ambas as amostras de água (superficial e subterrânea) foram colectadas em garrafas plásticas de 500 ml. No momento da colecta, os frascos foram lavados com a água da respectiva fonte pelo menos três vezes e também foram tomados todos os cuidados para não

deixar espaços vazios nas garrafas após o enchimento a fim de evitar a possibilidade de contaminação devido ao longo tempo de exposição com o meio ambiente. As amostras de água subterrânea foram colectadas com auxílio do Bailer, a uma profundidade de 7,6 m e imediatamente colocadas em garrafas plásticas de 500 ml, bem identificadas ou etiquetadas com local, nome do furo, profundidade de amostragem e horas de amostragem. Para a água superficial foram seguidos o mesmo procedimento de limpeza e as amostras foram colectadas directamente no rio com as garrafas plásticas. No processo de colecta da água superficial, a boca das garrafas estava virada para o sentido contrário do fluxo de água superficial, para permitir a entrada natural da água em condições de campo.

Os métodos analíticos usados pelo laboratório da Institute for Groundwater Studies (IGS) para a determinação da concentração iónica nas amostras de água foram os seguintes:

- Análise catiónica – Método de inductively coupled plasma (ICP)
- Análise aniónica- Método de Ion Chromatography (IC).

Portanto, as amostras de água foram submetidas para as suas respectivas análises. Foram determinados os principais parâmetros químicos como tais: Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Bicarbonatos, Cloretos, Sulfatos, Nítratos, Conductividade elétrica, Sólidos totais dissolvidos, potencial hidrogeniônico e alguns elementos traços.

3.5. Processamento e análise de dados

Para a classificação dos parâmetros físico-químicos da qualidade da água na irrigação foi utilizado o software WISH versão 3.02, as interpretações dos resultados foram baseadas na metodologia proposta pela United States Laboratory (USSL), cuja avaliação basea-se combinação de RAS e CE da água. Também, foi usado o pacote Microsoft, Excel 2010 para a análise estatística descritiva básica (média, máximo, mínimo) para observar algumas variações ligeiras dos parâmetros analisados nas fontes hídricas da área do estudo. Os dados das análises de água foram determinados utilizando o método gráfico - Diagrama Triangular de Piper e Stiff. Estes diagramas foram utilizados para classificar distintos grupos de água quanto aos iões predominantes. Foram também efectuadas correlações dos parâmetros químicos, a fim de perceber os processos hidroquímicos que influenciam na qualidade de água. Antes da caracterização da água subterrânea através da composição química de iões predominantes, avaliou-se a qualidade dos resultados, a partir do cálculo do balanço iónico (BI) de ambas as fontes (água superficial e subterrânea). O cálculo do balanço iónico foi aplicado em cada amostra de água para verificar e validar os resultados das análises químicas

antes que fossem feitas as suas respectivas interpretações (análise estatística ou gráfica) de forma qualitativa e quantitativa.

3.6. Classificação da água através da composição química dos iões

A classificação da água através da composição química foi feita a partir dos resultados da concentração dos parâmetros químicos determinados no laboratório. A análise da respectiva composição e combinação iónica da água, foi feita usando o diagrama hidroquímico de Piper e Stiff. No diagrama os iões apresentados foram expressos em meq/L, daí que houve a necessidade de efectuar-se conversões iónicas de mg/L para meq/L (Equação 2).

3.7. Qualidade de água o seu aproveitamento para irrigação

Para a determinação da qualidade de água e o seu aproveitamento para irrigação usou-se o termo classe de água. Estas classes de água para o aproveitamento na irrigação foram determinadas usando a metodologia da United States Salinity Laboratory (USSL), que se baseia na Razão de absorção de sódio (Equação 4) e da condutividade eléctrica. Também foram efectuados cálculos da RAS para cada mostra plotados para software WISH versão 3.02.

$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}\right)} \quad \text{Equação 4}$$

Onde: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} representam respectivamente as concentrações iónicas de sódio, cálcio, magnésio na água expressa em meq/ L.

IV. RESULTADOS

4.1. Qualidade dos dados das amostras da água através da composição química de iões predominantes

Para o presente estudo, foram analisadas seis amostras de águas, sendo três (03) de água superficial e três (03) de água subterrânea. Das três (03) amostras analisadas, advindas dos poços de monitoria previamente instalados no leito seco do rio, duas delas apresentaram um valor de BI superior a 10%, conforme mostra a Figura 9, onde na água subterrânea Guijá well 1 = 13.07%, Guijá well 2 = 12.64% e Guijá well 3 = 7.29%. Em comparação com a água superficial, as três (03) amostras colectadas directamente do rio, apenas uma (01) apresentou percentagem de balanço iónico superior a 10% (Figura 9), onde Guijá river 1 = 10.69%, Guijá river 2 = 8.42% e Guijá river 3 = 4.82%.

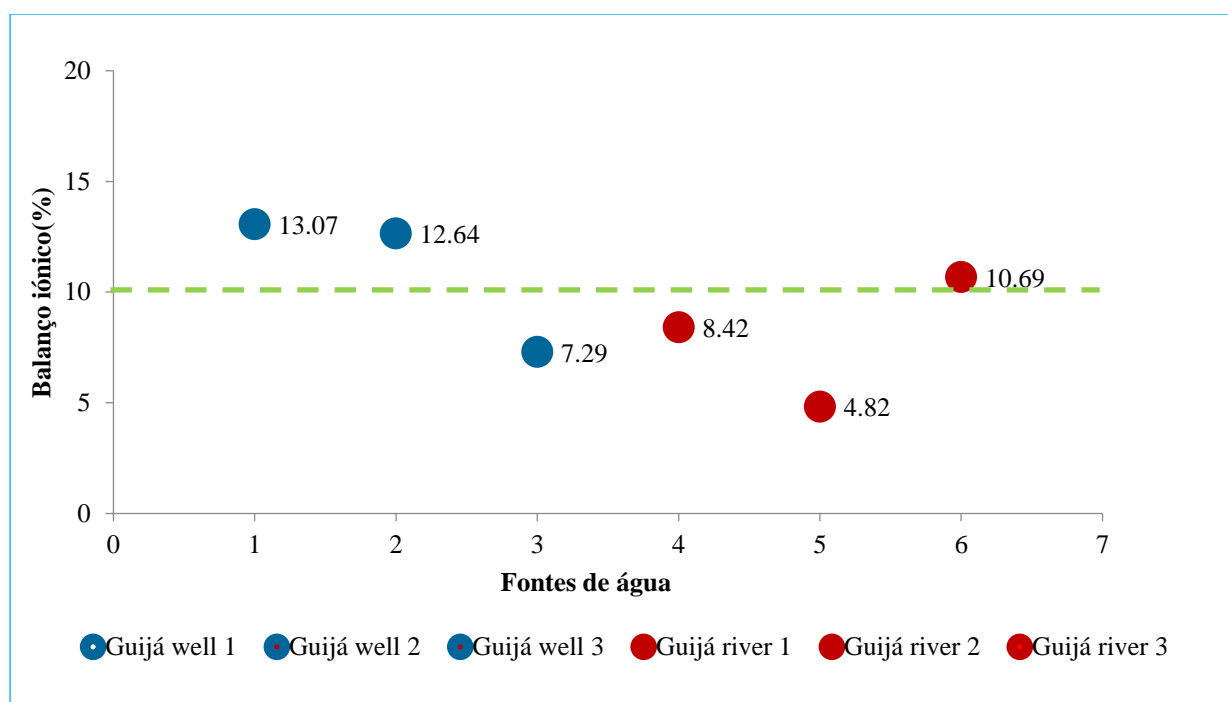


Figura 9: Ilustração do resultado do cálculo do balanço iónico de amostras de água

4.2. Classificação das amostras de água através da composição química de iões predominantes

A análise da composição química de iões predominantes em água subterrânea foi feita de forma combinada com a água superficial, pelo facto da existência da interação entre as duas fontes hídricas. Com base no resultado obtido foram observadas ligeiras variações da concentração dos iões principais iões na água superficial e subterrânea. Com base nisto foi possível observar diferenças ligeiras nos valores médios de concentração nas duas fontes

hídricas conforme mostra nos anexos das Tabela 15 e Tabela 16. As análises comparativas das concentrações dos aniões e catiões nas duas fontes estão visualizadas na (Figura 10). Foi possível observar a existência de semelhança na composição química, onde o ião bicarbonato e cálcio foram os iões com mais concentrações médias superiores em ambas as fontes hídricas. Há uma tendência de ocorrência de maiores concentrações de iões na água superficial em comparação com a água subterrânea, conforme a sequência, respectivamente: 51.82 e 18.88 mg/L (Na^+); 46.99 e 37.44 mg/L (Ca^{2+}); 28.33 e 18.48 mg/L (Mg^{2+}); 3.66 e 3.50 mg/L (K^+); 75.66 e 16.32 mg/L (Cl^-); 0.2 e 3.08 mg/L (NO_3^-); 199.09 e 168.85 mg/L (HCO_3^-); 34.84 e 6.15mg/L (SO_4^{2-}).

Outros aniões maiores observados em água superficial foram os cloretos com as suas concentrações equivalentes entre 72.79 a 78.43 mg/L. O terceiro anião maior observado em água superficial foi o Sulfato, com concentração variando de 24.8 a 44.7 mg/L. Em relação a água subterrânea os aniões maiores depois do bicarbonato, foram o anião cloreto com as suas concentrações variando de 13.56 a 16.69 mg/L; seguindo o anião sulfato com concentração a variar de a 4.5 a 8.83 mg/ L e por fim o anião nitrato com as suas concentrações entre 0.19 a a 8.8 mg/L. O Sódio em águas superficiais foi o catião que apresentou-se em maior concentração (45.5 a 63.9 mg/L), em comparação com Cálcio (39.2 a 52.9 mg/L), Magnésio (24.8 29.1 mg/L) e Potássio (2.67 a 4.7 mg/L). Em relação aos catiões da água subterrânea as maiores concentrações foram observadas nos seguintes iões: Cálcio (25.9 a 46.4 mg/L), Sódio (14.8 a 23.1 mg/L), Magnésio (10.2 a 24.8 mg/L) e por fim o Potássio (3.37 a 4.16 mg/L).

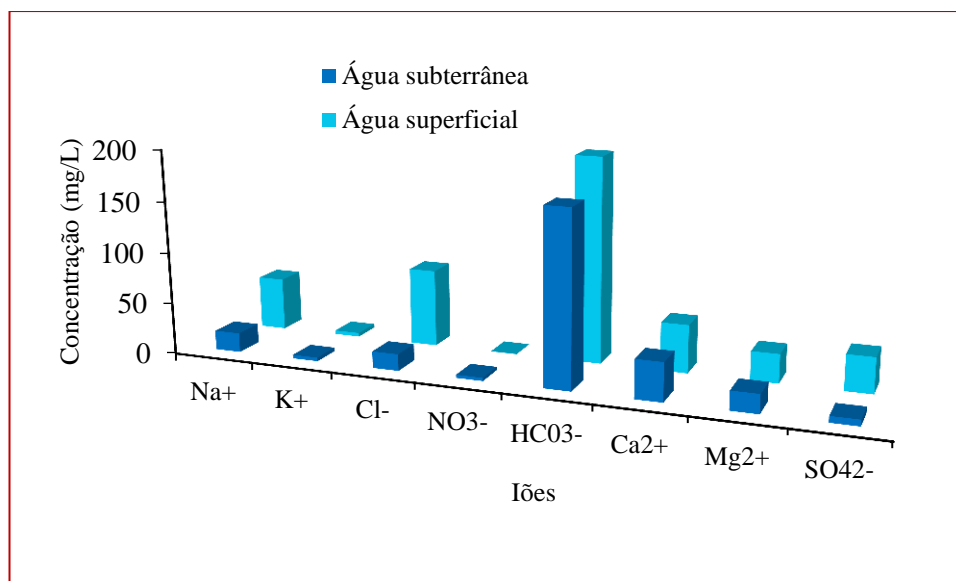


Figura 10: Variação da concentração média dos parâmetros hidroquímicos na água superficial e subterrânea.

a) Ordem de abundância dos íons na água

A Figura 13 mostra o resultado em porcentagem da ordem de abundância dos íons na água superficial e subterrânea, de forma distinta entre si, com: 1% (K⁺), 32% (Na⁺), 33% (Mg²⁺), 33% (Ca²⁺) em catiões. Para os aniões observou-se 0% (NO₃⁻), 12% (SO₄²⁻), 35% (Cl⁻), 53% (HCO₃⁻). Em relação a água subterrânea foram observadas as seguintes porcentagens: 2% (K⁺), 19% (Na⁺), 36% (Mg²⁺), 43% (Ca²⁺) para os catiões, sendo 4% (SO₄²⁻), 14% (Cl⁻), 82% (HCO₃⁻) para os aniões. Com base nestes resultados, a abundância dos catiões em ambas as fontes hídricas foram de carácter misto, o que mostra que ambos íons (K⁺, Na⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺) tem o mesmo grau de dominância, assim como em proporções equilibradas. Quanto aos aniões a ordem de abundância foi HCO₃⁻ > Cl⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻ em ambas fontes.

b) Classificação química da água através do diagrama triangular de Piper

A classificação química da água foi possível através do diagrama triangular de Piper como pode ser visualizado na Figura 11. Este tipo de diagrama como salientado anteriormente no capítulo II foi representativo para as amostras do presente estudo. Os resumos dos parâmetros químicos foram representados nos anexos (Tabela 15 e Tabela 16). Estas tabelas mostram que altas concentrações dos íons principais foram bicarbonato, cálcio e magnésio em ambas as fontes de água, como resultado da característica do aquífero. O diagrama triangular de Piper revela que a qualidade de água nas amostras de água subterrânea e superficial é provavelmente controlada por dissolução, precipitação ou intemperismo de silicatos, com conseqüente formação dos íons cálcio, magnésio e o bicarbonato, um grupo de

iões mais abundantes na área de estudo. O diagrama de Piper permitiu classificar a água com base na triangulação iônica projectando os catiões e aniões no losango central. Para as amostras analisadas no estudo o diagrama triangular de Piper mostrou um grupo predominante classificando a água como do tipo bicarbonatada cálcica magnésiana (Ca/Mg-HCO₃), demonstrando são águas jovens e que o aquífero é não profundo conforme pode ser analisado e discutido no capítulo V.

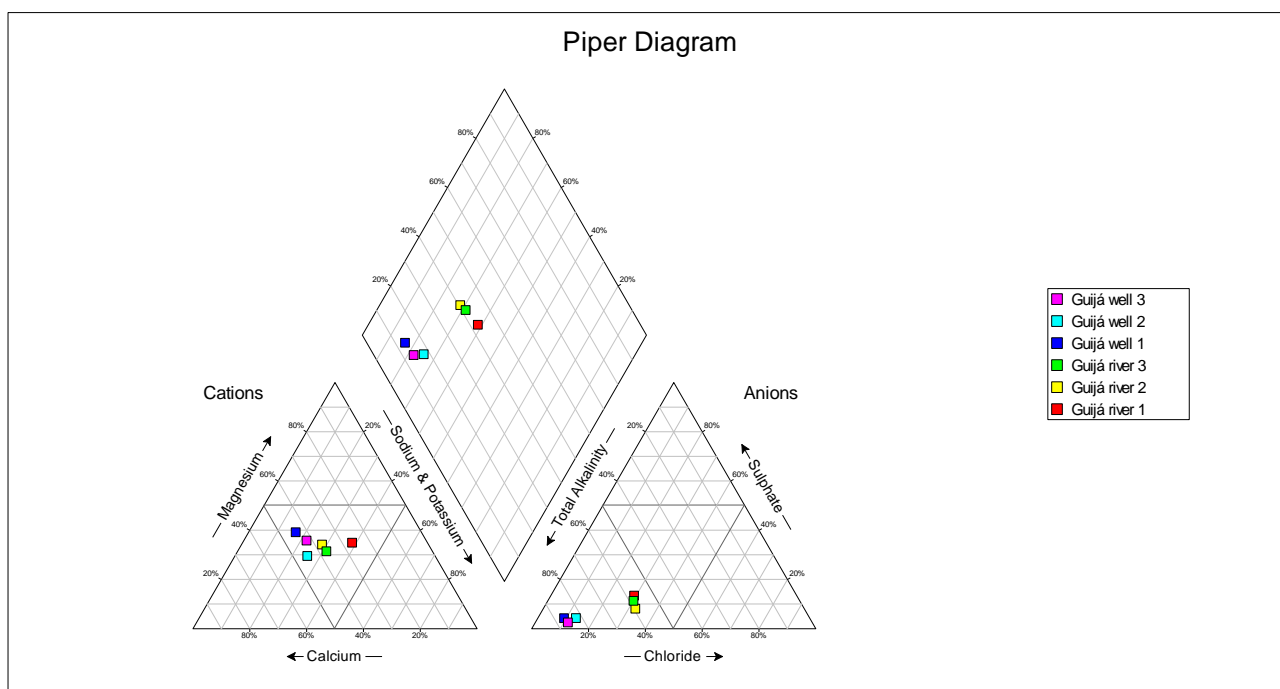


Figura 11: Digrama de Piper para a classificação da água através da composição química de iões predominates

c) Classificação da água através do diagrama de Stiff

Observando o diagrama triangular de Piper (Figura 11) os dados mostraram que as amostras de água têm a mesma classificação em termos da composição química através de iões predominante, desse modo, isto permitiu que o diagrama de Stiff (Figura 12) análise localmente as amostras de água, afim de perceber a magnitude da concentração iônica de cada ponto amostrado. O diagrama apresenta as concentrações dos catiões mais importantes do lado esquerdo, dos aniões mais importantes do direito. Para além de dar possibilidade de ver rapidamente a magnitude das concentrações a forma do diagrama indica também o tipo de água. Ao desenvolver o diagrama de Stiff (Figura 12) foi possível observar uma predominância local de águas bicarbonatadas cálcicas/magnesianas para todas as amostras de água (superficial e subterrânea), indicando existência de configuração geométrica

semelhante entre a água superficial e subterrânea. Nos pontos Guijá River 1, 2 e 3 (Figura 12) o anião HCO_3^- mostra-se com elevada concentração. Nos cátions somente o ponto Guijá river 1 indicou para elevadas concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ e os restantes pontos Guijá River 2 e 3 para o cátion o Ca^{2+} . Indicando provável predominância de dissolução de minerais como dolomite ou calcite. Na água subterrânea os pontos Guijá well 1, 2 e 3 (Figura 12) também foram observadas similiaridade de concentração elevada de HCO_3^- . Diferente da água superficial, o cátion Ca^{2+} mostra-se com tendência de elevada concentração de acordo com a configuração geométrica. Apesar de pequenas variações de concentrações iônicas, o tipo de água predominante através da classificação iônica é Ca/Mg-HCO_3 .

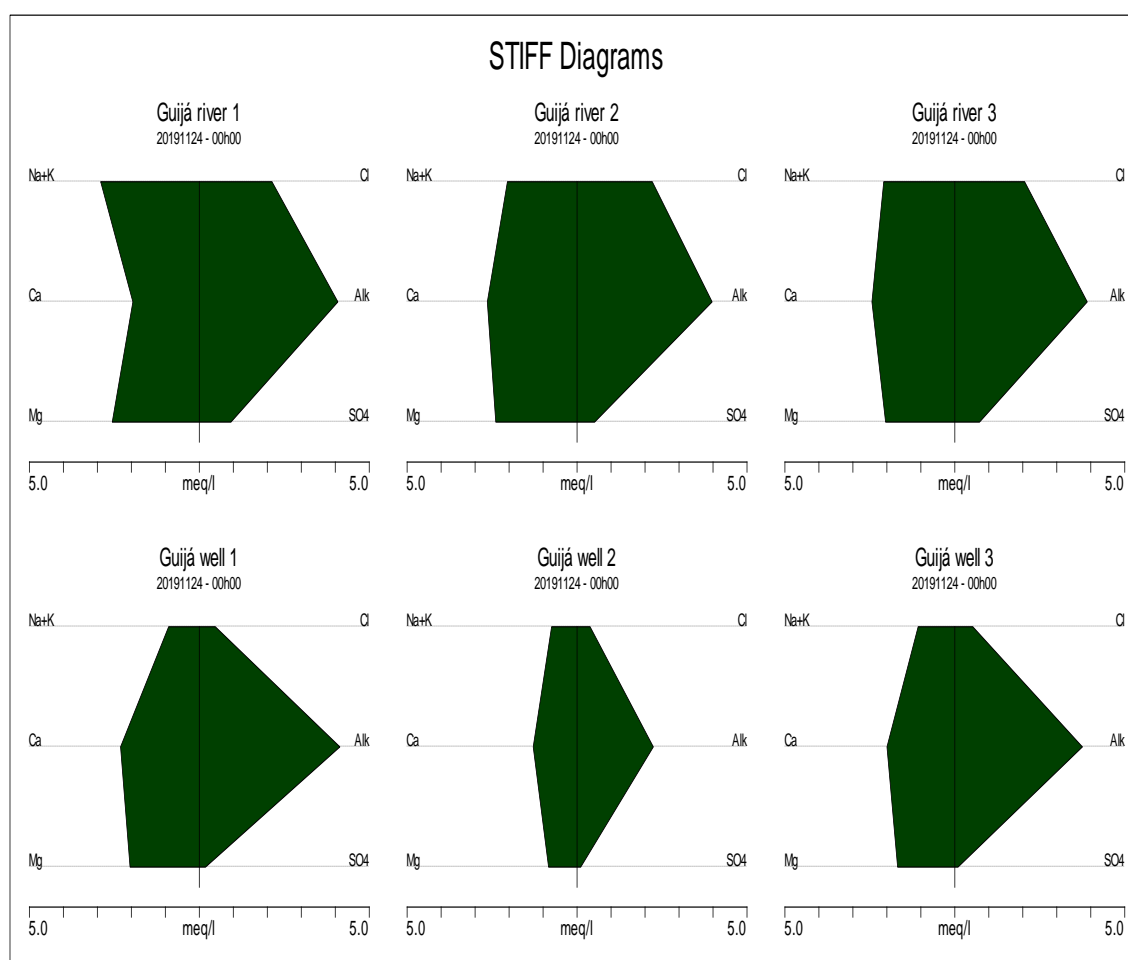


Figura 12: Diagrama de Stiff para a classificação em termos da composição química dos iões predominante

Ordem de abundância dos iões na água

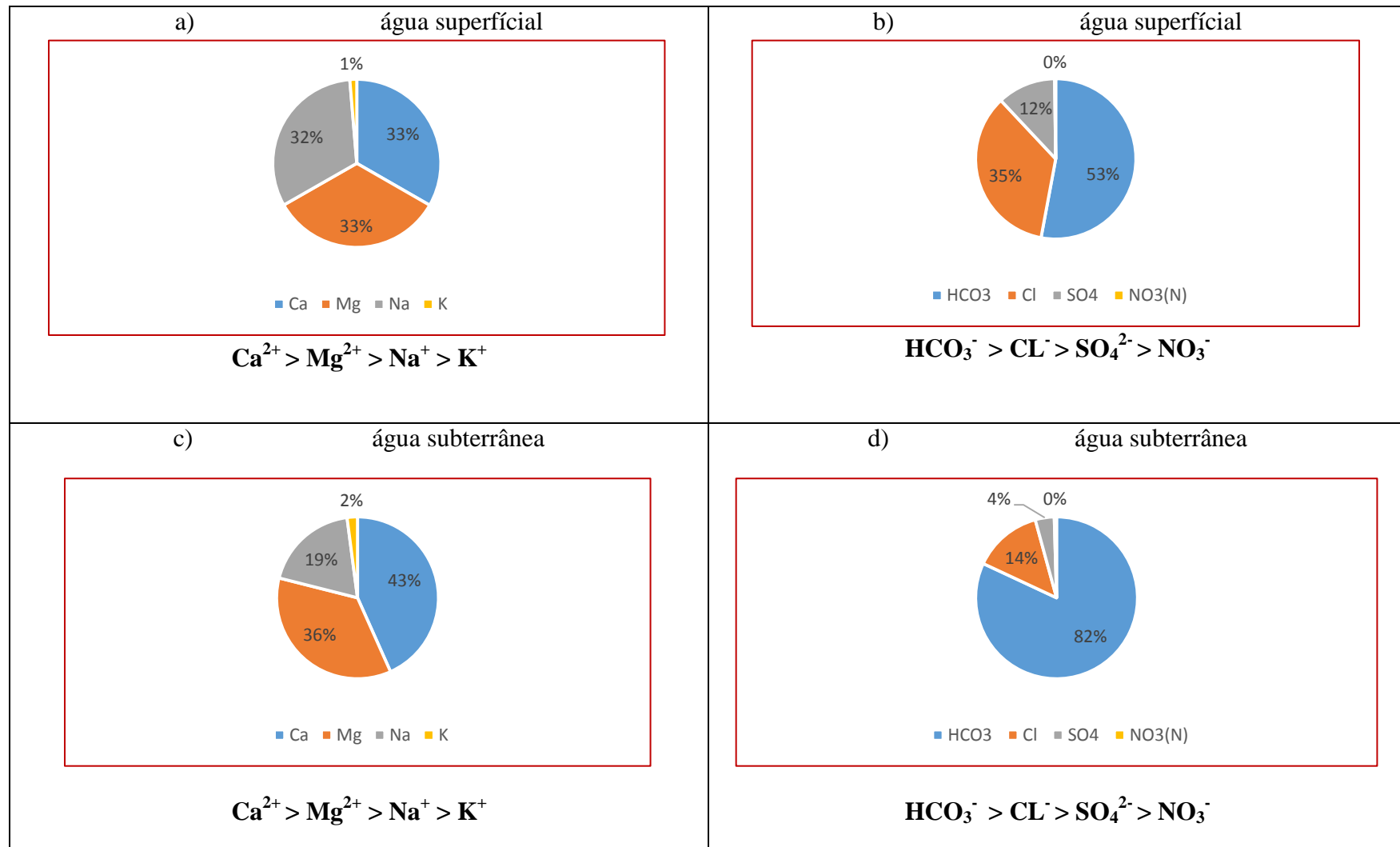


Figura 13: Ordem de abundância de iões em água superficial (a, b) é em água subterrânea (c, d).

4.3. Parâmetros directamente proporcionais á concentração iónica da água

4.3.1. Conductividade eléctrica

Com o intuito de analisar o comportamento da condutividade eléctrica na água subterrânea e superficial como pode ser observado na Figura 14, foi possível notar que a condutividade eléctrica das amostras de água subterrânea tende a ser mais baixo comparado com o resultado das amostras de água superficial. Em água subterrânea os valores apresentam uma média igual a 344 $\mu\text{S}/\text{cm}$ variado com valor mínimo de 233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e máximo de 423 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O resumo de resultados da CE pode ser visualizado nos anexos (Tabela 15 e Tabela 16), referentes a água subterrânea e superficial. Os valores mais altos da condutividade eléctrica foram observados em água superficial, com uma média de 624 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mínimo igual a 610 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e valor máximo igual a 649 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

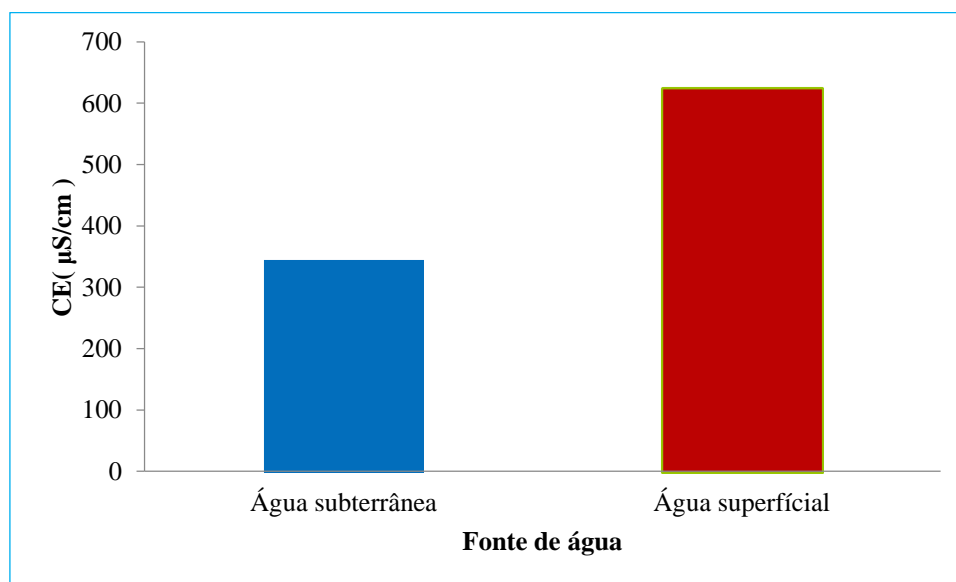


Figura 14: Resultado de valores médios da CE em fontes hídricas

4.3.2. Potencial hidrogenónico

Os valores de pH obtidos na água subterrânea nos pontos amostrados apresentaram um valor mínimo de 7.02, máximo de 7,20 e um valor médio correspondente a 7.05. Em água superficial o valor máximo foi igual a 8.24 é o mínimo igual a 7.49 com média igual a 7.95. O resumo dos dados descritivos do parâmetro pH, podem ser visualizados nas Tabela 15 e Tabela 16, para água subterrânea e superficial. Na

Figura 15 foi possível visualizar que o pH das amostras de água subterrânea tende a ser mais alto em comparação com as amostras de água superficial, em termos de valores médios para

as fontes de água. Dessa forma pode-se notar que as amostras de águas estiveram com pH ótimo para ser aproveitadas para irrigação (entre 6 – 8.5).

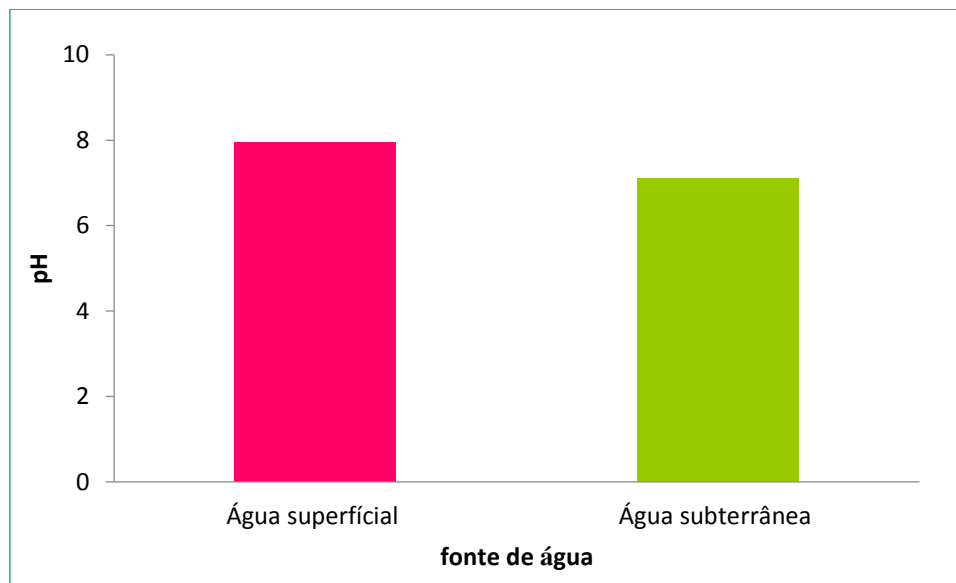


Figura 15: Resultado de valores médios de pH em fontes hídricas

4.3.3. Sólidos totais dissolvidos

Neste estudo, os STD como podem ser visualizados na Figura 16, foi notório que a soma de todos os constituintes presentes nas amostras de água tende a ser mais alto em água superficial em comparação com a água subterrânea quanto aos valores médios, conforme pode ser visualizados em anexos (Tabela 15 e Tabela 16). A médias dos STD em águas superficial foi igual a 441mg/L, com uma variação de 427 mg/L a 464 mg/L. Em relação a água subterrânea a média foi igual a 271 mg/L e os seus valores máximos igual a 327 mg/L e mínimos igual 187 mg/L, respectivamente.

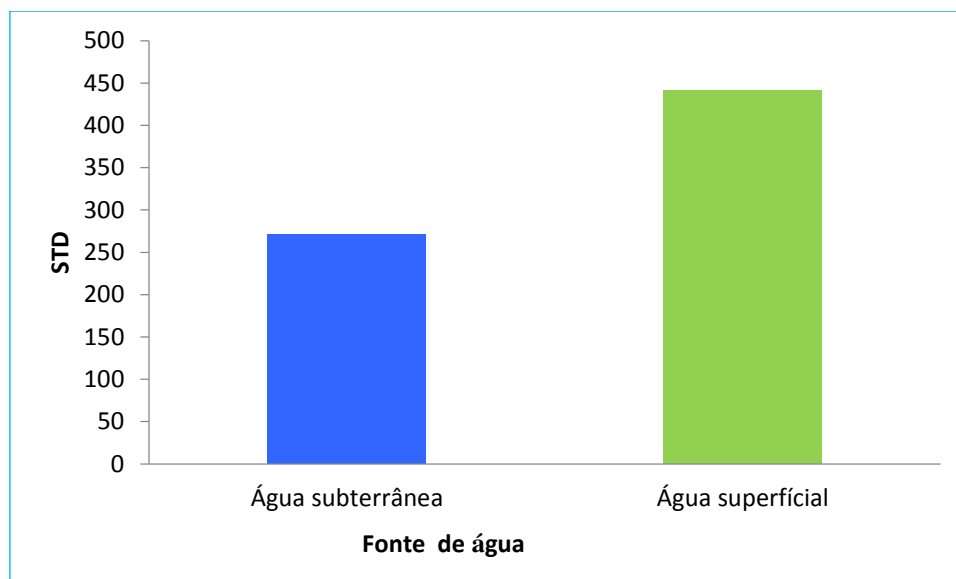


Figura 16: Resultado de valores médios de STD em fontes hídricas

4.4. Relação entre qualidade de água e o seu aproveitamento na irrigação

Para determinar a relação entre qualidade da água e o seu aproveitamento para fins de irrigação foi utilizado o gráfico da RAS, que considera os parâmetros sódio e condutividade elétrica. Afim de perceber a sua adequação para o aproveitamento da água na irrigação, foi efectuado o cálculo da RAS conforme pode ser visualizado nos anexos da Tabela 13. A representação do resultado do cálculo da RAS pode ser visualizada na Figura 17. Os seus respectivos valores na água subterrânea foram: Guijá well 1 = 0.55 meq/L; Guijá well 2 = 0.62 meq/L; Guijá well 3 = 0.44 meq/L. Em água superficial mostrou Guijá river 1= 1.25 meq/L; Guijá river 2 = 1.34 meq/L; Guijá river 3 = 1.86 meq/L. Todas as amostras de água representam a RAS < 10 meq/L.

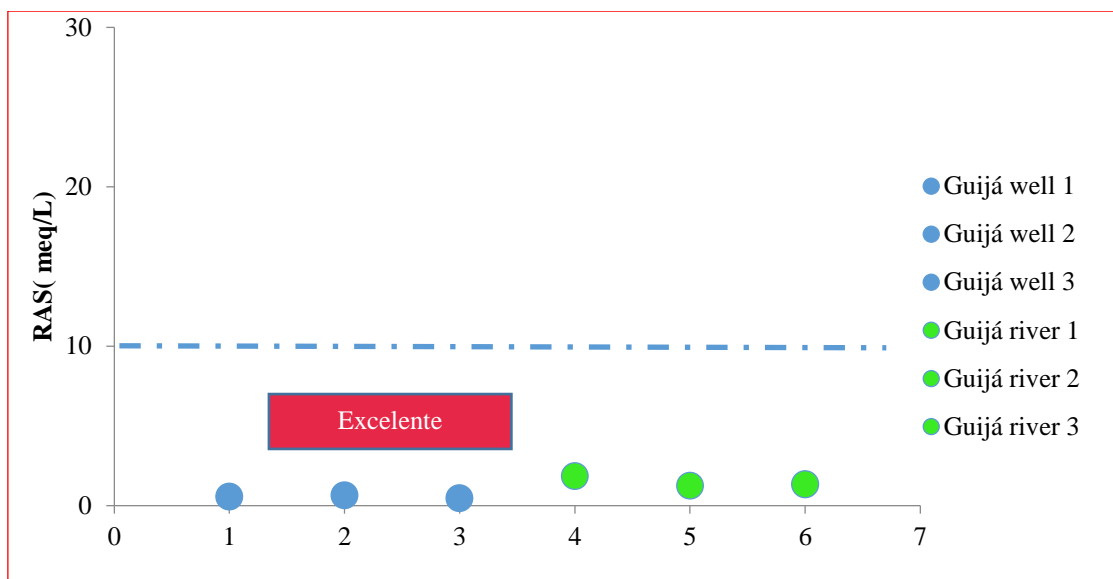


Figura 17: Resultado da RAS no aproveitamento da água p'ra a irrigação

a) Classe da água para o aproveitamento na irrigação

Com intuito de determinar as classes de água para o aproveitamento da água para fins de irrigação na área do estudo foi utilizado o diagrama da USSL é consequentemente gráfico da RAS, que considera os parâmetros sódio e condutividade elétrica para estabelecer a relação da qualidade. A Figura 18 é representada o gráfico das classes de água subterrânea e superficial para o aproveitamento na irrigação. Foi possível observar a existência da predominância de classe C2S1 (Guijá well 3;Guijá well 1;Guijá river 1;Guijá river 2;Guijá river 3). Esta classe apresenta um risco de sódio (baixo) e salinidade (média), ou seja, com risco de sódio baixo e com médio risco de salinidade. Apenas 01 (uma) amostra apresentou predominância de classe C1S1 (Guijá well 2), ou seja, com o risco de sódio baixo e com médio risco de salinidade. As amostras (Guijá well 3;Guijá well 1;Guijá river 1;Guijá river 2;Guijá river 3) apresentaram risco de absorção de sódio baixo. Para o parâmetro salinidade a amostra de água (Guijá well 2), apresenta risco médio.

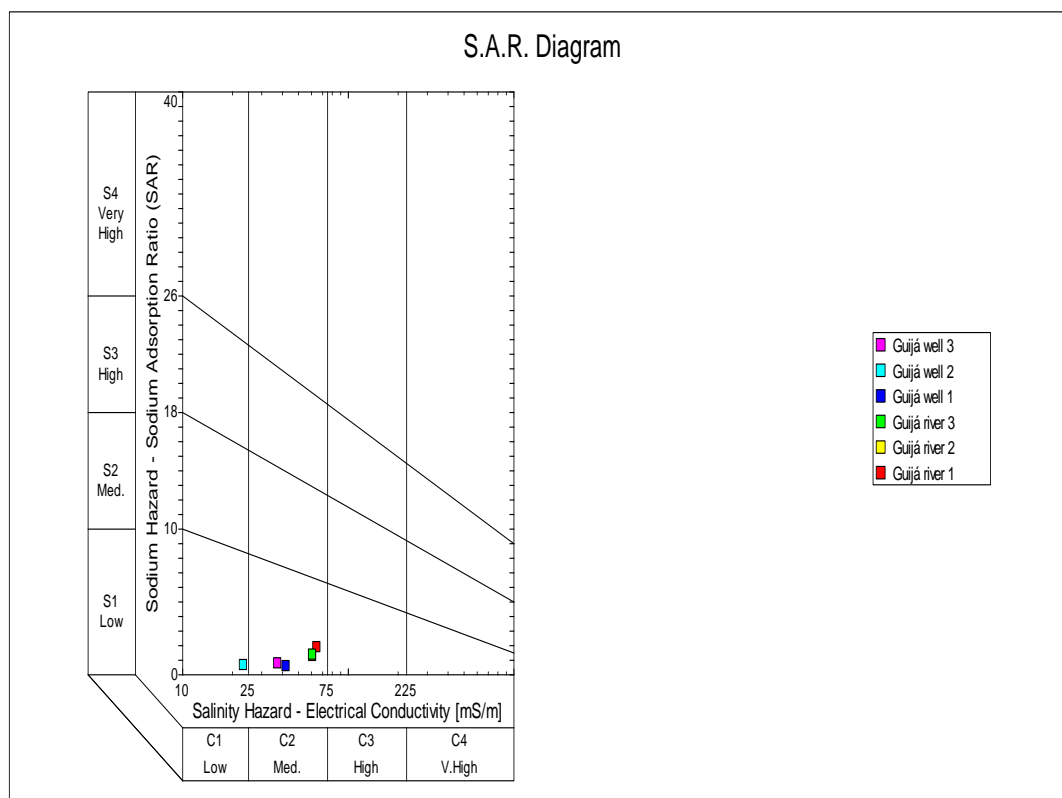


Figura 18: Resultado das classes de água no diagrama utilizado para relacionar a água para o aproveitamento na irrigação.

4.5. Processos hidroquímicos dominantes na água subterrânea

Nesta pesquisa, foram analisados os processos hidroquímicos dominantes através da combinação iônica de certos parâmetros físico-químicos que contribuem para a qualidade da água. Isto foi através por meio da matriz de correlação iônica na água subterrânea e água superficial. Adicionalmente foram incluídos a condutividade elétrica, os sólidos dissolvidos por serem grandezas diretamente proporcionais, entre elas e com alguns iões. Os resultados da matriz de correlação estão apresentados nas Tabela 5 e Tabela 6. A matriz de correlação entre as variáveis de água, suas propriedades físico - químicas e suas concentrações de iões, foram divididas em duas matrizes diferentes (água superficial e subterrânea) e os seus respectivos resultados foram descritos, podendo ser visualizados abaixo. A interpretação da correlação iônica mostra que o coeficiente de correlação é aproximadamente a 1 e classificada como forte. Através da análise hidrogeoquímica foi possível observar o surgimento isto pode sugerir da mesma proveniência mineralógica dos iões assim como

composição das rochas similar por onde a água subterrânea ou superficial, percola e flui, respectivamente.

Tabela 5: Matriz de correlação da água subterrânea, as propriedades químicas e as suas concentrações iônicas.

	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
EC	1								
Ca ²⁺	0.9973	1							
Mg ²⁺	0.9985	0.9998	1						
Na ⁺	0.7040	0.6507	0.6643	1					
K ⁺	-0.8328	-0.7906	-0.8015	-0.9794	1				
HCO ₃ ⁻	0.9989	0.9931	0.9950	0.7352	-0.8569	1			
Cl	0.8047	0.7596	0.7712	0.9881	-0.9988	0.8306	1		
NO ₃ ⁻	0.6915	0.7420	0.7298	-0.0260	-0.1762	0.6583	0.1278	1	
SO ₄ ²⁻	0.5834	0.6407	0.6267	-0.1660	-0.0365	0.5463	-0.0125	0.9901	1

Tabela 6: Matriz de correlação da água superficial suas propriedades químicas e as concentrações de iões.

	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
EC	1								
Ca ²⁺	-0.9479	1							
Mg ²⁺	-0.5299	0.7723	1						
Na ⁺	-0.9637	0.9985	0.7369	1					
K ⁺	-0.9811	0.8686	0.3562	0.8941	1				
HCO ₃ ⁻	-0.7476	0.9201	0.9594	0.8976	0.6053	1			
Cl	0.2557	0.0650	0.6841	0.0111	0.4378	0.45062	1		
NO ₃ ⁻	-0.9583	0.9994	0.7500	0.9998	0.8852	0.90612	0.03069	1	
SO ₄ ²⁻	-0.9709	0.8443	0.3117	0.8720	0.9988	0.56707	-0.4797	0.86226	1

Valores boldados indicam correlação forte entre os iões na água

Na observação simultânea das Tabela 5 & Tabela 6 foram observadas ligeiras diferenças de comportamento dos elementos químicos em água subterrânea e superficial, o que revela automaticamente a existência de reacções químicas que se associam aos processos hidroquímicos dominantes na contribuição da qualidade de água a decorrem em água superficial e subterrânea. Em água subterrânea (Tabela 5) o Ca²⁺; Mg²⁺; HCO₃⁻ apresentaram

correlação forte entre a variável CE, cujo seus valores foram ($r = 0.9973$; 0.9987 ; 0.9989). Podendo ser interpretados como correlação positiva muito forte. O HCO_3^- apresentou correlação positiva muito forte com as variáveis CE, Ca^{2+} & Mg^{2+} cujo seus valores foram ($r = 0.9989$; 0.9931 ; 0.9950). O Cl^- apresentou correlação positiva muito forte com a variável Na^+ cujo seu valor ($r = 0.9881$). O SO_4^{2-} apresentou correlação positiva muito forte com a variável NO_3^- o seu valor em ($r = 0.9901$).

Por sua vez em água superficial (Tabela 6) O Na^+ apresentou correlação positiva muito forte entre a variável Ca^{2+} cujo seu valor em ($r = 0.9985$). O NO_3^- apresentou correlação positiva muito forte entre as variáveis (Ca^{2+} ; Na^+ & HCO_3^-) cujo seu valor em ($r = 0.9994$; 0.9998 ; 0.9061). HCO_3^- apresentou correlação positiva muito forte entre as variáveis Ca^{2+} ; Mg^{2+} & Na^+ , cujo seu valor em ($r = 0.9201$; 0.9594 ; 0.8976). O sulfato apresentou correlação positiva muito forte com a variável K^+ ($r = 0.9988$).

4.5.1. Relações iônicas

O uso da relação entre determinados parâmetros químicos forneceu informações sobre o tipo de reacções químicas que se associam aos processos hidroquímicos dominantes na área do estudo. Neste trabalho foram determinados os resultados de relações iônicas entre Mg/Ca Na/Cl e STD na água superficial assim como na água subterrânea. A base na ilustração do resultado da Figura 19. Os seus respectivos resultados podem ser visualizados na Tabela 7. O valor médio Mg/Ca em água superficial observado foi de 1.14 meq/L, comparativamente a água subterrânea com o valor médio Mg/Ca de 1 meq/L. Em relação aos STD, a média em água superficial foi de 271 mg/L, em água subterrânea 441 mg/L. O valor médio da relação iônica Na/Cl na água subterrânea foi 1.16 meq/L, comparativamente a água superficial a relação iônica foi 1.5 meq/L. A Figura 19 ilustra todas as amostras de água e o parâmetro STD, cujo o seus valores serão discutidos no capítulo correspondente.

Tabela 7: Valores médios de relações iônicas entre Mg/Ca; Na/Cl & STD

Parâmetros			
Pontos	Mg / Ca	Na / Cl	STD
Guijá river	1.14	1.16	271
Guijá well	1.00	1.50	441

Amostras de água e o parâmetro STD

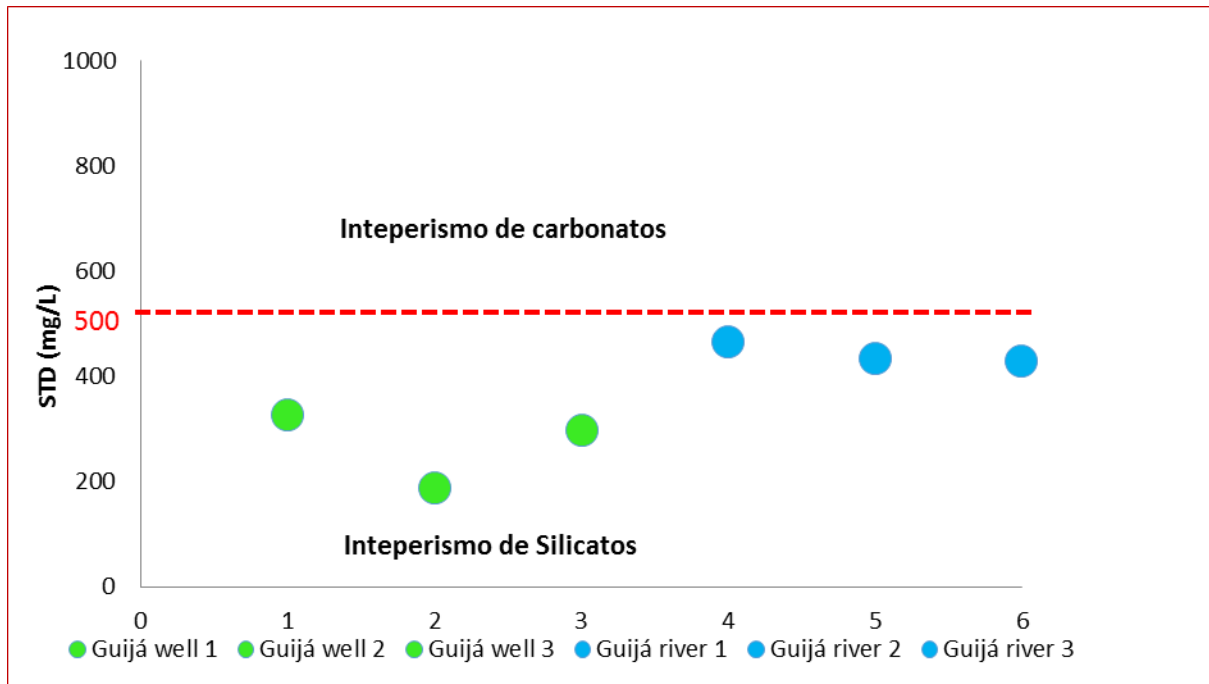


Figura 19: Ilustração do resultado de relação iônica STD

V. DISCUSSÃO

5.1. Qualidade dos dados das amostras da água através da composição química de iões predominates

Antes da interpretação e da discussão dos resultados, tornar – se necessário esclarecer que é muito difícil a colecta das amostras de água subterrânea que sejam representativas a qualidade química da água em profundidades, pois as amostras podem um lado sofrer a exposição do oxigênio da atmosfera durante o processo de amostragem SILVA & MIGLIORINI, (2014). Entretanto o calculo (Figura 9) do balanço iónico (BI) neste trabalho, foi possível observar que metade das amostras analisadas, três (03) delas estiveram dentro de intervalo de 10% e as restantes três (03) com valores entre 10.67-13%. Comparado os resultado em estudos realizados por SCOPEL *et al.*(2005) & CERQUEIRA (2014), podeu-se afirmar que o BI tem valores atípicos acima do intervalo admissível e que estes, não interferem muito no resultado e na interpretação final das análises físico-químicas. Ainda assumem que devido ao número reduzido optam - se em aceitar 10% do BI, considerando os dados confiáveis e que apresentam uma validação da qualidade química dos resultados. Por outro lado OLIVEIRA (2019) assume que os valores atípicos do cálculo de balanço iónico, estão associados a uma análise de água de baixa qualidade química revelando existência de uma fonte de água com índice de contaminação devido ao grau de mineralização da água, é que também alguns outros constituintes iónicos presentes na água subterrânea e superficial não foram usados para o cálculo do balanço iónico.

5.2. Classificação da água através da composição química de iões predominates

Vale ressaltar que todos os parâmetros analisados, para o estudo hidroquímico estiveram dentro dos limites aceitáveis para o aproveitamento da água na irrigação (Tabela 8 & Tabela 9). Cabe ainda dizer que a variação das concentrações em termos de composição catiónica e aniónica observadas, foram maiores em água superficial em comparação com a água subterrânea. Nos estudos realizados por AZEVEDO,(2012);CERQUEIRA,(2014) & FEITOSA *et al.*,(2008), eles afirmam que geralmente a temperatura da água subterrânea apresenta uma pequena variação térmica e respondem á média da variação anual da temperatura local. Apesar de o estudo ter sido feito num aquífero aluvionar não muito profundo (< 30 m de profundidade), a influência da temperatura local não tem muita influência significativa na composição quantitativa dos iões na area do estudo.

Sendo que a área do estudo é caracterizada por um clima semi-árido, a temperatura pode ser um factor catalizador natural para acelerar algumas reações hidrogeoquímicas na água superficial com maior magnitude em comparação com a água subterrânea. Por sua vez causam dissolução/precipitação de alguns minerais como é o caso de dolomite/calcite e outros minerais que ocorrem em formações geológicas do quaternário. Produzindo um conteúdo baixo de quartzo, e conteúdo mais alto de cálcio e magnésio. Do outro lado, poderão ocorrer também deposições de alguns iões na superfície da água e que durante o equilíbrio químico o sistema hídrico pode apresenar variação qualitativa e quantitativa.

Tabela 8: Limites aceitáveis em água superficial

Parâmetros	Água superficial			Límites aceitáveis	Classificação da respectiva fonte
	(meq/L)	Média	Mínimo		
Na ⁺	2.25	1.98	2.78	0 - 40	ALMEIDA, 2010
K ⁺	0.09	0.09	0.12	0 - 20	ALMEIDA, 2010
Cl ⁻	2.13	2.05	2.21	0 - 30	ALMEIDA, 2010
NO ₃ ⁻	0.03	0.03	0.03	0 - 10	ALMEIDA, 2010
HC0 ₃ ⁻	3.23	3.26	3.19	0 - 10	ALMEIDA, 2010
Ca ²⁺	2.33	1.95	2.64	0 - 20	ALMEIDA, 2010
Mg ²⁺	2.33	24.8	2.56	0 - 5	ALMEIDA, 2010
SO ₄ ²⁻	0.73	0.09	0.73	0 - 20	ALMEIDA, 2010
pH	7.95	7.49	8.24	6 - 9	ALVES et al., 2014
STD(mg/L)	441	427	464	0 - 2000	ALMEIDA, 2010
EC (µS/cm)	624	610.7	649.2		

Tabela 9: Limites aceitáveis em água subterrânea

Parâmetros	Água subterrânea			Límites aceitaveis	Classificação respectiva da fonte
	(meq/L)	Média	Mínimo		
Na ⁺	0.82	0.64	1	0 - 40	ALMEIDA, 2010&
K ⁺	0.27	0.08	0.11	0 - 2	ALMEIDA, 2010 & CUDJOEE, (2020)

Cl⁻	1.38	0.53	0.47	0 – 30	ALMEIDA, 2010
NO₃⁻	0.15	0.14	0.03	0 – 10	(FEITOSA <i>et al.</i> 2008) ALMEIDA, 2010
HC0₃⁻	2.77	1.84	3.39	0 – 10	ALMEIDA, 2010
Ca²⁺	1.68	1.29	2.23	0 – 20	ALMEIDA, 2010
Mg²⁺	1.52	1.68	2.04	0 - 5	ALMEIDA, 2010
SO₄²⁻	0.13	0.09	0.18	250	ALMEIDA, 2010
pH	7.1	7.04	7.2	6.0 - 9.0	ALVES <i>et al.</i> , 2014
STD	271	187	327	500	FEITOSA <i>et al.</i> 2008
EC (µS/cm)	344.5	233.9	423		

a) Classificação através do diagrama triangular de Piper e Stiff

Neste estudo os valores do STD, variam na água subterrânea de 187 a 327 mg/L. Na água superficial de 427 a 464 mg/L, sendo que a água subterrânea apresenta valores médios mais baixo em comparação com a água superficial. A média dos STD observada na água subterrânea podem refletir em um tempo de residência pontencialmente curto, limitado o tempo de interação água - rocha e conseqüentemente a dissolução dos elementos mais solúveis. Sendo que a médias mais altas foram observada em água superficial, pode por parte reflectir um tempo de maior residência, possibilitando um maior tempo de interação água rocha com aumentos dos sólidos dissolvidos. A água com maiores STD tende a aumentar pH. Portanto a classificação segundo Piper e Stiff comprovou que a água bicarbonatada cálcica magnésiana são predominantes para todas as amostras de água. Comparando com o estudo realizado SCOPEL *et al.* (2005), onde interpretou os dados no diagrama de Piper e obteve a mesma face hidroquímica, o mesmo afirma que as águas com fácies bicarbonatadas cálcicas ou magnésianas não apresentam nenhuma variação considerável, assim como qualquer tipo de contaminação ao longo do tempo. Por um outro lado na pesquisa feita por CERQUEIRA (2014); OLIVEIRA (2014), nos seus estudos afirmam que a hidroquímica de águas bicarbonatadas cálcicas ou magnésianas tende a ser contralada por espécies iônicas (HCO₃⁻, Ca²⁺ e Mg²⁺). Estas por sua vez foram mais notadas na presente pesquisa. E não houve nenhuma variação espacial nos parâmetros na sua composição química explicável devido à diversidade e dinâmica do ambiente na área. Afirma-se também que o grupo de iões predominates foi o cálcio, magnésio e o bicarbonato, como era de se esperar. O diagrama de

Stiff para além de dar a possibilidade de ver rapidamente a magnitude das concentrações também indica o tipo de água. Com base na análise do diagrama de Stiff foi possível identificar o padrão típico das águas que circulam pelo aquífero livre. A geometria apresentada no diagrama é típica de águas subterrâneas que apresentam pequenas concentrações de elementos, evidenciando uma rápida circulação e baixo tempo de residência. Além disso, analisando o estudo realizado por REGINATO *et al.* (2012), que por sinal teve a mesma configuração geométrica, fica claro que essas águas têm a mesma origem e o mesmo padrão geoquímico.

5.3. Parâmetros directamente proporcional á concentração iônica da água

A variação da temperatura na água controla os valores de pH e as reacções químicas. Neste trabalho o pH variou de 7.49 a 8.24 em água superficial. Em relação a água subterrânea variou de 7.04 a 7.2, em comparação com suas as médias observadas a água superficial tende a ser mais alto em relação a água subterrânea. Apesar deste resultado, pode-se afirmar que o processo de dissolução dos minerais é influenciado pelos valores de pH em ambas as fontes de água, conforme se pode ser analisado na pesquisa realizada por FEITOSA *et al.*,(2008) & (MANASSES, 2009). Na mesma citação, como o bicarbonato ocorre em todas as amostras de água e é o anião mais comum, este pode ter sido gerando directamente por decomposição de ácido carbonico, e o carbonato ocorre em amostras com pH levemente alcalino.

No caso do aproveitamento da água para irrigação o pH normal situa-se entre 6.5 a 8.4 (SILVA, 2015). Estes resultados mostram que o parâmetro pH está dentro dos limites da qualidade química de água para o aproveitamento na irrigação. Constatou-se que CE, STD das amostras da água subterrânea tende a ser mais baixo comparado com o resultado das amostras de água superficial. Isto segundo ALVES *et al.*(2014), quanto maior for a quantidade de iões dissolvidos, maior será a conductividade eléctrica da água. Por sua vez o parâmetro conductividade eléctrica não determina especificamente quais os iões que estão presentes em determinada amostra de água, mas sim pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que possam ocorrer. Nota-se que essas variações foram concentradas em determinados pontos, e este valor pode estar relacionado com a hidrodinâmica da água do rio na região. Como há ocorrência de camadas de argila intercaladas por areia, pode ser que nesta configuração litológica (argila-areia-argila) do fluxo de água seja influenciado pela conductividade hidráulica das argilas, impedimento para que

os sais sejam drenados. Todas as amostras de água da área do estudo foram classificadas como águas bicarbonatadas cálcio magnesianas com conductividades elétricas entre 0 – 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C.

5.4. Relação entre qualidade de água e o seu aproveitamento na irrigação

Analisadas as pesquisas realizadas por ALMEIDA (2010) & CELLIGOI, (2011), ambas demonstraram o intervalo usual para o uso de água na irrigação, onde determina-se a razão de adsorção de sódio (0 -15meq/L). Segundo as directrizes para a avaliação, da qualidade de água baseado nos padrões normais apresentados por AYERS & WESTCOT (1991), citado na pesquisa realizada pelo ALMEIDA (2010) e estudadas por SILVA *et al.*(2011), quanto à relação qualidade de água e o seu aproveitamento com enfoque para irrigação. A água tem se mostrado com boa e excelente qualidade para utilizado no aproveitamento da irrigação para suprir a necessidades de água em pequena escala.

5.4.1. Classe da água para o aproveitamento na irrigação

Em relação as classes de água para o aproveitamento na irrigação, as mesmas foram comparadas com estudos realizados por FEITOSA *et al.*, (2008) e CERQUEIRA (2014). As classes C1S1 & C2S1 encontradas e interpretadas por CERQUEIRA (2014), afirmando que as águas de Classe C1, podem ser usadas para para irrigar culturas na maioria dos solos, com pequenos riscos quanto a salinização, salvo se a permeabilidade deste for extremamente baixa. As águas de classe C2, devem ser usados com precaução e de preferência em solos silto-arenosas, siltosas e areno- argilosas, quando houver uma lixiviação moderada os vegetais de franca tolerância salina podem ser cultivados, como por exemplo milho na maioria dos casos sem perigo. As águas de classe S1, podem ser utilizados para quase todas os solos com baixo risco de formação de teores nocivos de sódio. A tabela abaixo mostra as classes de qualidade de água para irrigação, associadas a respectiva classificação ALMEIDA (2010). A classe C2S1 apresenta qualidade de água considerada boa, enquanto que a classe de C1S1, excelente.

5.5. Processos hidroquímicos dominantes na água subterrânea

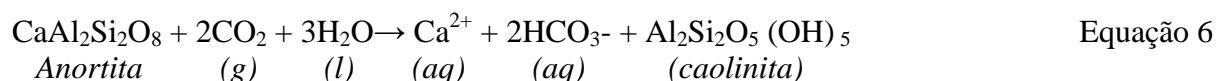
Foram discutidos os resultados do processo hidroquímico dominante na contribuição da qualidade da água superficial e subterrânea. Os resultados descritos foram correlacionados para que fosse identificada a composição mineralógica da geologia por onde a água flue

(escoamento superficial/subsuperficial), indicando os processos hidroquímicos distintos em ambas as fontes de água. No estudo realizado pelo NETO, *et al.* (2016) afirma-se que as águas subterrâneas carregam sais em solução onde as quantidades e concentrações desses sais dependem do movimento e ambiente. E que esses sais solúveis encontrados na água subterrânea são provenientes da dissolução dos minerais das rochas. Foram observadas correlações positivas muito fortes entre os íons na água subterrânea e superficial. CAMPOS *et al.* (2008), classifica o coeficiente de Pearson de (+/-) 0.70 a 0.89, sendo uma correlação forte, (+/-) 0.90 a 1, sendo uma correlação muito forte. Analisando os estudos realizados MENDONÇA & DIAS, (2019); SILVA & MIGLIORINI, (2014); NETO *et al.*, (2016), ambas obtiveram correlações positivas muito fortes entre os íons HCO_3^- ; Ca^{2+} e Mg^{2+} com a condutividade elétrica da água. Deste modo, afirmando que o aumento da mineralização faz-se a custa da contribuição de algumas espécies iônicas abundantes na água. Olhando para a pesquisa realizada por CUDJOEE, (2020), afirma-se que a correlação positiva observada entre a condutividade elétrica HCO_3^- ; Ca^{2+} , Mg^{2+} , pode indicar a formação/dissolução de alguns minerais na água. Afirmam também que a condição HCO_3^- & (Ca^{2+} , Mg^{2+}), indica a percolação da água pelas rochas carbonatadas por influência da precipitação e dissolução da calcite nas rochas em sucessivo enriquecimento de cálcio e bicarbonato. Não apresenta qualquer tipo de contaminação e podem surgir com fácies bicarbonatadas cálcicas. Segundo SCOPEL *et al.* (2005), estudando a caracterização hidrogeoquímica da água subterrânea, afirmam que a dissolução da calcite pode ser um importante processo em um meio geológico pobre em carbonato. A água (na presença de CO_2 atmosférico, contido na água do rio ou proveniente da atividade orgânica dos solos) interage com carbonato de cálcio, produzindo Ca^{2+} e HCO_3^- através da reação:

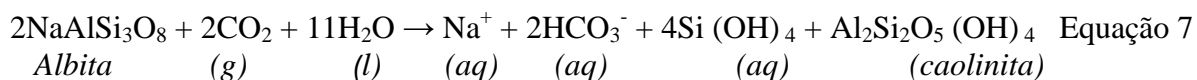


Em água superficial o Na^+ correlaciona muito forte com Ca^{2+} . Segundo SCOPEL *et al.* (2005), estudando a caracterização hidrogeoquímica da água subterrânea afirma que o (Na^+ , Ca^{2+} & HCO_3^-) podem resultar da dissolução de feldspatos, especialmente plagioclásios cálcicos, que são minerais que se dissolvem facilmente, com a redução de CO_2 na água.

Feldspato cálcico:



Feldspato sódico:



A predominância de ocorrência de cheias e de períodos prolongados de seca (sem fluxo de água no rio) associados com a presença de vegetação no leito seco do rio pode favorecer a formação dos iões acima. Do outro lado o tipo de geologia também tem uma significativa contribuição.

5.5.1. Relação iónica

O uso de relação entre determinados iões permitiu fornecer informações sobre o tipo de reacção química que está associada aos processos hidroquímicos dominantes na área do estudo. Na pesquisa realizada por MANASSES, (2009) revela-se que os iões dissolvidos na água, podem indicar o grau de relacionamento da água com o tipo de material percolado. Ainda afirma que a distinção dos aquíferos segundo a sua composição química, pode ser descrita através dos rácios iónicas mais frequentes em estudos hidrogeoquímicos Mg/Ca e Na/CL. Com base nos resultados, foi possível afirmar que existe sim um grau de relacionamento da água como tipo de material percolado. Segundo CUDJOEE, (2020) a razão Mg/Ca permitiu determinar a contribuição dos minerais calcite e dolomite na composição da água e no geral essa contribuição foi observada em ambas fontes de água. Segundo MANASSES, (2009) afirma que quando a ocorrência da precipitação do carbonato de cálcio, há um aumento na relação iónica e o inverso ocorre em casos da dissolução da calcite. Em geral apresenta valores Mg/Ca variam de 0,3 a 1,5. Valores próximos de 1,0 representam influência da contribuição de calcite e de dolomite na composição da água e quando os valores são superiores a 1,0 a associação de silicatos magnesianos, como a mineralogia dos basaltos. Olhando para a pesquisa HOUNSLOW, (1995) o valor da razão iónica tem um papel preponderante para a qualidade de água com influência da contribuição por meio de intemperismo de silicatos quando os STD satisfazem a condição: $\text{STD} > 500\text{mg/L}$. Todas as fontes de água estudadas satisfizeram a condição.

VI. CONCLUSÃO

Com o presente trabalho, sobre o estudo da variabilidade hidroquímica da água subterrânea no leito seco do rio Limpopo em Guijá, podeu - se concluir que a qualidade de água no geral, é resultado da interação química da água de percolação com atributos hidrogeológicos associados com as características hidro-climáticas. Essa qualidade de água é influenciada por processos hidroquímicos dominantes distintos e causados pela dissolução de alguns minerais na água, associados pela influenciada da evolução de processos de intemperismo de silicatos, assim como por ações antrópicas essencialmente em rochas carbonatadas, com conteúdos altos de cálcio e magnésio.

Em todo contexto, foi observada composições químicas semelhantes em ambas às fontes de água, através do diagrama de Piper foi possível observar uma tendência de evolução de água bicarbonatadas cálcicas magnesianas, retrando desta forma uma possível mistura de tipos de águas representadas por águas bicarbonatadas mistas. Em amostras de água superficial e subterrânea provenientes de poços de monitoria são controladas pelas fácies hidroquímicas do tipo bicarbonatada cálcica/ magnesiana (Ca/Mg – HCO₃). A ordem de abundância dos cátions é mista (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) e a dos aniões na seguinte sequência HCO₃⁻ > Cl⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻. Indicando que o bicarbonato é o anião mais abundante para todas as amostras de água, é nas águas bicarbonatadas mistas os cátions apresentam um equilíbrio entre si. Devido a interação entre a água superficial com a subterrânea assim com homogeneidade das características geológicas.

Em relação à qualidade da água e o seu aproveitamento para agricultura, a mesma é recomendada para o uso na irrigação e apresenta um pH situado entre 6.5 a 8.5. Com base nos resultados obtidos a partir da análise do diagrama de classificação das águas para irrigação do USSL, as águas foram classificadas como C1S1 e C2S1, ou seja, apresenta água com perigo de sodicidade baixa (S1), água com perigo de salinidade baixo (C1), e água com perigo médio de salinidade (C2). Água subterrânea que ocorre no leito seco do rio Limpopo é considerada boa é de excelente qualidade, podendo ser aproveitada na agricultura de pequena escala para o cultivo de cereais (milho) e hortícolas (cebola couve alface e feijão) assim como outras culturas.

VII. RECOMENDAÇÕES

A fim de ratificar as conclusões obtidas durante a realização do estudo, devido ao tempo e algumas limitações que se registaram durante o trabalho recomenda-se:

- ❖ Realizar novas campanhas de amostragem, que possam diferenciar a sazonalidade espacial e temporal assim como climática da região, de modo que seja possível observar mudanças nas características e nos níveis da água subterrânea entre o períodos seco e chuvoso;
- ❖ Necessidade de um monitoramento a fim de verificar periodicamente a qualidade e quantidade da água por ser uma questão pertinente para a contunuidade do estudo.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTOUMANE, A. (2008). *Assessing the groundwater dynamics, recharge and storage potential in the Limpopo Riversand deposits*. Delft: UNESCO-IHE.
- AHLERT, S., CEMIN, G., GILIOLI, K. C., & PEDRO ANTONIO ROEHE REGINATO; P. A. (2012). *Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do aquífero livre localizado no manto de alteração da Formação Serra Geral, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul*. Rio Grande do SUL: Revista Ambiental de Aguas.
- ALMEIDA, O. A. (2010). *Qualidade de água para irrigação*. CRUZ DAS ALMAS:EMBRAPA.
- ALVES, M. D., COSTA, A. N., POLIVANOV, H., SILVA, G. C., & COSTA, M. C. (2014). *Qualidade das águas de poços rasos provenientes de áreas urbanas e rurais de campos dos goytacazes (RJ)*. RIO DE JANEIRO.
- AYERS, R. S., & WESTCOST, D. W. (1991). *A qualidade de água na agricultura*. Campina Grande: UFPB.
- AZEVEDO, J. (2012). *Avaliação dos mecanismos de recarga natural e estabilidade hidroquímica em aquíferos rasos, sul do estado de Tocantins*. Brasília: UNB.
- B.P.A.FERRO, & D.BOUMAN. (1987). *Notícia explicativa da carta hidrogeológica de Moçambique*. MAPUTO: DNA.
- BARROSO, A. D., NESS, R. L., FILHO, R. R., SILVA, F. L., CHAVES, M. J., & LIMA, C. A. (11 de 11 de 2010). *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. Obtido em abril de 2020, de INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>
- BARROSO, D. A., GERMANO, G. E., LIMA, A. E., PALÁCIO, H. A., & LIMA, C. A. (2011). *Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará*. Campina Grande: UAEEA/UFCG.
- BEZERRA, A. D., ROCHA, J. C., NOGUEIRA, E. R., SOUSA, D. M., ARAÚJO, F. G., BRANDÃO, M. G., et al. (2018). *Análise situacional da qualidade de água subterrânea oriunda de poços da região metropolitana de Fortaleza, CEARÁ, BRASIL*. BRASÍLIA: ACTA.
- BRITO, R. R., GOMES, E. R., & LUDWING, R. (2012). *Uso da água na irrigação*. São Paulo: UNESP/FCA.

- CAMPOS, E. H., ALVES, R. R., SERATO, D. S., RODRIGUES, G. S., & RODRIGUES, S. C. (2008). *The accumulation of organic material under different natural vegetation in Uberlândia - MG*. Uberlândia: Sociedade & Natureza.
- CELLIGOI, A. (2011). *Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas*. Brasília: Londrina.
- CERQUEIRA, F. C. (2014). *Hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no município de São João da Barra, RJ*. Rio de Janeiro : UENF.
- CHAMBAL, N. E. (2020). *Avaliação dos processos hidroquímicos e da qualidade de água subterrânea no leito seco do rio Limpopo para irrigação agrícola em Macarretane*. LIONDE: ISPG.
- COSTUDIO, E., & LLAMAS, M. (2001). *Hidrologia subterrânea*. BARCELONA: ÔMEGA
- CUDJOEE, A. P. (2020). *Geostatistics and Spatial Analysis of Groundwater Hydrochemistry near Leliefontein in the Northern Cape, South Africa*. Northern Cape: Journal of Ecological Engineering.
- DIAS, J. L. (2016). *Sistemas aquíferos aluvionares da bacia hidrográfica do rio Mondego*. APRH.
- ERTHAL, E. S., & BERTICELLI, R. (2018). sustainability irrigated agriculture and its environmental impacts. *CIENTEC*, 65.
- FEITOSA, F. A., FILHO, J. M., FEITOSA, E. C., & DEMETRIO, J. G. (2008). *HIDROGEOLOGIA. Conceito e Aplicações*. Rio de Janeiro: CPRM. Serviço geológico do Brasil.
- FILHO, J. L., BARBOSA, M. C., AZEVEDO, S. G., & CARVALHO, A. M. (S.D.). *O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável*.
- GUJAMO, E. J. (2019). *Avaliação hidrodinâmica da água subterrânea e sua potencialidade para a irrigação no leito seco do rio limpopo em Guijá*. LIONDE: ISPG.
- HOUNSLOW, A. W. (1995). *Water Quality data, Analysis and interpretation*. LEWIS PUBLISHERS.
- ÍTALO NUNES SILVA, L. D. (2011). *Qualidade de água na irrigação*. RJ: ACSA.
- J. LOPO MENDONÇA, J. L. (2000). *Sistemas aquíferos aluvionares da bacia hidrográfica do rio Mondego*. APRH.

- LUIZ, T. B., & SILVA, J. L. (2017). *Caracterização de processos hidrogeoquímicos em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Santa Maria, na região central do Rio Grande do Sul*. Santa Maria : UFSM.
- MAE, M. D. (2005). *Perfil do distrito de guijá provincia de Gaza*. Reppublica de Mocambique: Governo distrital, Guija.
- MANASSES, F. (2009). *Caracterização hidroquímica da água subterrânea da formação Serra Geral da Regiao sudeste do estado do parana* . Curicutiba : UFP.
- MANOEL LINDOLFO QUEIROZ NETO, M. K. (2016). *Análise da qualidade da água subterrânea utilizada no abastecimento urbano: UM ESTUDO DE CASO EM POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE SÃO RAFAEL/RN*. Campina Grande : IBEAS.
- MARION, F. A., CAPOANE, V., & SILVA, J. L. (2007). *Avaliação da qualidade da água subterrânea em poço no campus da UFSM, Santa Maria - RS*. Brasilia : UFSM.
- MAYO, A. L., & LOUCKS , M. D. (1995). *Solute and isotopic geochemistry and groundwater flow in the central wasatchrange*. UTAH: Journal of hydrology .
- MELO, N. Z. (2014). *Considerações hidroquímicas da água de poços que exploram o sistema aquífero serra geral (SASG) NA REGIÃO DE LONDRINA-PR*. LONDRINA: UTFP.
- MESTRINHO, S. S. (2005). *Qualidade de águas subterrâneas e hidrogeoquímica para o agronegócio*. Salvador : UCSal.
- OLIVEIRA, B. P. (2019). *Hidroquímica e caracterização isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) dos sistemas aquíferos barreiras e pirabas nos municípios de são francisco do pará e igarapé açu, NORDESTE DO PARÁ*. Belem: UFP.
- OLIVEIRA, K. B., MORAIS, F., & BACELLAR, L. A. (2014). *Distribuição de parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas na região da Lagoa da Confusão - TO - Brasil*. Brasilia : PR .
- PINA, A. F. (2009). *Hidroquímica e qualidade das águas subterrâneas . ilha de Santiago*.Cabo Verde: Universidade de Aveiro-Departamento de Geociências.
- REJANE MARIA SCOPEL, E. C. (2005). *Caracterização hidrogeoquímica de água subterrânea em área de influência de futuras instalações de usinas hidrelétricas – bacia hidrográfica do rio taquariantas taquariantas/*. Porto Alegre: Quinta nova .
- RICHTER , B. C., & KREITHER , C. W. (1993). *Identfying Sources of ground-water salinizations*. Florinda: CRN.

- SILVA, C. T., SILVA, K. F., CARVALHO, C. M., & VIEIRA, A. J. (2015). *Caracterização bacteriológica, hidroquímica e físico-química das águas subterrâneas das comunidades de km 60 e sucupira na chapada do apodi limoeiro do norte – ceará.* CEARA : IFMA.
- SILVA, Í. N., FONTES, L. D., TAVELLA, L. B., OLIVEIRA, J. B., & OLIVEIRA, A. C. (2011). Qualidade de água na irrigação. *AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMI-ÁRIDO- ACSA.*
- SILVA, J. J., & MIGLIORINI, R. B. (2014). *Caracterização das águas subterrâneas do aquífero furnas na região sul do estado de mato grosso.* Sao Paulo : UNESP.
- SILVA, Y. .. (2017). *Análises toxicogenética e físico-química das águas de irrigação de e físico-química das águas de irrigação de hortas comunitárias do Piauí, Brasil.* Teresina: UFP.
- WALKER, JOVANIC, D. N., RICHARD, B., ABIVE, T., PREEZ, D. D., & GOWING, J. (2018). *Alluvial Aquifer characterisation and resource assessment of the MOtototsi sand river- limpopo.* Motototsi: journal of hydrology.

IX. ANEXOS

Tabela 10: Classificação da água segundo os STD

Nome da Amostra	Na + K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	CO ₃ + HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	C.E. (µS/cm)	STD estimado (mg/L)	Classificação
well 1	22.07	46.40	24.80	16.69	206.75	8.80	423	275.0	Água Doce
well 2	18.96	25.90	10.20	13.56	112.14	5.10	233.9	152.0	Água Doce
well 3	26.06	40.00	20.50	18.70	187.65	4.50	376.7	244.9	Água Doce
guija river 1	68.60	39.20	31.10	75.76	203.83	44.70	649.9	422.4	Água Doce
guija river 2	48.17	52.90	29.10	78.43	198.64	24.80	612.2	397.9	Água Doce
guija river 3	49.61	48.90	24.80	72.79	194.81	34.90	610.7	397.0	Água Doce

Tabela 11: Valores dos parâmetros físico-químicos das amostras de água

Sitename	pH	EC (µS/cm)	STD
Guijá well 1	7.05	423.00	327
Guijá well 2	7.20	233.90	187
Guijá well 3	7.04	376.70	298
Guijá river 1	8.14	649.00	464
Guijá river 2	7.49	612.20	433
Guijá river 3	8.24	610.70	427

Tabela 12: Concentração dos elementos químicos presentes na água subterrânea e superficial na área do estudo

Sitename	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl ⁻	NO ₃ (N)	SO ₄ ⁻
Guijá well 1	46.4	24.8	18.7	3.37	206.75	16.69	8.8389	8.8
Guijá well 2	25.9	10.2	14.8	4.16	112.14	13.56	0.19	5.1
Guijá well 3	40.0	20.5	23.1	2.96	187.65	18.7	0.22	4.5
Guijá river 1	39.2	31.1	63.9	4.70	203.83	75.76	0.21	44.7
Guijá river 2	52.9	29.1	45.5	2.67	198.64	78.43	0.19	24.8
Guijá river 3	48.9	24.8	46.0	3.61	194.81	72.79	0.19	34.9

Tabela 13: Resultado do cálculo da RAS para fontes hídricas

Pontos	RAS	OBS
Guijá well 1	0.5544	Excelente
Guijá well 2	0.6267	Excelente
Guijá well 3	0.4430	Excelente
Guijá river 1	1.858	Excelente
Guijá river 2	1.2539	Excelente
Guijá river 3	1.3413	Excelente

Tabela 14: Identificação de processos hidroquímicos dominantes na contribuição da qualidade de água segundo seus respectivos raios iônicos

Parameter/ratio (meq/L)	Critical value	Conclusion	Sources
$\frac{Na^+ + K^+ - Cl^-}{Na^+ + K^+ - Cl^- + Ca^{2+}}$	>0.2 and <0.8 <0.2 or >0.8	Plagioclase weathering possible Plagioclase weathering unlikely	[1]
$\frac{Na^+ - Cl^-}{Ca^{2+} + Mg^{2+} - SO_4^{2-} - HCO_3^-}$	= -1	Ion exchange	[2]
$\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$	HCO₃⁻/SiO₂ > 10 =0.5 <0.5 >0.5 HCO₃⁻/SiO₂ < 5 <0.5 >0.5	Carbonate weathering: Dolomite weathering Limestone-dolomite weathering Dolomite dissolution, calcite precipitation or seawater Silicate weathering: Ferromagnesian minerals Granitic weathering	[1]
$\frac{Ca^{2+}}{Ca^{2+} + SO_4^{2-}}$	=5 <0.5; pH <5.5 <0.5 neutral >0.5	Gypsum dissolution Pyrite oxidation Calcium removal – ion exchange or calcite precipitation Calcium source other than gypsum—carbonates or silicates	[1]
$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{HCO_3^- + SO_4^{2-}}$	<1 >1	Silicate weathering Carbonate weathering	[3]
$\frac{Na^+}{Cl^-}$	=1 >1	Halite dissolution Source of Na is silicate weathering	[4]
$\frac{Ca^{2+}}{Mg^{2+}}$	= 1 >1 >2	Dolomite dissolution; Ca and Mg from carbonate minerals Calcite Dissolution of silicates	[1] & [5]
TDS	>500 <500	Carbonate weathering or brine or seawater Silicate weathering	[1]
$CAI_1 = \frac{[Cl - (Na + K)]}{Cl}$ $CAI_2 = \frac{[Cl - (Na + K)]}{(SO_4 + HCO_3 + CO_3 + NO_3)}$	>1 <1	Reverse ion exchange Ion exchange	[6]

[1] Hounslow (1995); [2] Fisher and Mullikan (1997); [3] Nur et al. (2012); [4] Richter and Kreitler (1993); Edmunds et al. (2003) referred in Monjerezi et al. (2012); [5] Mayo and Loucks (1995); [6] Laxman et al. (2014); Nagaraju et al. (2006); Chebbah and Allia (2015).

Tabela 15: Valores da estatística descritiva em água subterrânea

Parâmetros (mg/L)	Água subterrânea		
	Média	Mínimo	Máximo
Na ⁺	18.88	14.8	23.1
K ⁺	3.5	3.37	4.16
Cl ⁻	16.32	13.56	16.69
NO ₃ ⁻	3.08	0.19	8.83
HC03⁻	168.85	112.14	206.75
Ca²⁺	37.44	25.9	46.4
Mg ²⁺	18.48	10.2	24.8
SO ₄ ²⁻	6.15	4.5	8.8
pH	7.1	7.04	7.2
STD	271	187	327
EC (µS/cm)	344.5	233.9	423

Tabela 16: Valores da estatística descritiva em água superficial

Parâmetros (mg/L)	Água superficial		
	Média	Mínimo	Máximo
Na ⁺	51.82	45.5	63.9
K ⁺	3.66	2.67	4.7
Cl ⁻	75.66	72.79	78.43
NO ₃ ⁻	0.2	0.19	0.21
HC03⁻	199.09	194.81	203.83
Ca²⁺	46.99	39.2	52.9
Mg ²⁺	28.33	24.8	29.1
SO ₄ ²⁻	34.84	24.8	44.7
pH	7.95	7.49	8.24
STD	441	427	464
EC (µS/cm)	624	610.7	649.2