

ARTIGO Nº 19072

## ZONALIDADE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE POSTO ADMINISTRATIVO DE MAFAMBISSE

Augusto Parauzibe Mazezo<sup>1(\*)</sup>, Assane Luís Pena<sup>1</sup>, José Arão<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Naturais, Universidade Licungo – Beira, Mozambique

<sup>2</sup>Departamento de Geociências, Universidade De Évora – Évora, Portugal

(\*)Email: augustomazezo@gmail.com

### RESUMO

Este trabalho caracterizou a composição química das águas subterrâneas de Posto Administrativo de Mafambisse, numa área que compreende quatro bairros da localidade, isto é, Espangara, bairro 2, Campo 11 e 4 de Outubro, com o propósito de identificar a zonalidade da composição química das águas existente na área de estudo. O estudo foi realizado num único período apenas, período chuvoso (estação seca ou de inverno), mês de Setembro, cuja colheita de amostras foi feita em dois dias seguidos, uma no dia 02.09.19 e a segunda no dia 03.09.19, com a execução das análises das amostras colhidas nos respectivos dias da amostragem. Foram colhidas oito amostras de água, três colhidas no Espangara, duas no bairro 2, duas ainda no 4 de Outubro e uma no Campo 11. Em *in situ* e em laboratório foram analisados os parâmetros: Temperatura (T), Condutividade Eléctrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Potencial hidrogeniónico (pH), com recurso aos medidores multifuncionais das marcas HQ11d e HQ40d e Dureza (CaCO<sub>3</sub>), por titulometria. A alcalinidade (TA) foi obtida com base na correlação existente entre este e o potencial hidrogeniónico (pH). Por titulometria, foram determinadas as concentrações de Cálcio (Ca<sup>2+</sup>), Magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e Cloreto (Cl<sup>-</sup>). Com base nas concentrações calculou-se as razões iónicas de Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>/Ca<sup>2+</sup>. Os resultados revelam diferença da composição química resultante da geologia (dos aquíferos), existem na área de estudo águas de argilas ou margas e de grés calcários, influenciada, muito possivelmente, pela intrusão marinha e/ou pela acção antrópica.

**Palavras-chaves:** zonalidade, composição química, água subterrânea.

### INTRODUÇÃO

A importância da água para o homem e para a manutenção da vida na natureza é imensurável. De toda água existente na Terra 95,96% é salgada e cerca de 4,04% é doce. Desta última, aproximadamente 0,0001% encontra-se dispersa na biosfera, 0,001% na atmosfera, 0,009 % encontra-se nos lagos e rios, 2,97% nas geleiras e gelo polar e 1,05% nos aquíferos (Press et al., 2006). Neste âmbito, a água dos aquíferos que perfazem as águas subterrâneas e a dos lagos e rios que perfazem as superficiais são as que têm sido recorridas pelo homem para as diversas utilidades. É comum pensar-se que as águas superficiais se encontram em maior proporção, no entanto, são as águas subterrâneas é que estão, somente 3% são superficiais e cerca de 97% encontram-se na subsuperfície (Feitosa & Filho., 2000). Por isso, o estudo das águas subterrâneas, principalmente dos aquíferos é imprescindível uma vez que constituem uma das mais valiosas fontes hídricas para a manutenção da vida humana.

A água subterrânea é toda e qualquer água que se encontra abaixo do nível freático. Tem origem no ciclo hidrológico e se forma mediante a infiltração e percolação da água precipitada no solo

e nas rochas podendo formar aquíferos (Feitosa & Filho., 2000; Ferreira et al., 2007). Quanto às suas características físico-químicas as águas subterrâneas tendem a aumentar de concentrações em relação as águas superficiais, evoluem a medida que percolam os diferentes substratos rochosos (Feitosa & Filho cit. por Menezes., 2012). A quantidade e/ou o tipo de sais em águas subterrâneas depende da sua origem, do curso percolado, da composição, do fluxo subterrâneo, da fonte de recarga do aquífero, do clima (Yaron, 1973; Shalhevet & Kamburov, 1976; Todd & Mays, 2005 cit. por Maia et al., 2017), do tempo de percolação, da profundidade de percolação, etc., ou seja, devido aos factores geológicos, a verticalidade e aos aspectos climáticos, isto é, zonalidade geológica, vertical e climática, respectivamente (Szikszay, s/d). A qualidade das águas subterrâneas está directamente ligada às suas características físico-químicas resultantes de factores que podem ser intrínsecos ou extrínsecos ao aquífero. Os intrínsecos dizem respeito à própria geologia do aquífero, principal fonte de iões para as águas subterrâneas, enquanto os extrínsecos, são relativos a outras fontes como águas pluviais, actividades antrópicas, zona de misturas com outros corpos de água, etc., (Deutsch, 1997, cit. por Menezes, 2012).

Segundo Mestrinho (2005, cit. por Zavoudakis, 2007) os constituintes que ocorrem naturalmente podem afectar o sabor da água, seu uso para propósitos particulares e a saúde humana, se utilizado para beber ou cozinhar no preparo de alimentos. Associado ao facto de que hidrogeoquímica tem por finalidade a identificação e qualificação das principais propriedades e constituintes das águas subterrâneas procurando estabelecer uma relação com o meio físico (Sena, 2011 cit. por Campos, 2015), procura-se estabelecer a diferença de paladar das águas subterrâneas existentes na área de estudo. Procura-se identificar as causas que ditam a diferença da composição química e sua relação com o meio físico, com o entendimento de que a evolução da composição química nos aquíferos depende da zonalidade geológica, ligada aos factores geológicos; vertical, ligada à profundidade; e da climática, dependente de factores climáticos (Szikszay, s/d).

## **OBJECTIVOS DE TRABALHO**

Constitui objectivo principal do trabalho estudar a zonalidade da composição química das águas subterrâneas do posto Administrativo de Mafambisse, com o propósito de relacioná-las com área de estudo e cartografar as áreas amostradas com diferenças acentuadas. Para além deste, definiram-se também os seguintes objectivos secundários:

- Determinar as propriedades físicas e a composição química das amostras de águas subterrâneas da área de estudo;
- Classificar as águas subterrâneas, quanto as suas propriedades físicas e geoquimicamente;
- Descrever o comportamento iónico e das razões iónicas da composição química das águas e sua relação com a área de estudo;
- Identificar a zonalidade da composição química das águas da área em estudo, com o propósito de sua cartografia.

## **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **Localização geográfica**

Geograficamente, a área de estudo está localizada no posto administrativo de Mafambisse, este que faz fronteira com os postos administrativos: a Norte, Muanza e Galinha (ambos no distrito de Muanza); a Sul, Búzi (no distrito de Búzi); a Oeste, Tica (no distrito de Nhamatanda); e a

Este, Dondo (no distrito com o mesmo nome); ambos os distritos na província de Sofala. A área de estudo envolve 4 bairros desta localidade, nomeadamente, Espangara, Bairro 2, Campo 11 e Bairro 4 de Outubro (Figura 1).

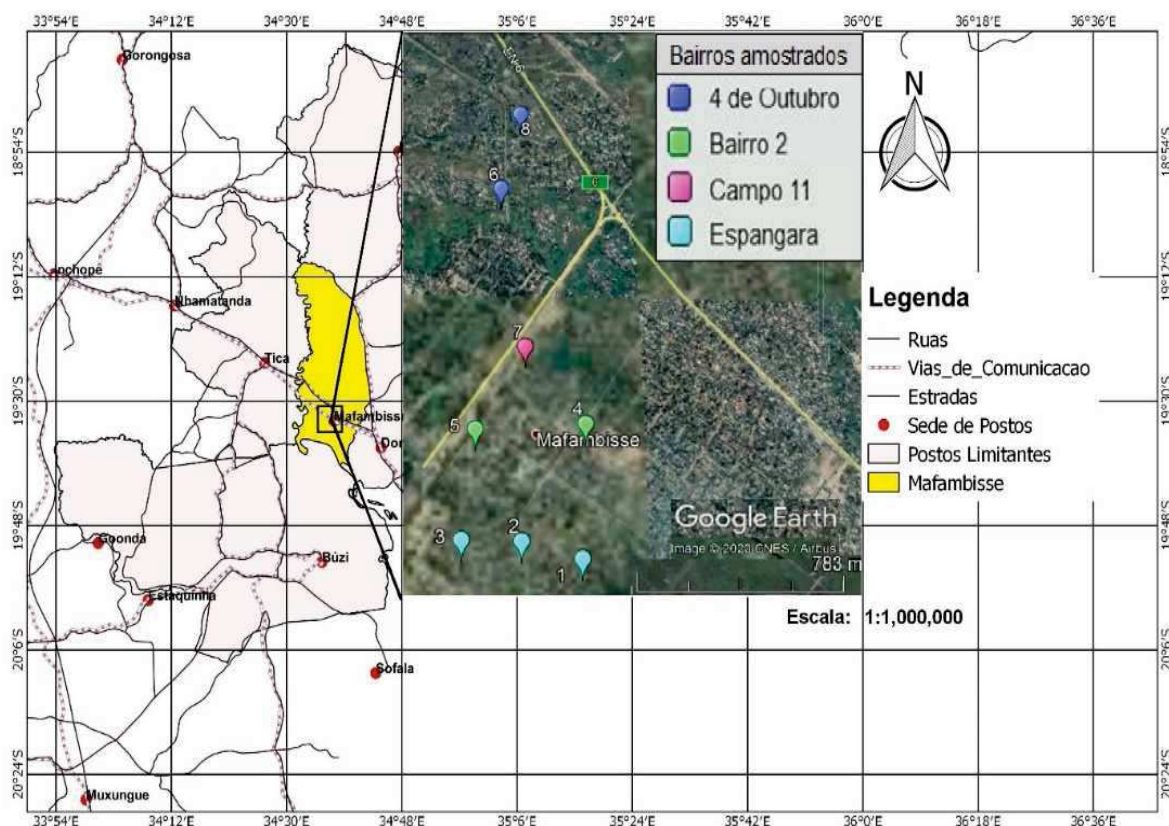


Fig. 1 – Localização geográfica do Posto Administrativo de Mafambisse – área de estudo.

## Clima

A área de estudo se insere no contexto climático do distrito e da localidade, onde que, o mesmo possui, na climática de Köppen, um clima na zona de transição do clima tropical chuvoso (húmido) para o de estepe com estação seca no inverno (GDD, 2017). A temperatura média do ar é de 27°C, a média anual dos valores máximos é de 30-31°C com valores máximos possivelmente em Janeiro/ Fevereiro (32-33 °C) e os mínimos em Julho (26-27 °C). O valor médio anual das temperaturas mínimas é de 18-19°C com valores mais altos em Janeiro-Fevereiro (22 °C) e os mais baixos em Julho (14-15 °C). E, a precipitação anual varia na ordem de 1.000 mm a 1.459 mm e a evapotranspiração potencial média se encontra na ordem de 1.496 mm.

## Geologia

No geral, Mafambisse apresenta como material geológico (Figura 2) aluvião (Qa), coluvião (Qc), areia argilosa de planície de indução eluvionar (Qps) e grés arcósico, em parte conglomerático (TeZ). De acordo com GTK Consortium (2006), estes materiais, das 6 sequências deposicionais no Sul e no centro de Moçambique, fazem parte de duas delas, a saber:

- A sequência 5- Deposição Oligocênica Pleistocênica das formações Inhaminga e Mazamba, esta última, representada como TeZ na carta geológica;

- A sequência 6- Depósitos Quaternários subdivididos em depósitos Pleistocênicos, como Terraços Fluviais e Depósitos Coluviais, representados na carta como Qc e depósitos Holocênicos, como os depósitos de composição areno argilosa e lamosa, dunas costeiras e depósitos aluviais, que é o caso dos depósitos Qa, que corresponde a aluvião, areia, solo arenoso, silte, cascalho, argila lacustre de ambiente salobro, sedimentos estuarinos e Qps.

Entretanto, de forma localizada a área de estudo não foge tanto da regional, porém tem pouca diferença. Dos depósitos considerados, somente os depósitos Qps, Qc e TeZ é que fazem parte da geologia sendo que os mesmos constituem as estruturas que armazenam as águas subterrâneas.

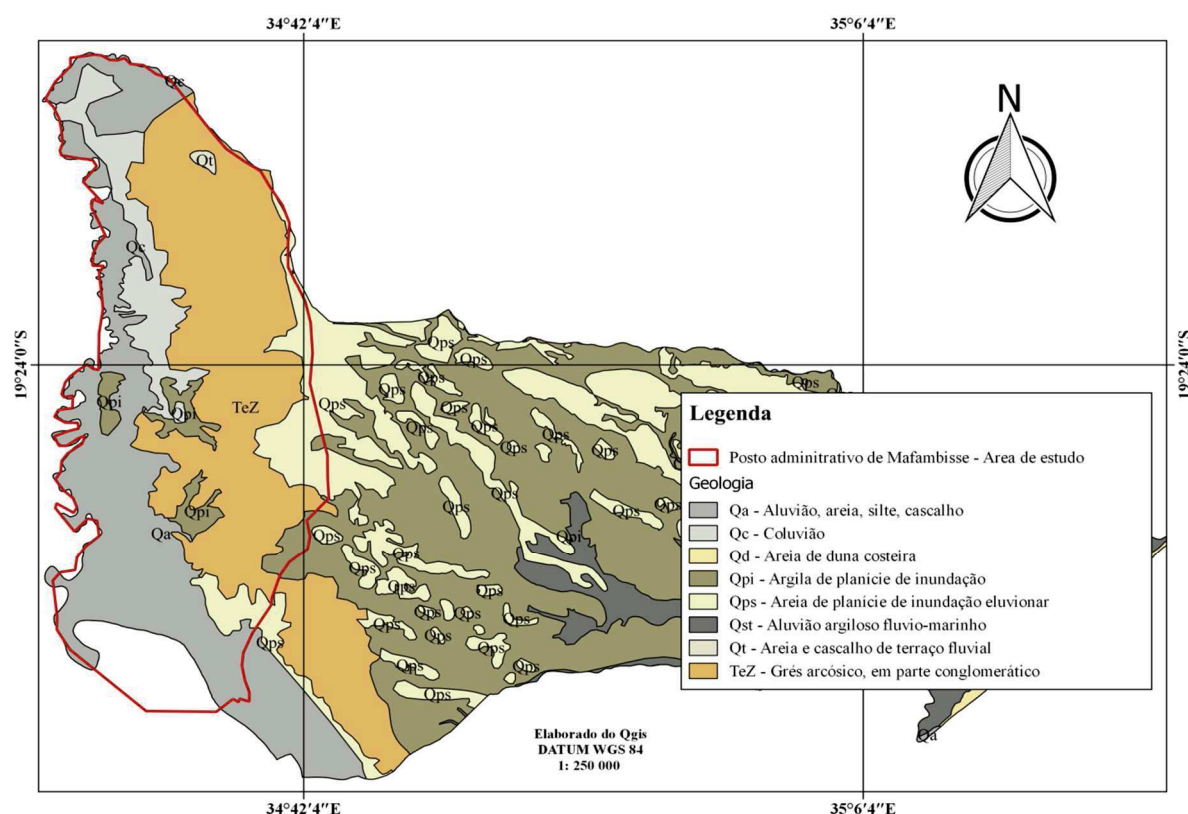


Fig. 2 – Geologia da área de estudo (Autores, adaptado de GTK Consortium, 2006).

## Hidrogeologia

De acordo com DNA (1987), dados tirados da carta hidrogeológica (Figura 3), em Mafambisse compreendem aquíferos muito fracos a fracos e moderadamente produtivos, cuja permeabilidade está entre a fraca e média ou variável, sendo a vazão (Q) variável, isto é, Q menor que 5 m<sup>3</sup>/h para os fracos a muito fracos e 3 a 10 m<sup>3</sup>/h para os moderadamente produtivos. Assim sendo, em função da geologia, tem-se:

- Aquífero predominantemente fissurado (descontínuo), com permeabilidade fraca, produtividade moderada, vazão (Q) = 3 a 10 m<sup>3</sup>/h, que é o caso da formação de Mazamba (TTs);
- Aquífero predominantemente intergranular (contínuo, geralmente não consolidado), com permeabilidade fraca, produtividade moderada, Q = 3 a 10 m<sup>3</sup>/h, como é o caso do coluvião relacionado com zonas montanhosas (Qc);



- Aquífero local (intergranular ou fissurado), com permeabilidade fraca a muito fraca, sendo por isso a produtividade, limitada, com  $Q < 5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Isto é, os depósitos argilosos (Qal).

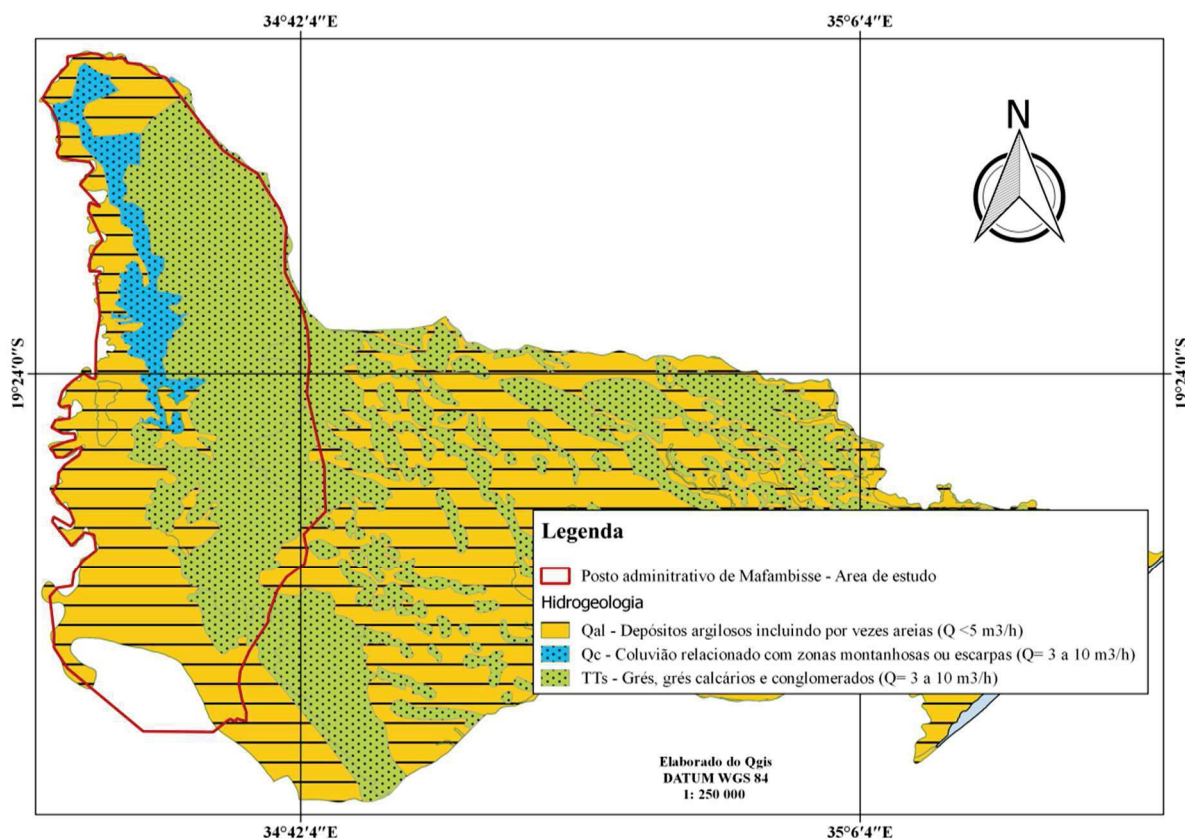


Fig. 3 – Hidrogeologia da área de estudo (Autores, adaptado de DNA, 1987).

## METODOLOGIA

Para concretização da pesquisa adoptou-se como metodologia a seguir, etapas e procedimentos seguintes:

### Levantamento bibliográfico

Nesta etapa da pesquisa, consistiu na busca da bibliografia existente, que pudesse suportar o embasamento teórico e metodológico da pesquisa. Com isso, essa busca concentrou-se em livros, teses, dissertações, monografias, relatórios, artigos, cartas, mapas e sítios da *internet*.

### Trabalho de campo

O trabalho de campo que consistiu no deslocamento para o campo com a finalidade primordial de colher amostras representativas para o estudo. Foram colhidas oito amostras, três no Bairro Espangara, duas no Bairro 2, uma no Campo 11 e duas no Bairro 4 de Outubro. Assim, permearam o trabalho de campo as etapas sucessivas descritas abaixo:

- Trabalho preliminar de reconhecimento de furos e/ou poços que tinha como foco reconhecer o estado dos pontos a amostrar. Neste reconhecimento, alguns pontos (fontenários, poços e/ou furos) que se encontravam obsoletos foram tomados em conhecimento e desprezados para o efeito de amostragem;

- Antes da colheita e conservação das amostras para a posterior análise das mesmas, reuniram-se todos materiais necessários para o efeito, como os recipientes (figura 4. a), caixa térmica (figura 4. b), etc., e só assim passou-se a colheita de amostras que consistiu em pôr água nos recipientes e despejá-la por três vezes até se garantir que no recipiente houvesse somente água a amostrar. As amostras de água foram retiradas de fontenárias “bombas manuais” (figura 4. b) e uma torneira dum furo (figura 4. c, d). No âmbito da amostragem, todos com excepção de um ponto, onde se amostrou água da torneira houve necessidade de drenar água por algum tempo, por não ter sido encontrada em uso no instante em que se pretendia colher a amostra. Foram medidos *in loco* dados de T, CE, STD e pH com os medidores multifuncionais das marcas HQ11d e HQ40d, que consistiu basicamente na introdução dos eléctrodos na amostra de água. O processo de colheita foi feito no mês de Setembro (estação seca ou de inverno), em 2 dias seguidos (dias: 02/09/2019 e 03/09/2019) com a duração de 1 hora cada.
- As amostras depois de colhidas foram armazenadas e conservadas em uma caixa térmica (figura 4. e). Num trajecto de 58 km, em meio terrestre, as amostras foram transportadas da área de amostragem (Mafambisse) para o laboratório de análises da Empresa FIPAG (Beira), percurso que durou 1 hora em ambos os dias.



Fig. 4 – Processo de amostragem de amostras de água subterrânea: a - recipiente rotulado; b - autor no processo de colheita de amostras e ilustração da fontenária ou bomba manual; c - tanque do furo de água associada a torneira; d - torneira do furo de água amostrada; e – ilustração da caixa térmica conservando amostras.

## **Análises laboratoriais**

No laboratório foram medidas as propriedades físicas outra lidas *in situ* e depois analisadas as concentrações dos iões  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$  no LABORATÓRIO DE QUALIDADE DA EMPRESA FUNDO DE INVESTIMENTO E PATRIMÓNIO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (FIPAG) segundo a Norma Moçambicana (NM) - 1996, Norma NMA – C17 como se descreve a seguir:

### **T, pH, CE, STD e TA**

A leitura dos parâmetros físicos foi feita com recurso aos medidores multifuncionais da marca MACH com referências HQ11d usado para temperatura (T) e potencial hidrogeniónico (pH) e HQ40d para a condutividade eléctrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD). Esta leitura consiste na introdução dos eléctrodos que estão directamente ligados ao instrumento na amostra de água onde os valores são apresentados no instante em se efectua a leitura. A alcalinidade total (TA) foi determinada correlacionando os valores de pH.

### **Determinação da Dureza, $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e $\text{Cl}^-$**

A determinação da dureza ( $\text{CaCO}_3$ ) foi feita para se obter a concentração de  $\text{Mg}^{2+}$ , bem como, para a classificação das águas quanto a dureza suprimindo a classificação geoquímica que não se conseguiu fazer devido a ausência da análise de outros iões usados para o efeito, que na altura não se faziam nem no laboratório da FIPAG e nem noutros que fazem análises químicas de água, para auxiliar na visualização, identificação e caracterização da diferença composição química dessas águas. Assim, foram mensuradas as concentrações dos iões  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e com recurso ao método titulométrico.

#### **Dureza ( $\text{CaCO}_3$ )**

##### **❖ Materiais**

- a) Bureta de 50 mL;
- b) Pipeta graduada de 25 mL;
- c) Balão volumétrico de 50 mL;
- d) Becker de 100 mL;
- e) Frasco erlenmeyer de 250 mL;
- f) Solução padrão de EDTA<sup>1</sup>;
- g) Solução tampão<sup>2</sup>;
- h) Indicador *Eriochrome Black T*;

##### **❖ Procedimento**

- 1º - Tomou-se 50 mL da amostra e transferiu-se para um Becker de 100 mL;
- 2º - Adicionou-se 1 mL da solução tampão para elevar o pH a  $10 \pm 0,1$ ;
- 3º - Transferiu-se para um Erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 1 gota do indicador *Eriochrome Black T*;
- 4º - Com recurso a uma pipeta, titulou-se com EDTA, e foi se agitando continuamente até o desaparecimento da cor púrpura avermelhada e o aparecimento da cor azul (indicando o final da titulação);
- 5º - Anotou-se o volume de EDTA gasto em cada titulação (mL);

---

<sup>1</sup>Ácido etilenodiaminotetracético;

<sup>2</sup> Para a calibração do pH;



6º - Fez-se os cálculos para achar a concentração de  $\text{CaCO}_3$  em mg/L para cada amostra, a partir fórmula matemática (1) que se segue abaixo, onde  $V_1$  – volume da solução gasta na titulação (mL) e  $V$  – volume da toma da amostra (mL).

$$\text{CaCO}_3(\text{mg. L}^{-1}) = 1000X \frac{V_1}{V} \quad (1)$$



Fig. 5 – Imagem ilustrativa das amostras após a titulação.

## Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )

### ❖ Materiais

- Pipeta graduada de 25 mL;
- Becker de 100 mL;
- Frasco erlenmeyer de 250 mL;
- Balão volumétrico de 50 mL;
- Hidróxido de Sódio [NaOH];
- Solução padrão de EDTA;
- Indicador *murexida* (purpurato de amónio).

### ❖ Procedimento

- Tomou-se 50 mL da amostra com recurso a um Becker de 100 mL;
- Transferiu-se para erlenmeyer de 250 mL;
- Adicionou-se 2 mL de NaOH;
- Agitou-se a mistura e adicionou-se 5 gotas de murexida (Purpurato de amónio);
- Titulou-se com EDTA até a mudança de cor rósea para púrpura;
- Anotou-se o volume gasto de EDTA de cada titulação (mL);
- Fez-se cálculos de concentração em mg/L de cálcio para cada água amostra usando a fórmula matemática (2) que se segue abaixo.

$$\text{Ca}^{2+}(\text{mg. L}^{-1}) = 400,8 X \frac{V_1}{V} \quad (2)$$





Fig. 6 – Imagem ilustrativa das amostras após a titulação.

### Magnésio ( $Mg^{2+}$ )

A determinação do magnésio foi feita usando a equação (3) que relaciona o cálcio e a Dureza a seguir, onde A – Dureza (mg/L) e B – Cálcio (mg/L).

$$Mg^{2+}(\text{mg. L}^{-1}) = (A - B) \times 0,24 \quad (3)$$

### Cloreto ( $Cl^-$ )

#### ❖ Materiais

- a) Pipeta graduada de 25 mL;
- b) Becker de 100 mL;
- c) Frasco erlenmeyer de 250 mL;
- d) Balão volumétrico de 50 mL;
- e) Indicador: Cromato de Potássio ( $K_2CrO_4$ );
- f) Titulante: Nitrato de Prata ( $AgNO_3$ ).

#### ❖ Procedimento

- 1º - Mediu-se 90 mL da água destilada e adicionou-se 10 mL da amostra com recurso ao Becker de 100 mL;
- 2º - Transferiu-se para erlenmeyer de 250 mL;
- 3º - Adicionou-se 1 mL de Cromato de Potássio;
- 5º - Agitou-se a mistura e titulou-se com Nitrato de Prata até o desaparecimento da cor amarela e o aparecimento da cor laranja-tijolo;
- 6º - Anotou-se o volume gasto de Nitrato de Prata para cada titulação em mL;
- 7º - Fez-se cálculos de concentração em mg/L de cloreto ( $Cl^-$ ) para cada amostra usando a fórmula matemática (4) que se segue abaixo, onde a – volume de titulante gasto na titulação da amostra (mL); b – volume de titulante gasto na titulação do EB (mL); N – normalidade; V – volume da amostra analisada (mL). A diluição das amostras foi recorrida para economizar o reagente visto que na preparação do EB (ensaio em branco) verificou-se que as amostras tinham uma concentração relativamente considerável de  $Cl^-$ .

$$Cl^- (\text{mg. L}^{-1}) = \frac{(a-b) \times N \times 35,45 \times 1000}{V} \quad (4)$$



Fig. 7 – Imagem ilustrativa das amostras antes e após a titulação.

### Tratamento de dados

Nesta fase da pesquisa, após o conhecimento dos resultados laboratoriais, os dados foram tratados e organizados com recurso ao *Excel* para obtenção de dados estatísticos mínimo, máximo e média, razões iónicas e coeficiente linear de Pearson dos mesmos. As razões iónicas foram determinadas para indicar o grau de relacionamento da água com o tipo de material percolado, método importante para a classificação e interpretação hidrogeoquímica das águas subterrâneas (Manassés, 2009; Cruz et al, s/d). Para a determinação das razões iónicas de  $rCa^{2+}/rMg^{2+}$  efetuou-se o quociente entre concentração de  $Ca^{2+}$  e do  $Mg^{2+}$  e  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$ , entre a concentração do  $Mg^{2+}$  e do  $Ca^{2+}$  (Cruz et al, s/d). Os dados foram correlacionados recorrendo-se ao coeficiente de Pearson que permite avaliar o grau de relacionamento entre duas variáveis, sendo que os valores significativos são os que apresentam  $\rho \geq 0,60$  (Lira, 2004; Pena, 2016). Para a cartografia da diferença da composição química e física das águas foi usado o programa *Qgis* na versão 2.18.

### APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise das amostras de águas colhidas permitiu conhecer os teores (Tabela 1) e correlacioná-los (Tabela 2) como se apresenta e discute a seguir:

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos das águas da área de estudo.

Amostra	T °C	pH	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	TDS mg/L	CaCO <sub>3</sub> mg/L	Ca <sup>2+</sup> mg/L	Mg <sup>2+</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	rCa <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	rMg <sup>2+</sup> /Ca <sup>2+</sup>
1	27,1	4,1	1053,0	499,0	80,0	14,4	16,0	117,0	0,9	1,1
2	27,4	7,5	871,0	407,0	76,0	16,0	14,6	129,7	1,1	0,9
3	27,4	7,8	1096,0	516,0	68,0	18,4	12,1	142,5	1,5	0,7
4	27,3	7,0	716,0	332,0	70,0	14,4	13,5	152,1	1,1	0,9
5	27,4	7,8	218,0	98,0	42,0	9,6	7,9	88,3	1,2	0,8
6	27,2	8,3	1547,0	742,0	22,0	4,8	4,1	136,1	1,2	0,9
7	27,9	7,1	872,0	409,0	100,0	21,6	19,1	126,6	1,1	0,9
8	26,3	6,8	989,0	469,0	68,0	14,4	13,0	283,0	1,1	0,9

Tabela 2 – Resultados do Coeficiente de correlação linear de Pearson para 10 pares de variáveis da área estudo.

→	T	pH	CE	STD	CaCO <sub>3</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	rCa <sup>2+</sup> / Mg <sup>2+</sup>	rMg <sup>2+</sup> / Ca <sup>2+</sup>
T	1,00									
pH	0,24	1,00								
CE	-0,21	-0,01	1,00							
STD	-0,21	0,00	1,00	1,00						
CaCO <sub>3</sub>	0,25	-0,49	-0,18	-0,19	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	0,33	-0,24	-0,18	-0,19	0,94	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	0,23	-0,54	-0,18	-0,19	1,00	0,90	1,00			
Cl <sup>-</sup>	-0,81	-0,03	0,26	0,26	0,09	0,09	0,08	1,00		
rCa <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	0,21	0,68	0,04	0,03	-0,23	0,12	-0,32	-0,04	1,00	
rMg <sup>2+</sup> /Ca <sup>2+</sup>	-0,22	-0,80	0,01	0,01	0,29	-0,06	0,37	0,01	-0,98	1,00

### Temperatura

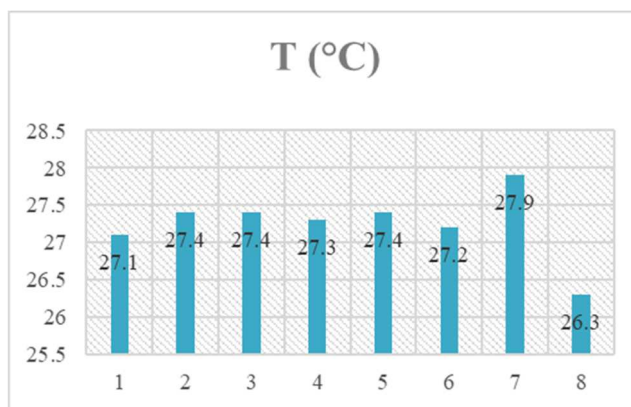


Gráfico 1 – Temperatura das águas amostradas.

A média da temperatura das amostras analisadas foi de 27,3°C, as temperaturas mostraram-se compatíveis às condições climáticas locais, uma vez que na área de estudo, a média anual dos valores máximos tem sido entre 30 e 31°C (GDD, 2017; Manassés, 2009; Feitosa & Filho, 2000; Santos, 2008 cit. por Crispim, 2016; Brazil, 2006 cit. por Silva, 2012).

### Potencial hidrogeniônico

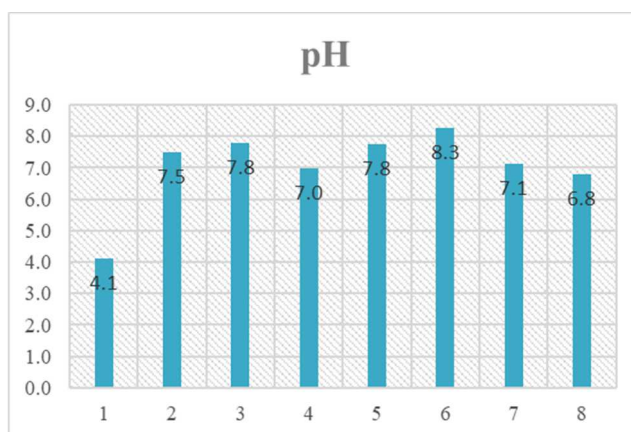


Gráfico 2 – pH das águas amostradas.

O potencial hidrogeniônico das amostras em análise está entre 4,1 da água do fontenário 1 e 8,3 da água do fontenário 6, sendo que a média é de 7,0. Águas dos fontenários 1 e 8 são ácidas; a água do fontenário 4 é neutra e as águas das restantes amostras são alcalinas (Crispim, 2016). O pH que a amostra 1 apresenta pode estar a tratar-se da cobertura vegetal densa que, a partir da sua decomposição nos solos, gera ácidos orgânicos que apresentam grupos carboxílicos (-COOH), que dissociam e libertam H<sup>+</sup>, reduzindo o pH das águas ou resultante da actividade antrópica com alguma significância para acidificar a água (Filho, 2018).

### Alcalinidade total

A alcalinidade está intrinsecamente ligada ao pH duma solução. Tendo em consideração ao pH, a amostra 1 apresentou alcalinidade de ácidos minerais, na faixa de 3,0 a 4,6, enquanto, as restantes amostras estão na faixa de 4,6 a 8,3, correspondente a alcalinidade de bicarbonatos (Crispim, 2016). A alcalinidade da amostra 1 pode dever-se à ácido livre, para além do ácido carbónico oriundo da cobertura vegetal densa que, a partir da sua decomposição nos solos, gera ácidos orgânicos que apresentam grupos carboxílicos (-COOH), que dissociam e libertam H<sup>+</sup>, reduzindo o pH das águas ou, possivelmente, resultante da actividade antrópica com alguma significância para acidificar a água (Inácio, 1995; Filho (2018). A TA das restantes amostras por apresentarem valores de pH entre 4,4 e 8,3, significa que elas têm somente bicarbonatos, CO<sub>2</sub> livre presente e carbonatos normais ausentes (Inácio, 1995; Blumberg & Netto, s/d). As amostras de águas ao não apresentarem um pH superior aos 8,3, ou seja, TA de carbonatos e/ou de hidróxidos, podem revelar que não sofrem contaminação decorrente da descarga de efluentes industriais, onde se empregam bases fortes como soda cáustica e cal hidratada (Piveli, s/d) apesar de existir na área de estudo uma indústria açucareira.

### Dureza

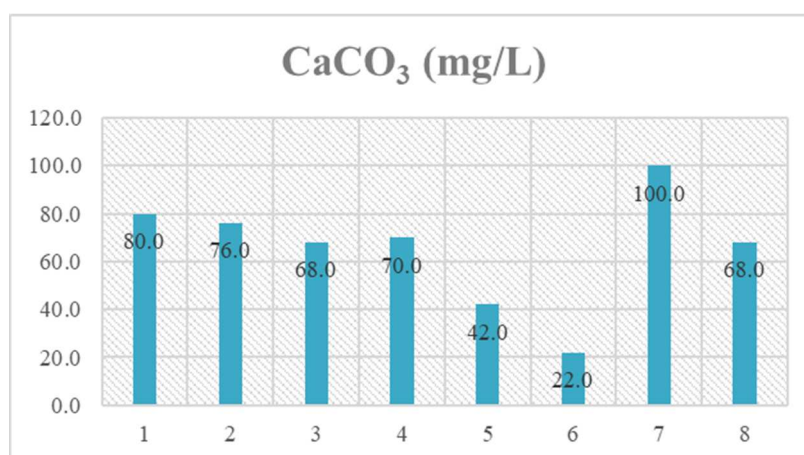


Gráfico 3 – Dureza das águas amostradas.

A média das amostras esteve na ordem dos 65,8 mg/L. A maioria das águas são do tipo pouco dura, variando na faixa de 50 a 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, exceptuando as amostras 5 e 6, que são brandas, cujos teores encontram-se na faixa de 0 a 50 mg/L (Crispim, 2016). As baixas concentrações dos iões Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> que as amostras 5 e 6 apresentam podem fazer com que as mesmas possuam baixos teores de dureza (Esteves, 1998 cit. por Silva, 2012). Os valores maiores que 200 mg/L de CaCO<sub>3</sub> indicam águas muito duras e podem indicar contaminação, no entanto, todas amostras apresentaram teores abaixo dos 200 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, podendo excluir a possibilidade de contaminação (Custodio & Llamas, 1983; Santos, 2000 cit. por



Zavoudakis, 2007). O teor que a amostra de água que o fontenário 7 apresenta pode ser devida as maiores concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Esteves, 1998 cit. por Silva, 2012).

### Condutividade eléctrica

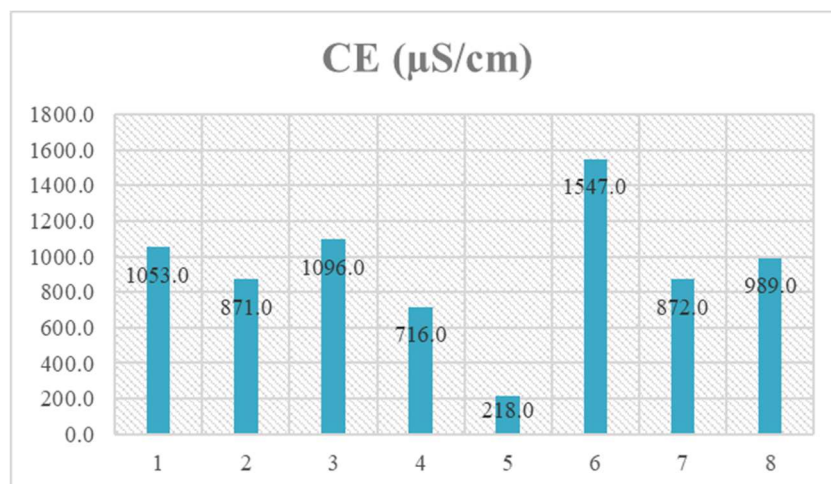


Gráfico 4 – Condutividade eléctrica das águas amostradas.

A CE mede a capacidade dos sais dissolvidos e ionizados conduzirem a corrente eléctrica (Capp et al, 2012). Quanto maior o valor para este parâmetro, maior é o grau de mineralização da água (Clesceri et al, 1999, cit. por Campos, 2015). A média dos teores foi de 920,3 µS/cm. Níveis superiores a 150 µS/cm que amostras apresentam podem indicar ambientes negativamente impactados (Filho, 2018). O aumento da CE nas amostras colhidas pode decorrer de processos naturais de interação água-rocha, nomeadamente, a dissolução, ou de processos de contaminação (industrial, agrícola, intrusão salina, etc.) (Pina, 2009 cit. por Crispim, 2016).

### Sólidos totais dissolvidos

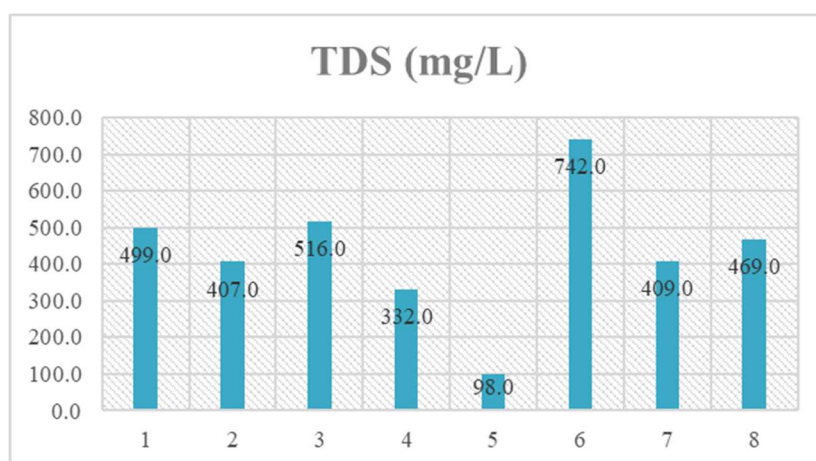


Gráfico 5 – STD das águas amostradas na área de estudo.

A media dos teores das amostras em estudo foi de 434 mg/L. Pelos teores, cujos números encontram-se abaixo de 1.000 mg/L, são todas águas doces (Crispim, 2016). O menor teor que a amostra 5 apresentou pode ser explicado pela baixa concentração dos iões analisados. Enquanto a amostra 6, apresentou o maior teor de todos (742 mg/L). STD correspondem ao somatório de todos os iões presentes na água e expressa de forma absoluta o grau de salinidade das águas, apresentando boa correlação com a condutividade eléctrica (Costa et al., 2006).

Quando a estimativa de STD for igual ou maior aos 1000 mg/L, as águas são salobras e podem estar contaminadas (Marion et al., 2007), entretanto, não se observa neste parâmetro visto que amostras em análise apresentaram-se abaixo dos 1000 mg/L.

### Cálcio

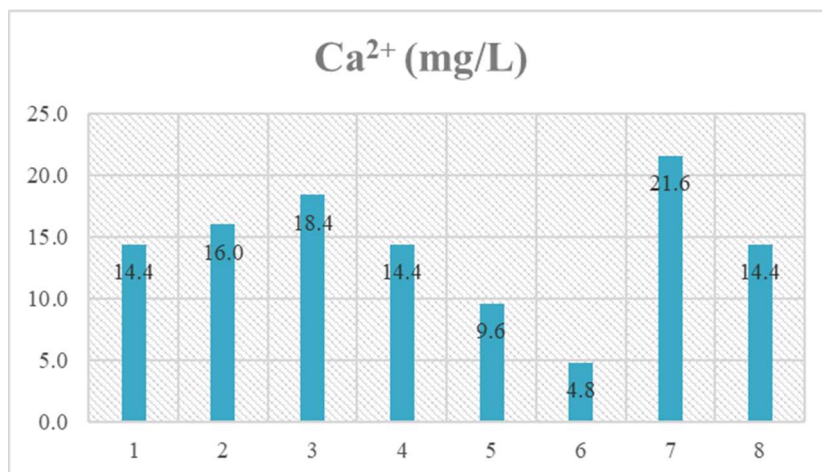


Gráfico 6 – Teor de Ca<sup>2+</sup> das águas amostradas na área de estudo.

O teor de cálcio nas amostras em análise variou de 4,8 mg/L da amostra 6 a 21,6 mg/l da amostra 7, a média foi de 14,2 mg/L. As amostras apresentaram teores normais de águas subterrâneas (Magalhães, 2006). A concentração de Ca<sup>2+</sup> na área de estudo não é muito discrepante. A ligeira diferença existente entre as amostras pode ser explicado pelos processos que governam o teor de sais em águas subterrâneas, pois, a quantidade e tipo de sais presentes na água subterrânea depende de sua origem, do curso sobre o qual ela flui e da composição e facilidade de dissolução do substrato em que se encontra em contacto, ou seja, da geologia da região; do meio percolado, do tipo e velocidade do fluxo subterrâneo, da fonte de recarga do aquífero e do clima da região (Todd & Mays, 2005; Yaron, 1973; Shalhevet & Kamburov, 1976 cit. por Maia, 2017) e também, de actividades antrópicas sobre os aquíferos (Deutsch, 1997, cit. por Menezes, 2012).

### Magnésio

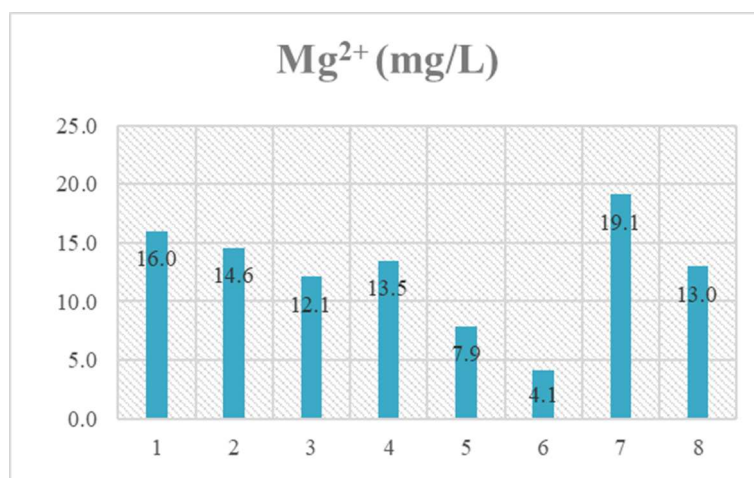


Gráfico 7 – Teor de Mg<sup>2+</sup> das águas amostradas na área de estudo.

As amostras de água em análise apresentaram uma média de 12,5 mg/L. As amostras em estudo apresentam teores típicos de águas subterrâneas (Hem, 1985 cit. por Crispim, 2016). A ligeira diferença que as amostras apresentaram também pode ser explicada pelos processos que governam o teor de sais em águas subterrâneas propostos por Todd & Mays (2005; Yaron, 1973; Shalhevet & Kamburov, 1976 cit. por Maia, 2017) e Deutsch (1997, cit. por Menezes, 2012) apresentados acima.

### Cloreto

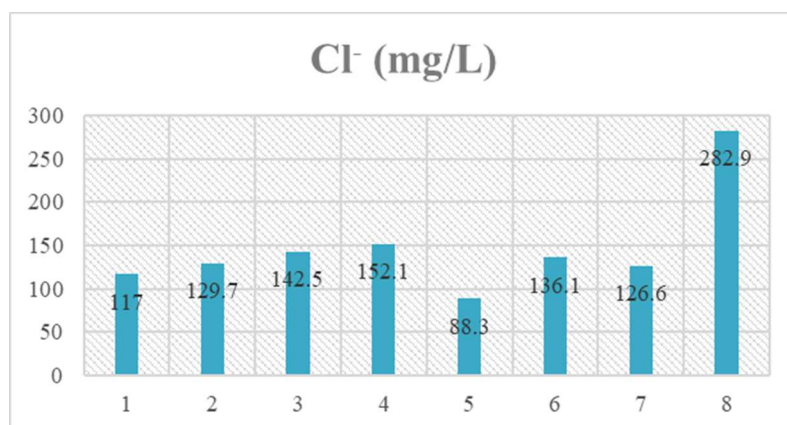


Gráfico 8 – Teor de Mg<sup>2+</sup> das águas amostradas na área de estudo.

As amostras de água em análise apresentaram uma média de 146,9 mg/L. A amostra 5 apresentou a menor concentração, com cerca de 88,3 mg/L e a amostra 8, com a maior de todas, com cerca de 282,9 mg/L. Com exceção da amostra 5, todas as amostras apresentam concentração superior aos 100 mg/L podendo indicar a possibilidade de contaminação (Santos, 2011 cit. por Filho, 2018). Assim, os pressupostos que para explicar o tipo e a quantidade dos íons nas águas subterrâneas considerados por Yaron (1973; Shalhevet & Kamburov, 1976; e Todd & Mays, 2005, cit. por Maia, 2017) e Deutsch (1997, cit. por Menezes, 2012) apresentados acima são válidos para explicar as concentrações deste íon.

### Razões iónicas

#### Razão iónica rMg<sup>2+</sup>/Ca<sup>2+</sup>

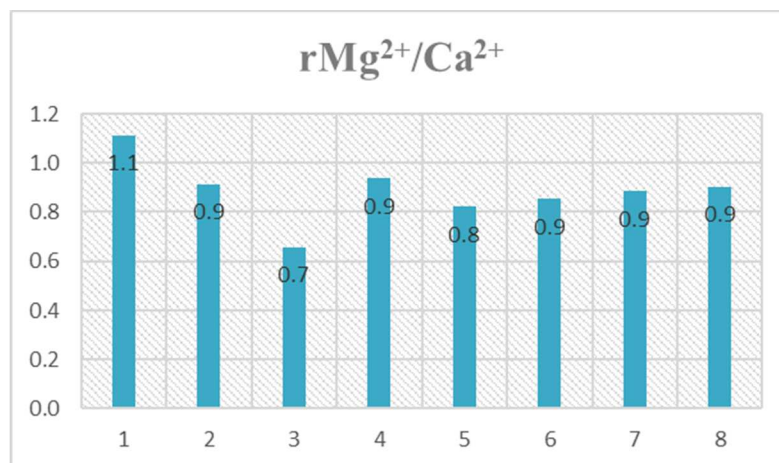


Gráfico 9 – Valores da razão iónica rMg<sup>2+</sup>/Ca<sup>2+</sup>.

A razão iónica de Magnésio e Cálcio das amostras em análise está entre 0,9 e 1,5. Os valores encontram-se dentro dos 0,33 e 1,5 indicando que às águas são continentais. No entanto, a amostra de água do fontenário 1 apresentou valor superior a 1, indicando relação com litotipos ricos em silicatos magnesianos (Manassés, 2009; Cruz et al, s/d), ou seja, de argilas ou margas, com a razão de  $(rMg^{2+}/Ca^{2+}) > (rCa^{2+}/Mg^{2+})$  (Schoeller, 1962 cit. por Szikszay, s/d).

### 1.1.1. Razão iónica $rCa^{2+}/Mg^{2+}$

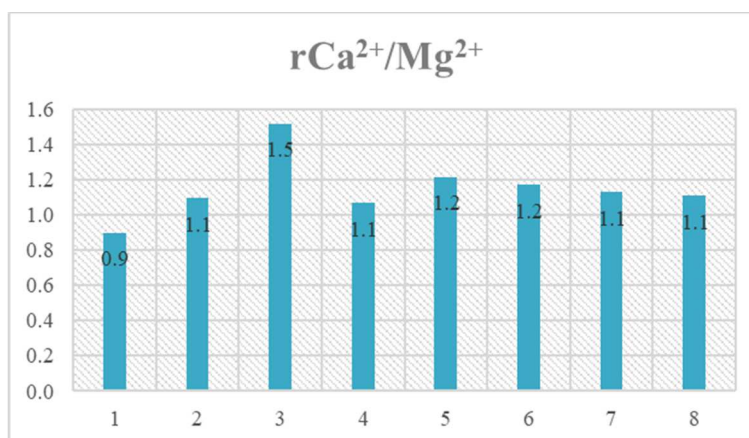


Gráfico 10 – Valores da razão iónica  $rCa^{2+}/Mg^{2+}$ .

A razão iónica de Cálcio e magnésio das amostras de água em análise apresentou-se entre 0,9 e 1,5. Todas as amostras, com excepção da amostra 1, apresentaram valores superiores a 1, indicando, no entanto, a existência de intrusão marinha (Hem, 1985 cit. por Cruz et al, s/d). Em regiões litorâneas, as águas subterrâneas podem ter esta razão elevada, juntamente com altas concentrações de  $Cl^-$  (Zavoudakis, 2007). Outrossim é a razão de  $(rCa^{2+}/Mg^{2+}) > (rMg^{2+}/Ca^{2+})$  que as restantes amostras apresentam que revelam ser águas de calcários ou de material litológico com alguma presença de material calcáreo como é o caso de grés calcários (Schoeller, 1962 cit. por Szikszay, s/d).

### Correlação dos parâmetros

Os valores significativos foram referentes aos pares das variáveis  $rCa^{2+}/Mg^{2+}$  e pH; STD e CE;  $Ca^{2+}$  e  $CaCO_3$ ;  $Mg^{2+}$  e  $CaCO_3$ ;  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$  (Tabela 2). O grau de relacionamento entre  $Ca^{2+}$  e Dureza e  $Mg^{2+}$  e Dureza são de se esperar uma vez que a dureza está associada à estes iões (Esteves, 1998, cit. por Silva, 2012). O mesmo sucede para CE e STD, pois, são fortemente relacionáveis (Younger, 2007, cit. por Crispim, 2016).

A relação pH e  $rCa^{2+}/Mg^{2+}$  ( $\rho = 0.68$ ) indica que existe uma forte correlação linear entre estas variáveis na área de estudo. Significa que o pH é mais relacionável com a  $rCa^{2+}/Mg^{2+}$ . A  $rCa^{2+}/Mg^{2+}$  relaciona as águas com os aquíferos. Teoricamente, a  $rCa^{2+}/Mg^{2+}$  em causa relaciona as águas da área de estudo com os calcários, entretanto, confrontando com os dados da carta hidrogeológica, é, na realidade, mais para grés calcário do que calcário propriamente dito. Esta correlação revela que a maior parte do pH (87,5% aproximados, correspondente à 7 amostras) encontrado na região é influenciado por aquíferos de composição grés calcário, e a TA que as amostras apresentaram que é de bicarbonatos, também prova esta teoria. Entretanto, o coeficiente em causa, ao não se relacionar muito fortemente ( $\rho = 1$ ), revela a existência do pH influenciado por outros aquíferos (12,5% aproximados, correspondentes a uma amostra) ligada às argilas e margas.



## Cartografia

As informações discutidas acima sobre a zonalidade da composição química na área de estudo foram cartografadas com recurso as ferramentas de SIG. São apresentados a seguir os mapas temáticos (Figura 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14) que espelham em resumo a discussão da diferença da zonalidade da composição química na área de estudo através dos parâmetros expostos acima.

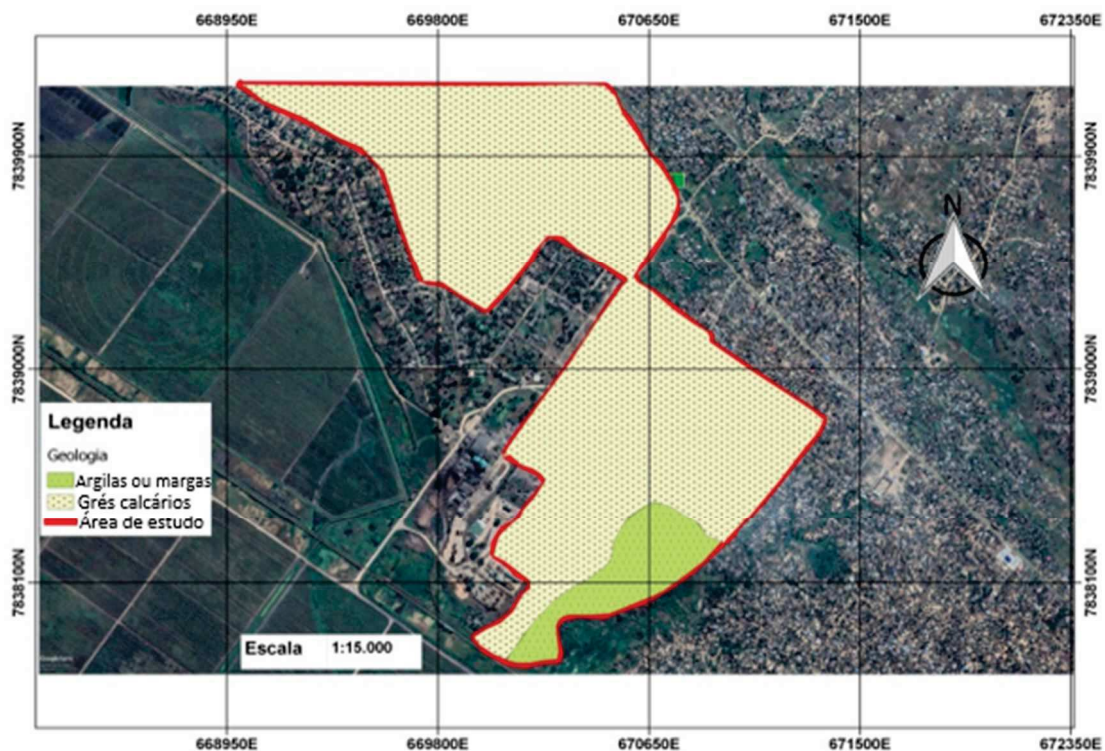


Fig. 8 – Litologia dos aquíferos da área amostrada.

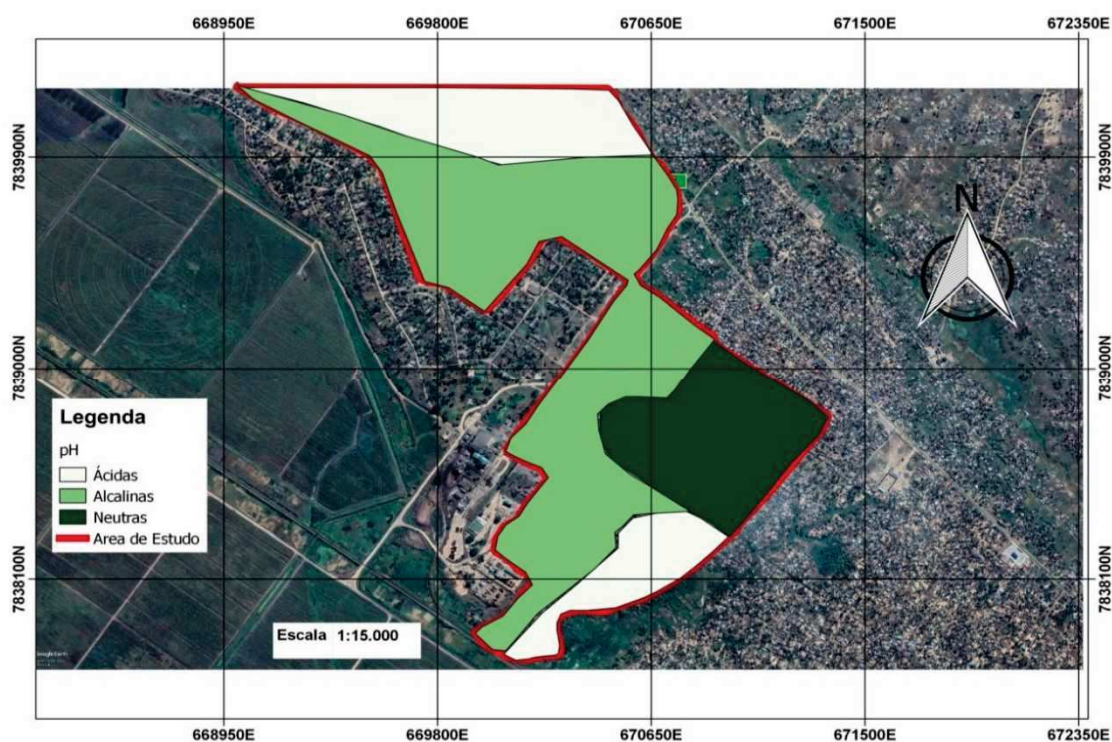


Fig. 9 – Variação do pH na área de estudo.



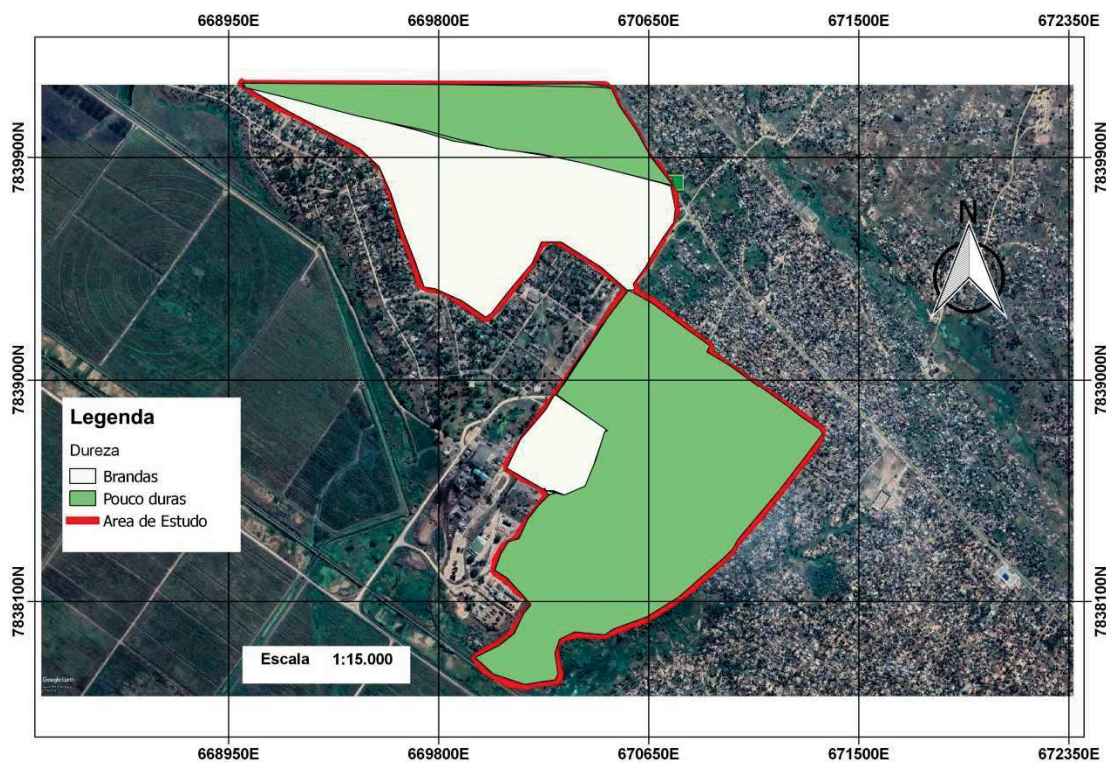


Fig. 10 – Variação da Dureza na área de estudo.

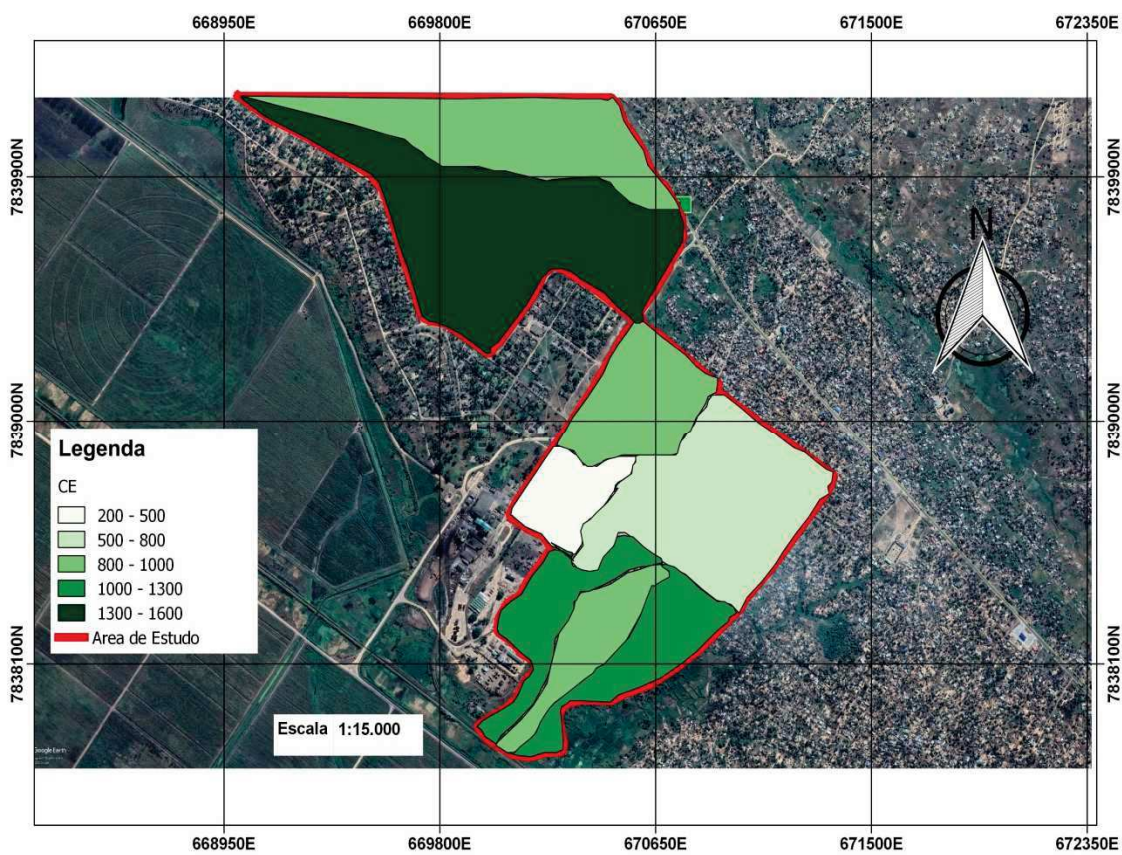


Fig. 11 – Variação da Condutividade Eléctrica.



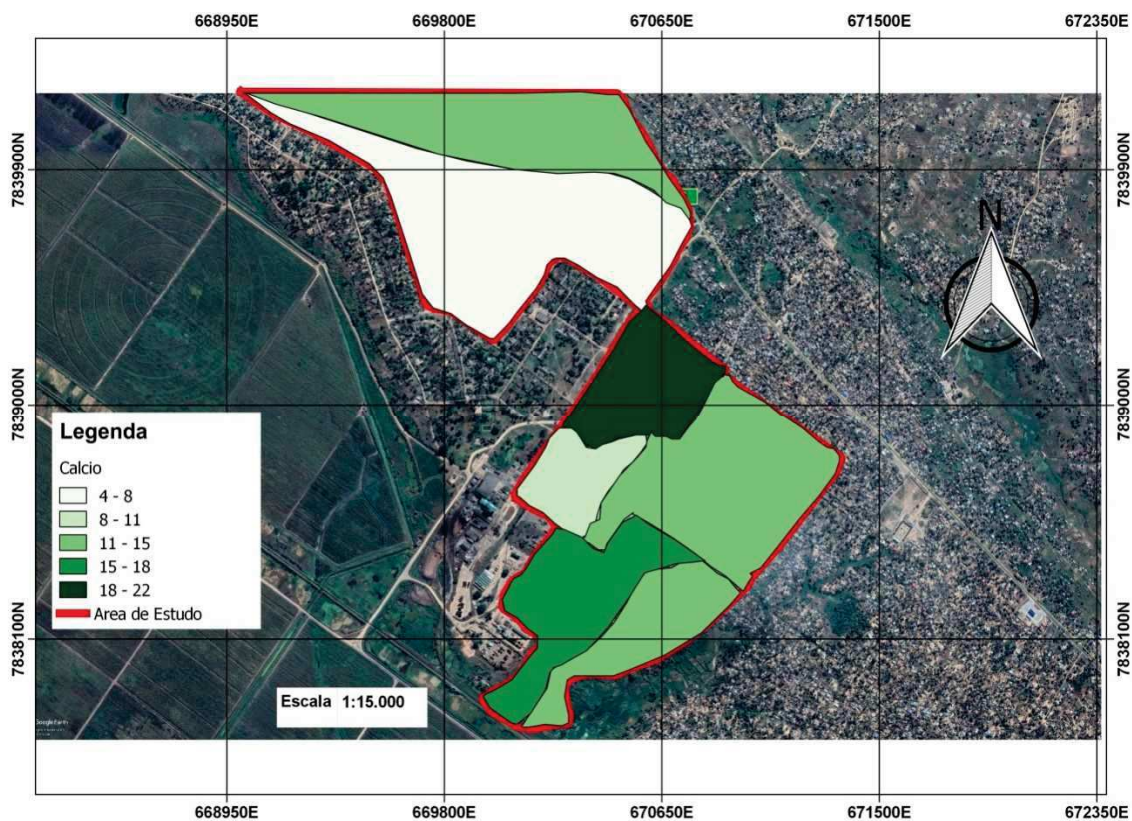


Fig. 12 – Teor de Cálcio.

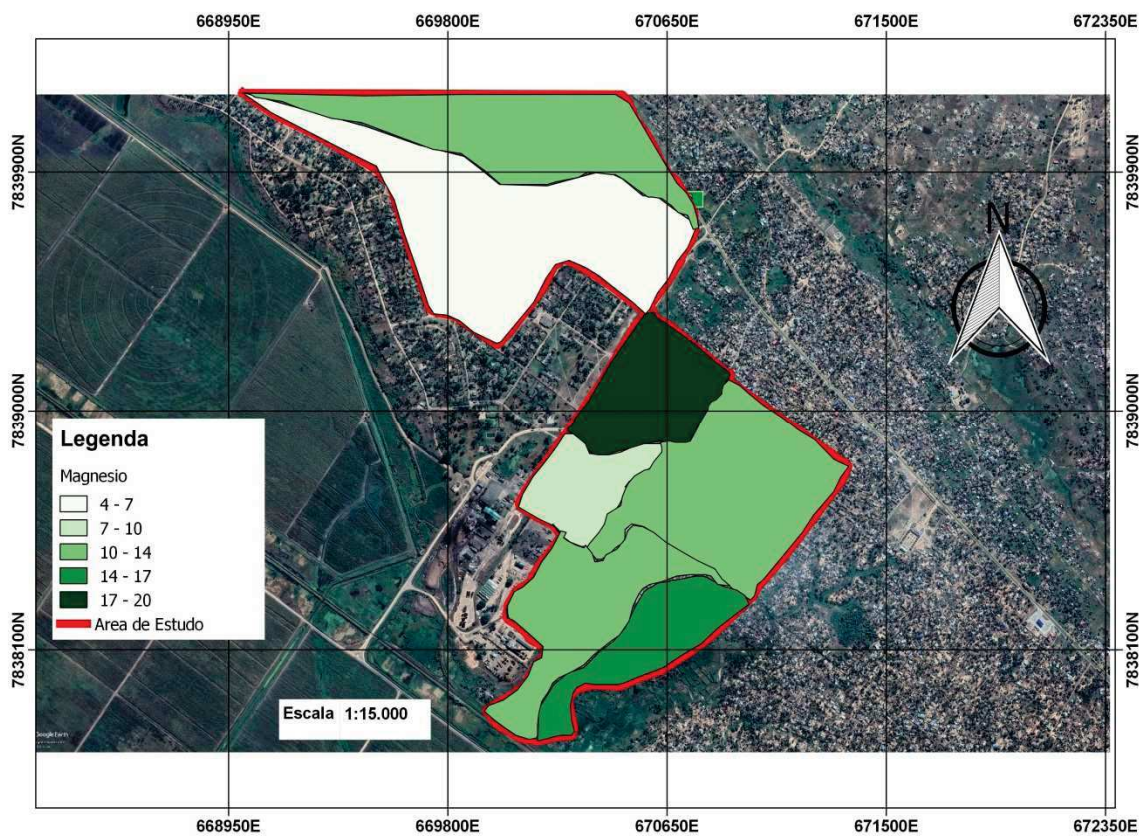


Fig. 13 – Teor de Magnésio.



Fig. 14 – Teor de Cloreto.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Existem variações de teores nos parâmetros analisados, consequentemente, diferenças na composição química das águas da área de estudo. As águas estudadas são todas doces, sendo que umas são ácidas (25% correspondente a duas do total de amostras colhidas), outras neutras (12,5% correspondente a uma amostra colhida) e boa parte das mesmas, são alcalinas (62,5% correspondente a cinco amostras). Umhas possuem alcalinidade de ácidos minerais e outras, na sua maioria, possuem alcalinidade de bicarbonatos. Com relação à dureza, algumas são do tipo brandas (25% correspondente a duas do total de oito amostras colhidas) e outras, são pouco duras (75% correspondente a 6 amostras). As águas da área de estudo são tipicamente continentais. Há na área de estudo águas que são de argilas ou margas (12,5% correspondente a uma do total de amostras colhidas) e águas de grés calcários (87,5% correspondente a sete amostras) cujas composições estão ligadas esses mesmos aquíferos. A acção dos aquíferos sobre as características físico-químicas é visivelmente notável pela variação do pH e pelas razões iónicas. A diferença da composição química das águas deve-se aos aspectos geológicos e possivelmente, também, resultante da influência da intrusão marinha e/ou actividade antrópica com potencial para alterar as características dessas águas, contudo, devido à falta de dados não permitiu concluir com exatidão a influencia que estes últimos factores, daí que, se recomenda uma pesquisa que envolva maior número de amostras e parâmetros que devido à limitações económicas e técnicas que na presente pesquisa não se conseguiu ultrapassar (análises biológicas, determinação do teor de outras substancias, etc.).

## REFERÊNCIAS

[1] Blumberg, E & Neto, J. (s/d). Alcalinidade e dureza das águas naturais- processos de redução da dureza. D.A.E.



- [2] Campos, R. F. (2015). Análise da qualidade das águas subterrâneas e determinação do índice de vulnerabilidade do aquífero serra geral no município de medianeira – PR (Dissertação de Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Brasil.
- [3] Capp, N., Ayach, L. R., Santos, T. M. B., & Guimarães, S. T. L. (2012). Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácia (MS). Meio Ambiente e Qualidade ambiental, vol. 16, n. 3, 2236-4994.
- [4] Costa, A. M. B., Melo, J. G., & Silva, F. M. (2006). Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no estado do rio grande do Norte, nordeste de brasil. Águas Subterrâneas, v.20, n.1, 67-82.
- [5] Crispim, Z. M. P. (2016). Análise da vulnerabilidade e caracterização hidrogeológica dos aquíferos livres rasos da parte emersa da bacia sedimentar de campos (Tese de Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro Campos dos Goytacazes. Campos dos Goytacazes, Brasil.
- [6] CRUZ, A., Silva, G. C. J., & Almeida, G. M. (s/d). Modelagem hidrogeoquímica do aquífero freático da restininga, Niterói- RJ. \_\_\_\_\_.
- [7] DNA (1987). Carta Hidrogeológica de Moçambique. \_\_\_\_\_.
- [8] Feitosa, F. A. C & Filho, J. M. (2000). Hidrogeologia- conceitos e aplicações. Fortaleza, Brasil: CPRM.
- [9] Ferreira, A. N. P., Lima, C. F., Cardoso, F. B. F., & Kerrelhur, J. T. (2007). Águas subterrâneas, um recurso reconhecido e protegido. Brasília, Brazil: Agência Crio.
- [10] Filho, V. J. (2018). Qualidades das águas subterrâneas rasas do aquífero barreira: estudo de caso em benevides- PA (Dissertação de Mestrado). Universidade do Pará, Belém, Brasil.
- [11] GDD. (2017). Plano distrital de desenvolvimento do dondo. Governo do Distrito do Dondo (GDD), Dondo.
- [12] GTK Consortium. (2006). Map Explanation; Volume 2: Sheets 1630 – 1634, 1732 – 1734, 1832 – 1834 and 1932 - 1934. Geology of Degree Sheets Mecumbura, Chioco, Tete, Tambara, Guro, Chemba, Manica, Catandica, Gorongosa, Rotanda, Chimoio and Beira, Mozambique. Maputo: Ministério dos Recursos Minerais, Direcção Nacional de Geologia.
- [13] Inácio, S. T. (1995). Análise físico e química de águas e produtos para tratamento de águas. Universidade Federal De Santa Catarina, Brasil.
- [14] Lira, S. A. (2004). Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil.
- [15] Magalhães, V. S. (2006). Hidroquímica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas bacias dos córregos águas santa e palmeiras município de coronel murta (MG) (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- [16] Maia, P. J. S., Souza, M. P., Paes, O. A. R. L., & Freitas, F. A. (2017). Estudo da variação da salinidade de águas subterrâneas do poço amazonas (Canindé- ceará) em função da pluviosidade. Scientia Amazonia, v.6, n.3, 83-91.
- [17] Manassés, F. (2009). Caracterização hidrogeológica de água subterrânea da formação serra geral na região sudoeste do estado do paraná (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

- [18] Marion, F. A., Capoane, V., & Silva, J. L. S. (2007). Avaliação da qualidade da água subterrânea em poço raso no campus da UFSM, Santa Maria- RS. *Ciência e Natura*, 29 (1), 97-109.
- [19] Menezes, J. P. C. (2012). *Influencia do uso e ocupação da Terra na Qualidade da Água subterrânea e Sua Adequação Para Consumo Humano e Uso na Agricultura (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, Brasil.
- [20] Pena, A. L. (2016). *Caracterização granulométrica, mineralógica e geoquímica dos sedimentos da embocadura porto da figueira da foz (Dissertação de Mestrado)*. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- [21] Piveli, R. P. (s/d). Curso: “qualidades das águas e poluição: aspectos físicosquímicos”.
- [22] Press, F., Siever, R., Grotzinger, J., & Jordan, T. H. (2006). *Para entender a terra*. Nova Iorque, EUA: Bookman.
- [23] Silva, F. V. (2012). *Avaliação da contaminação das águas subterrâneas por atividade cemiterial na cidade de maceió (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil.
- [24] Sziksay, M. (s/d). *Geoquímica das águas*. Universidade São Paulo, São Paulo, Brasil.
- [25] Zavoudakis, E. (2007). *Impactos de urbanização sobre a qualidade de água freática em áreas de vitória, ES (Dissertação de Mestrado)*. Universidade do Espírito Santo, Vitória, Brasil.