



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

LUDMILA PRAZERES DAS FLORES OLIVEIRA ROCHA

**HIDROQUIMICA DO AQUIFERO COSTEIRO DO MUNICIPIO DE ITAREMA -
CEARÁ.**

FORTALEZA

2015

LUDMILA PRAZERES DAS FLORES OLIVEIRA ROCHA

**HIDROQUIMICA DO AQUIFERO COSTEIRO DO MUNICIPIO DE ITAREMA -
CEARÁ.**

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito necessário para obtenção do grau de Doutor em Geologia.

Área de concentração: Hidrogeologia e Recursos Minerais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Diolande Ferreira Gomes Freire.

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sonia Maria Silva Vasconcelos.

FORTALEZA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- R574h Rocha, Ludmila Prazeres das Flores Oliveira.
Hidroquímica do aquífero costeiro do município de Itarema - Ceará / Ludmila Prazeres das Flores Oliveira Rocha. – 2015.
348 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2015.
Área de Concentração: Hidrogeologia e Recursos Minerais.
Orientação: Profa. Dra. Diolande Ferreira Gomes Freire.
Coorientação: Profa. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos.
1. Hidroquímica. 2. Itarema (CE). 3. Água - Qualidade. I. Título.

2015

LUDMILA PRAZERES DAS FLORES OLIVEIRA ROCHA**HIDROQUIMICA DO AQUIFERO COSTEIRO DO MUNICIPIO DE ITAREMA -
CEARÁ.**

Tese submetida à coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito necessário para obtenção do grau de Doutor em Geologia.

Aprovado em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA:

Dr^a. Diolande Ferreira Gomes Freire (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. George Satander Sá Freire
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Horst Frischkorn
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Carlos Emanuel de Carvalho Magalhães
Universidade Estadual do Ceará – UECE

Dr. Idembergue Barroso Macedo de Moura
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).
Serviço Geológico do Brasil.

À Trindade Santa: Deus Pai, Jesus o Filho
e ao Divino Espírito Santo.

À memória de meus Pais, Luiza Aparecida
das Flores e Manuel Oliveira da Silva.

Ao meu marido Carlos Marcio Soares
Rocha.

Aos meus filhos, Luma Oliveira Rocha e
Luca Oliveira Rocha.

E aos amigos que me ajudaram na
realização deste trabalho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo: A Deus, Meu Pai! A Jesus, Meu Rei e Salvador! Ao Divino Espírito Santo, Minha Luz!

Aos meus Pais, Luiza e Manuel, hoje juntos a Deus Pai no Reino do Céu, pela base familiar, pelo amor, pelos sacrifícios, pela educação... por tudo o que os seus corações se propuseram a transmitir. Espero ter sido uma boa filha e correspondido a tamanha dedicação.

Ao Professor Dr. George Satander Sá Freire. Por seu incentivo, idealização, apoio e contribuição para todo o desenvolvimento do trabalho.

À Professora Dra. Diolande Ferreira Gomes, pela orientação, realização de análises e busca por melhorias e enriquecimento do trabalho. Por se dedicar a esse com a atenção que costuma dar aos compromissos acadêmicos que assume.

À Professora Dra. Sônia Maria Vasconcelos, pela Co-orientação. Por colaborar na interpretação de dados, cálculos e execução desse trabalho.

Aos Professores Drs. Horst Frischkorn e Carlos Emanuel de Carvalho Magalhães por suas contribuições enriquecedoras em melhorias na interpretação de dados.

Ao Professor Dr. Itabaracy Nazareno pelo empréstimo de equipamento de medidor de nível estático e orientações quanto aos perfis litológicos da área estudada.

Ao Professor César Verríssimo e seus alunos Jefferson e Webber, pelo empréstimo de DGPS, coleta e tratamentos de dados.

Ao Professor Maurício Barreto, IFCE, pela contribuição com relação ao método DRASTIC.

À Professora Dra. Helena Becker, sempre como exemplo a seguir.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, representada pelo Professor Dr. José de Araújo Nogueira Neto e o Secretário Joao Benício Cavalcante Júnior.

Ao Marcio, Professor Dr., marido, parceiro de lutas e conquistas, amigo, e pai de nossos filhos Luma e Luca, nossas vidas. Pela dedicação em trabalhar juntamente e diretamente comigo em todas as campanhas de trabalho de campo, debaixo de sol, de chuva, de dia e de noite, mesmo diante de tantos compromissos profissionais. Por estar presente durante todo este, seja em campo, em laboratório e em gabinete.

Ao Sr. Edilson, funcionário do Departamento de Geologia, a quem tenho orgulho de chamá-lo de amigo. Sempre presente, dedicado e empenhado. Os trabalhos de campos aconteceram e foram perfeitos por que soubemos trabalhar em equipe.

Ao Geólogo e amigo Ronaldo Gomes, pela dedicação incomparável e indispensável junto ao trabalho e estudo de vulnerabilidade com aplicação do método DRASTIC.

À minha Amiga Denise Fernandes, que me surpreendeu e me surpreende diariamente com sua força e sua garra. Exemplo de ser humano justo, companheiro, solidário, simples e sincero. Nos momentos de minhas dificuldades, guardou as suas no bolso e foi cuidar das minhas. Eterna gratidão por sua sensatez e mão amiga.

À minha Irmã em Cristo e Amiga, Ana Carolina. Ombro, ouvido, braço, cabeça, coração... de tudo um pouco tirou de si e me deu.

À minha amiga Elisângela Nobre, por sua colaboração e orientação, sempre de coração aberto, a qualquer dia e qualquer hora. Pela amizade aqui firmada. Os melhores cafés foram ao seu lado.

Aos amigos Dr. Idembergue Moura e Inácio Ocinaí, por compartilharem comigo suas experiências como geólogos, pesquisadores e profissionais, colaborando com dados, mapas, considerações e figuras.

Aos alunos de graduação Jamille Freitas e André Renan, pelo auxílio na realização das análises em laboratório.

Ao primo Francisco de Assis Pereira Assunção Filho, pela colaboração.

Aos amigos Márcia Marinho, Lamarka Lopes, Ponciana Aguiar, Rosemary Landim, Rafael Mota, Karen Vendramini, Fernando de Andrade (Fernandinho), Cláudia Wanderley (Claudinha), Gabriela de Carvalho, Marisa Ribeiro, João Neto, Denise Santos, Tony Borges, Rafael Soares, Geny Gil e Saulo Maia, pelo convívio, troca de experiências e por colaborações diretas e indiretas.

Aos funcionários do Departamento de Geologia, Leal e Verônica. Assim como também às Senhoras Marcia e Vera.

Aos Moradores da Região de Itarema. Em especial ao Sr. Pedro, morador do Corguinho dos Silveros, onde acampamos durante os dias de trabalho de campo.

À Indústria de Produção de Pescados, Caju Côco, pelo fornecimento de gelo para preservação das amostras.

Meus sinceros agradecimentos!

As pedras que surgiram ao longo desse trabalho...

Em algumas escorreguei e caí.

Em outras tropecei e dei um solavanco.

Com algumas derrubei barreiras.

Com outras construí muralhas.

A falta de algumas fez surgir brechas.

A presença de outras, tampou.

A cada uma foi dado o seu devido valor.

E cada uma teve participação durante a caminhada nessa estrada.

A autora.

RESUMO

A área do estudo compreende a Zona Costeira do município de Itarema, distante 230 km de Fortaleza, Litoral Oeste do Estado do Ceará. Nesta área são raros os trabalhos que visam o estudo tanto das águas superficiais quanto subterrâneas. A exploração da água subterrânea tende a aumentar na área, devido ao aumento na densidade demográfica, trazendo com isso riscos potenciais de contaminação da água. Nesse sentido torna-se importante avaliar a qualidade da água e os mecanismos de recarga para a preservação e uso racional dessa. Foram coletadas amostras de águas superficiais e subterrâneas e realizadas medidas de variáveis físicas, químicas e bacteriológicas durante nove (9) campanhas de amostragem, empregando métodos titulométricos, espectrofotométricos e potenciométricos. As águas subterrâneas apresentam-se predominantemente como doce. E as águas superficiais, segundo classificação IQA-CETESB, encontram-se boas para abastecimento público. A contaminação por nitrato em águas subterrâneas, mesmo em baixas concentrações, evidencia ações antrópicas pontuais, não caracterizando efeito sazonal. O estudo dos elementos traço ora apresentou teores de alguns elementos mais elevados que os VMP previstos em legislação vigente, ora não. No entanto, estes não estão relacionados à possível contaminação por agrotóxicos, segundo os resultados das análises para quantificação e qualificação de organofosforados. Tais resultados podem estar associados ao tipo de construção dos poços, à profundidade destes, aos descartes de materiais diversos e até mesmo formação rochosa da área. Com relação ao estudo dos isótopos, prevalecem águas leves durante os períodos chuvosos às coletadas nos períodos de estiagem, o que caracteriza efeito quantidade de chuva. A recarga do aquífero (I_e) na área, foi estimada em 368,73 mm, representando 31% da PPT. E por fim, o estudo de vulnerabilidade à contaminação do aquífero através da aplicação do método DRASTIC apresentou que em 79% da área, predomina vulnerabilidade moderada e alta. Isso exige maiores cuidados com o uso e ocupação do solo, de forma a evitar danos aos mananciais subterrâneos.

Palavras-chave: Itarema - Ceará, Hidroquímica, Qualidade de água, Vulnerabilidade.

ABSTRACT

The study area covers the coastal area of the county of Itarema, 230 km from Fortaleza, West coast of the State of Ceará. In this area, rare are the works aimed at the study of both surface water and groundwater. Although the exploitation of groundwater tends to increase in the area, due to the increase in population density, bringing with it potential risks of water contamination. Therefore it is important to assess the quality of the water and recharge mechanisms for the preservation and rational use of these resources. We collected samples of surface water and groundwater and carried out measurements of physical, chemical and bacteriological variables for all nine (9) sampling campaigns, using titrimetry, spectrophotometric, potentiometric and atomic absorption spectrometry methods. Groundwater is predominantly fresh water. And surface waters, according to the IQA-CETESB classification are good for public supply. Nitrate contamination in groundwaters, even at low concentrations, shows anthropic actions, not featuring seasonal effect. The study of trace elements sometimes presented some elements with higher levels than the VMP estipulated expected in the current legislation. However, these are not related to possible contamination by agrochemicals, according to the results of the analyses for quantification and qualification of organophosphates. Such results can be associated with the construction of the wells, their depth, waste deposition of various materials and even rock formations in the area. With respect to the study of isotopes, prevail lighter waters during the rainy periods than those collected during periods of drought, which characterizes the amount effect in rainfall. Through the water balance was estimated that, on average, about 31% of the total annual precipitation recharge the aquifers. Finally, the study of vulnerability to contamination of the aquifer, through the DRASTIC method, showed that in 79% of the area prevail moderate and high vulnerability. This requires great care with the use and occupation of the soil, in order to prevent damage to groundwater resources.

Keywords: Itarema – Ceara, Hydrochemistry, Water quality, Vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Mapa de localização da área de estudo, abrangendo desde o distrito Almofala, passando por Itarema.....	47
Figura 02	Mapa de localização dos pontos de amostragem dentro da área de estudo.....	48
Figura 03	Mapa de localização e distinção entre os pontos de amostragem de águas superficiais e águas subterrâneas dentro da área de estudo.....	49
Figura 04	Mapa Geológico da área de estudo.....	57
Figura 05	Vegetação em torno do Córrego da Volta.....	64
Figura 06	Vegetação em Duna Fixa.....	65
Figura 07	Esquema ilustrativo do parâmetro D.....	82
Figura 08	Esquema ilustrativo do parâmetro R.....	83
Figura 09	Esquema ilustrativo do parâmetro A.....	85
Figura 10	Esquema ilustrativo do parâmetro S.....	87
Figura 11	Esquema ilustrativo do parâmetro T.....	88
Figura 12	Esquema ilustrativo do parâmetro I.....	90
Figura 13	Esquema ilustrativo do parâmetro C.....	91
Figura 14	Foto de medidor de nível estático utilizado em campo	136
Figura 15	Diagrama de Piper.....	145
Figura 16	Diagrama de Piper - Primeira Campanha (julho de 2010). Águas Subterrâneas.....	197
Figura 17	Diagrama de Piper - Primeira Campanha (julho de 2010). Águas Superficiais.	198
Figura 18	Diagrama de Piper - Segunda Campanha (janeiro de 2011). Águas Subterrâneas.....	199
Figura 19	Diagrama de Piper - Segunda Campanha (janeiro de 2011). Águas Superficiais.....	199
Figura 20	Diagrama de Piper – Terceira Campanha (maio de 2011). Águas Subterrâneas.....	200
Figura 21	Diagrama de Piper – Terceira Campanha (maio de 2011). Águas Superficiais.....	201

Figura 22	Diagrama de Piper – Quarta Campanha (novembro de 2011). Águas Subterrâneas.....	202
Figura 23	Diagrama de Piper – Quarta Campanha (novembro de 2011). Águas Superficiais.....	203
Figura 24	Diagrama de Piper – Quinta Campanha (janeiro de 2012). Águas Subterrâneas.....	204
Figura 25	Diagrama de Piper – Quinta Campanha (janeiro de 2012). Águas Superficiais.....	205
Figura 26	Diagrama de Piper – Sexta Campanha (julho de 2012). Águas Subterrâneas.....	206
Figura 27	Diagrama de Piper – Sexta Campanha (julho de 2012). Águas Superficiais.....	207
Figura 28	Mapa de caracterização do parâmetro D: profundidade do nível estático do aquífero, Índice DRASTIC na área de estudo em Itarema, Ceará.....	256
Figura 29	Mapa de caracterização do parâmetro A: Material do Aquífero, Índice DRASTIC, na área de estudo em Itarema, Ceará.....	259
Figura 30	Mapa de caracterização do parâmetro S: Tipo de Solo, Índice DRASTIC, na Área de Estudo em Itarema, Ceará.....	262
Figura 31	Percentual de declividade na área de estudo em Itarema, Ceará.....	263
Figura 32	Mapa de caracterização do parâmetro T: Declividade do Terreno, Índice DRASTIC, na Área de estudo em Itarema, Ceará.....	264
Figura 33	Mapa de caracterização do parâmetro I: Impacto da zona vadosa, Índice DRASTIC, na Área de Estudo em Itarema, Ceará.....	265
Figura 34	Mapa de caracterização do parâmetro C: Condutividade hidráulica do aquífero, Índice DRASTIC, na Área de Estudo em Itarema, Ceará.....	267

Figura 35	Mapa com a distribuição e caracterização das classes de vulnerabilidade do Índice DRASTIC, para a área em estudo.....	270
-----------	---	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 01	Origens dos constituintes principais das águas subterrâneas.....	73
Quadro 02	Elementos-traço importantes em águas naturais estudados nesse trabalho.....	114
Quadro 03	Resumo dos parâmetros analisados no estudo hidroquímico e o método aplicado.....	143
Quadro 04	Classificação do Índice de Qualidade de água.....	146
Quadro 05	Condições de operação do espectrofotômetro de absorção atômica - EAA-FG – empregando tubo de grafite como atomizador e argônio como gás de arrasto...	150
Quadro 06	Correlação de amostras coletadas, segundo resultados de $\delta^{18}\text{O}$ e o possível processo ocorrido.....	248
Quadro 07	Provável processo ocorrido nas amostras estudadas em cada campanha de coleta de acordo com os resultados de $\delta^{18}\text{O}$	249

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Observação da altitude geométrica na data do levantamento, em metros, na data de referência 2000.4.....	50
Tabela 02	Dados comparativos quanto ao abastecimento de água no Município de Itarema em relação ao Estado do Ceará.....	52
Tabela 03	Dados comparativos quanto ao esgotamento sanitário no Município de Itarema em relação ao Estado do Ceará.....	52
Tabela 04	Dados comparativos quanto ao número de domicílios permanentes segundo as formas de abastecimento de água entre o Município de Itarema e o Estado do Ceará como um todo, entre os anos de 2000 e 2010.....	53
Tabela 05	Distribuição das unidades geoambientais da Planície Litorânea do Estado do Ceará.....	59
Tabela 06	Distribuição dos geossistemas / geofácies do Município de Itarema, Zona Costeira do Estado do Ceará.....	59
Tabela 07	Peso relativo de cada parâmetro do Índice DRASTIC	79
Tabela 08	Intervalo de valores utilizados para classificação de vulnerabilidade.....	81
Tabela 09	Intervalos de profundidade, valores de avaliação e peso do Índice para o parâmetro D.....	82
Tabela 10	Pesos e índices para o parâmetro R.....	84
Tabela 11	Peso e índices para o parâmetro A.....	85
Tabela 12	Índices e peso atribuídos à constituição do solo (parâmetro S).....	86
Tabela 13	Índices e peso atribuídos ao percentual de declividade (parâmetro T).....	89
Tabela 14	Índices e peso atribuídos ao material da zona vadosa (parâmetro I).....	90

Tabela 15	Índices e peso atribuídos ao intervalo da condutividade hidráulica (parâmetro C).....	92
Tabela 16	Valor médio de $\delta^{18}\text{O}$ para Fortaleza.....	97
Tabela 17	Quantidade de amostras por campanha de trabalho de campo.....	133
Tabela 18	Faixa de valores de condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados, (adaptado de Fetter, 1988).....	139
Tabela 19	Curvas analíticas e limites de detecção e quantificação de elementos-traço.....	150
Tabela 20	pH nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	152
Tabela 21	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) nas águas de poços em Itarema durante o período de coleta.....	154
Tabela 22	Salinidade nas águas de poços em Itarema durante o período de coleta.....	155
Tabela 23	Concentração de brometo nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	157
Tabela 24	Concentração de nitrato nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	160
Tabela 25	Concentração de nitrito nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	161
Tabela 26	Concentração de nitrogênio amoniacal total nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	162
Tabela 27	Concentração de cálcio nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	163
Tabela 28	Concentração de magnésio nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	164
Tabela 29	Concentração de dureza total nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	166

Tabela 30	Concentração de bicarbonato nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	167
Tabela 31	Concentração de alcalinidade total nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	168
Tabela 32	Concentração de sódio nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	169
Tabela 33	Concentração de potássio nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	170
Tabela 34	Concentração de cloreto nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	172
Tabela 35	Concentração de fluoreto nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	173
Tabela 36	Concentração de sulfato nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	174
Tabela 37	Concentração de fosfato nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	175
Tabela 38	Concentração de sílica nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	176
Tabela 39	Concentração de ferro total nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	177
Tabela 40	Concentração de sólidos totais dissolvidos nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	179
Tabela 41	Turbidez nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	181
Tabela 42	pH nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	182
Tabela 43	Condutividade elétrica nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	183
Tabela 44	Salinidade nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	185
Tabela 45	Nitrato nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	185

Tabela 46	Nitrogênio total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	187
Tabela 47	Cálcio nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	188
Tabela 48	Magnésio nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	188
Tabela 49	Bicarbonato nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	189
Tabela 50	Dureza total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	189
Tabela 51	Sódio nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	190
Tabela 52	Potássio nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	190
Tabela 53	Cloreto nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	191
Tabela 54	Fluoreto nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	191
Tabela 55	Alcalinidade total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	192
Tabela 56	Sulfato total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	192
Tabela 57	Fósforo total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	193
Tabela 58	Sílica nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	193
Tabela 59	Ferro total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	194
Tabela 60	Sólidos totais dissolvidos nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	194
Tabela 61	Saturação de Oxigênio dissolvido nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta...	195

Tabela 62	Turbidez nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	195
Tabela 63	DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.	196
Tabela 64	Sólidos totais suspensos nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.....	196
Tabela 65	Coliformes Totais e Fecais nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.....	208
Tabela 66	Coliformes Totais e Fecais nas águas superficiais em Itarema durante o período de estudo.....	211
Tabela 67	Média dos valores observados de cada parâmetro avaliado para classificação IQA referente a cada ponto de coleta de amostra de água.....	213
Tabela 68	Classificação das águas superficiais de Itarema, segundo IQA.....	213
Tabela 69	Teores de chumbo observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).....	214
Tabela 70	Relação de Valores Máximos Permitidos (VMP) de chumbo em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	215
Tabela 71	Teores de cádmio observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e janeiro de 2011 (CHUVOSO).....	218
Tabela 72	Relação de Valores Máximos Permitidos (VMP) de cádmio em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	219
Tabela 73	Teores de alumínio observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO), janeiro de 2011 (INTERMEDIARIO) e maio de 2011 (CHUVOSO).....	223

Tabela 74	Relação de Valores Máximos Permitidos de alumínio em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	224
Tabela 75	Correlação de pH com os teores de alumínio.....	226
Tabela 76	Teores de manganês observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).....	228
Tabela 77	Relação de Valores Máximos Permitidos de manganês em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	228
Tabela 78	Teores de cromo observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).....	231
Tabela 79	Relação de Valores Máximos Permitidos de cromo em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	231
Tabela 80	Teores de bário observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO), janeiro de 2011 (INTERMEDIÁRIO) e maio de 2011 (CHUVOSO).....	234
Tabela 81	Relação dos Valores Máximos Permitidos de bário em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	235
Tabela 82	Teores de cobre observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010.....	238
Tabela 83	Relação dos Valores Máximos Permitidos de cobre em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	238
Tabela 84	Teores de níquel observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010.....	240
Tabela 85	Relação de Valores Máximos Permitidos de níquel em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	241

Tabela 86	Teores de cobalto observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010 (SECO).....	243
Tabela 87	Relação de Valores Máximos Permitidos de cobalto em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	243
Tabela 88	Relação de Valores Máximos Permitidos de antimônio em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.....	245
Tabela 89	Isótopos de Oxigênio-18 e Deutério, durante 4 campanhas de trabalho de campo.....	247
Tabela 90	Dados de altitude e nível estático observados nos poços em Itarema, durante o estudo.....	255
Tabela 91	Resultado do balanço hídrico no município de Itarema para obtenção da Infiltração efetiva a ser usada como valor de recarga para confecção do mapa referente ao parâmetro R (Recarga do Aquífero).....	257
Tabela 92	Dados dos parâmetros do Índice DRASTIC.....	268
Tabela 93	Resumo da análise do nível de importância dos parâmetros D, R, A, S, T, I, C no cálculo da vulnerabilidade da área de estudo.....	269

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Média mensal do pH das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	153
Gráfico 02	Média mensal da Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	155
Gráfico 03	Média mensal da Salinidade das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	156
Gráfico 04	Média mensal da concentração de Brometo (mg/L) das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	158
Gráfico 05	Média da concentração de Brometo (mg/L), por amostras, das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	159
Gráfico 06	Média mensal de Nitrato das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	161
Gráfico 07	Médias mensais de Cálcio nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	164
Gráfico 08	Médias mensais de Magnésio nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	165
Gráfico 09	Médias mensais de Dureza Total nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	166
Gráfico 10	Médias mensais de Bicarbonato nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	168
Gráfico 11	Médias mensais de Alcalinidade nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	169
Gráfico 12	Médias mensais de Sódio nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	171
Gráfico 13	Médias mensais de Potássio nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	171
Gráfico 14	Médias mensais de Cloreto nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	172

Gráfico 15	Médias por amostragem de Ferro total nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	178
Gráfico 16	Médias mensais de Ferro total nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	178
Gráfico 17	Médias por amostragem de Sólidos totais dissolvidos nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	180
Gráfico 18	Médias mensais de Sólidos totais dissolvidos nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.....	180
Gráfico 19	Médias de pH por ponto de amostragem, das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.	182
Gráfico 20	Médias mensais de pH nas águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.....	182
Gráfico 21	Médias mensais de Condutividade elétrica das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.	184
Gráfico 22	Médias de condutividade elétrica por ponto de amostragem, das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.....	184
Gráfico 23	Médias de salinidade por ponto de amostragem, das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.....	186
Gráfico 24	Médias mensais de salinidade das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.....	186
Gráfico 25	Classificação quanto aos sais dissolvidos - Primeira Campanha (julho de 2010). Águas Subterrâneas.....	198
Gráfico 26	Classificação quanto aos sais dissolvidos – Segunda Campanha (Janeiro de 2011). Águas Subterrâneas.	200
Gráfico 27	Classificação quanto aos sais dissolvidos – Terceira Campanha (Maio de 2011). Águas Subterrâneas.....	202
Gráfico 28	Classificação quanto aos sais dissolvidos – Quarta Campanha (Novembro de 2011). Águas Subterrâneas.....	204

Gráfico 29	Classificação quanto aos sais dissolvidos – Quinta campanha (Janeiro de 2012). Águas Subterrâneas.	206
Gráfico 30	Classificação quanto aos sais dissolvidos – Sexta Campanha (Julho de 2012). Águas Subterrâneas....	208
Gráfico 31	Gráfico ilustrativo com a quantificação de coliformes totais e fecais presentes nas águas subterrâneas durante o período de estudo.....	210
Gráfico 32	Gráfico ilustrativo com a quantificação de coliformes totais e fecais presentes nas águas superficiais durante o período de estudo.....	212
Gráfico 33	Teores de chumbo observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).....	216
Gráfico 34	Teores de cádmio (Cd) observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e janeiro de 2011 (CHUVOSO).....	221
Gráfico 35	Teores de alumínio (Al) observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO), janeiro de 2011 (INTERMEDIÁRIO) e maio de 2011 (CHUVOSO).....	225
Gráfico 36	Teores de manganês (Mn) observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011(CHUVOSO).....	229
Gráfico 37	Teores de cromo (Cr) observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011(CHUVOSO).....	233
Gráfico 38	Teores de bário (Ba) observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).....	236
Gráfico 39	Teores de cobre (Cu) observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010 (SECO).....	239

Gráfico 40	Teores de níquel (Ni) observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010 (SECO).....	242
Gráfico 41	Teores de cobalto (Co) observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010 (SECO).....	244
Gráfico 42	Resultado das análises de $\delta^{18}\text{O}$ durante os períodos de maio de 2011 (CHUVOSO) e novembro de 2011 (SECO).....	251
Gráfico 43	Resultado das análises de $\delta^{18}\text{O}$ durante os períodos de abril de 2012 (CHUVOSO) e outubro de 2012 (SECO).....	252
Gráfico 44	Resultado das análises de $\delta^{18}\text{O}$ δD durante os períodos de abril de 2011 (chuvoso) e novembro de 2011 (seco).....	253
Gráfico 45	Ilustração balanço hídrico no Município de Itarema. Coleta de dados: Posto Itarema.....	258

EQUAÇÕES

Equação 01	Cálculo do Índice DRASTIC.....	80
Equação 02	Medida Isotópica de uma amostra.....	94
Equação 03	Coeficiente de fracionamento isotópico para Deutério	95
Equação 04	Coeficiente de fracionamento isotópico para Oxigênio 18.....	95
Equação 05	Reta meteórica mundial para água da chuva.....	95
Equação 06	Reta meteórica para a chuva da região nordeste.....	95
Equação 07	Valor médio para Oxigênio 18 segundo a variação da temperatura.....	95
Equação 08	Lâmina precipitada	134
Equação 09	Infiltração eficaz.....	134
Equação 10	Evapotranspiração potencial mensal.....	134
Equação 11	Termo obtido a partir do índice térmico.....	135
Equação 12	Índice térmico anual.....	135
Equação 13	Índice térmico mensal	135
Equação 14	Cálculo do erro aceitável para balanço iônico.....	144
Equação 15	Índice de qualidade de água, número adimensional entre 0 e 100.....	146
Equação 16	Peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, atribuído em função de sua importância para a explicação da variabilidade global da qualidade.....	146

APÊNDICES

Apêndice 01	Identificação e localização dos pontos.....	288
Apêndice 02	Descrição dos pontos de coleta.....	291
Apêndice 03	Dados para observação da litologia do terreno de acordo com as fichas técnicas de poços tubulares observados no SIAGAS/ CPRM.....	293
Apêndice 04	Série histórica (1989 a 2013) de precipitação pluviométrica no Município de Itarema. Dados Posto Itarema.....	298
Apêndice 05	Dados de precipitação pluviométrica no Município de Itarema referente ao período dos anos de 1998 a 2007. Dados Posto Patos.....	299
Apêndice 06	Dados de precipitação pluviométrica no Município de Itarema referente ao período dos anos de 2001 a 2013. Dados Posto Carvoeiro.....	300

ANEXOS

Anexo 01	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT06, coletada em dezembro de 2013.....	301
Anexo 02	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT08, coletada em dezembro de 2013.....	302
Anexo 03	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT10, coletada em dezembro de 2013.....	303
Anexo 04	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT11, coletada em dezembro de 2013.....	304
Anexo 05	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT21, coletada em dezembro de 2013.....	305
Anexo 06	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT22, coletada em dezembro de 2013.....	306
Anexo 07	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT06, coletada em junho de 2014.....	307
Anexo 08	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT08, coletada em junho de 2014.....	308
Anexo 09	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT10, coletada em junho de 2014.....	309
Anexo 10	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT11, coletada em junho de 2014.....	310
Anexo 11	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT21, coletada em junho de 2014.....	311
Anexo 12	Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT22, coletada em junho de 2014.....	312

ABREVIATURAS

CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CENA	Centro de Energia Nuclear na Agricultura
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo, Brasil.
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil.
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETAAS	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry (espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica)
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração Real
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Estatística
IAEA	International Atomic Energy
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
I_e	Infiltração Efetiva
IQA	Índice de Qualidade de Água
MS	Ministério da Saúde
NE	Nível Estático
NMP	Número Mais Provável
NSF	National Sanitation Foundation
PPT	Precipitação Total
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SRH/CE	Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará

SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (Missão de nave espacial com radar de topografia)
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFC	Unidade Formadora de Colônia
VMP	Valor Máximo Permitido
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water
WMO	World Meteorological Organization
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE QUADROS	11
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE GRÁFICOS.....	20
EQUAÇÕES.....	25
APÊNDICES.....	26
ANEXOS.....	27
ABREVIATURAS.....	28
1 INTRODUÇÃO.....	37
1.1 Justificativa / Contextualização do tema.....	37
1.2 Hipóteses.....	43
2 OBJETIVOS.....	45
2.1 Objetivo geral.....	45
2.2 Objetivos Específicos.....	45
3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	46
3.1 Localização e acesso.....	46
3.2 Abordagem sobre o Perfil básico Municipal de Itarema.....	51
<i>3.2.1 Características ambientais do Município de Itarema.....</i>	54

3.3 Abordagem sobre a caracterização geológica/geomorfológica regional e local.....	54
3.3.1 Planície Litorânea.....	54
3.3.1.1 Sedimentos.....	55
3.3.1.2 Geomorfologia / Geologia.....	56
3.3.1.3 Clima.....	60
3.3.1.4 Regime Pluviométrico.....	61
3.3.1.5 Umidade.....	61
3.3.1.6 Insolação.....	62
3.3.1.7 Temperatura do ar.....	62
3.3.1.8 Evaporação.....	62
3.3.1.9 Ventos.....	62
3.3.1.10 Solos.....	63
3.3.1.11 Vegetação.....	63
3.3.1.12 Aspectos Hidrográficos.....	65
3.3.2 Tabuleiros Pré-Litorâneos.....	67
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	69
4.1 Águas superficiais.....	70
4.2 Águas subterrâneas.....	71
4.2.1 Características químicas das águas subterrâneas	72
4.3 Importância da realização correta do procedimento de coleta de amostra de água.....	74
4.4 Poluição das águas.....	74
4.5 Vulnerabilidade.....	76

4.5.1 Descrição do parâmetro D- (Profundidade do nível estático ou Profundidade da zona não saturada).....	81
4.5.2 Descrição do parâmetro R- (Taxa de Recarga).....	82
4.5.3 Descrição do parâmetro A- (Material do Aquífero).....	84
4.5.4 Descrição do parâmetro S- (Material do Solo).....	86
4.5.5 Descrição do parâmetro T- (Topografia).....	88
4.5.6 Descrição do parâmetro I- (Impacto da zona vadosa).....	89
4.5.7 Descrição do parâmetro C- (Condutividade).....	91
4.6 Isótopos.....	92
4.7 Recarga do Aquífero (Balanço Hídrico)	97
4.8 Parâmetros de qualidade da água / Constituintes	98
4.8.1 pH.....	99
4.8.2 Alcalinidade.....	99
4.8.3 Condutividade elétrica.....	100
4.8.4 Dureza.....	100
4.8.5 Sólidos totais dissolvidos.....	101
4.8.6 Turbidez.....	101
4.8.7 Sódio.....	102
4.8.8 Potássio.....	102

4.8.9 Cálcio	102
4.8.10 Magnésio	103
4.8.11 Ferro	103
4.8.12 Bicarbonato e Carbonato	104
4.8.13 Cloreto	104
4.8.14 Nitrogênio	105
4.8.15 Silício	105
4.8.16 Sulfato	106
4.8.17 Fluoreto	106
4.8.18 Fósforo	107
4.8.19 Oxigênio Dissolvido	107
4.8.20 Brometo	108
4.8.21 Matéria orgânica – DBO	108
4.8.22 Micropoluentes inorgânicos - Metais	109
4.8.23 Micropoluentes orgânicos - Agrotóxicos	109
4.8.24 Micropoluentes Biológicos - Coliformes	109
4.9 Índice de Qualidade de Água - IQA	110
4.10 Elementos-traço	110
4.10.1 Chumbo	116
4.10.2 Cádmi o.....	118
4.10.3 Alumínio	120

4.10.4 Manganês	123
4.10.5 Cromo	125
4.10.6 Bário	126
4.10.7 Cobre	126
4.10.8 Níquel	128
4.10.9 Cobalto	128
4.10.10 Antimônio	129
4.11 Resíduos Agrotóxicos	130
5 METODOLOGIA	132
5.1 Definição dos pontos de amostragem	132
5.2 Recarga do Aquífero	134
5.3 Estudo de vulnerabilidade - DRASTIC	136
5.4 Descrição dos parâmetros investigados	139
5.5 Hidroquímica	140
5.5.1 Balanço iônico	143
5.5.2 Diagrama de Piper	144
5.6 Índice de Qualidade das Águas – IQA	145
5.7 Elementos traço	149
5.8 Isótopos	151
5.9 Resíduos Agrotóxicos	151
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	152

6.1 Hidroquímica.....	152
6.1.1 Águas Subterrâneas.....	152
6.1.2 Águas Superficiais	181
6.2 Classificação e Interação entre as águas subterrâneas e superficiais.....	197
6.2.1 Diagramas de Piper e Classificação quanto aos Sais Totais Dissolvidos (águas subterrâneas).....	197
6.3 Microbiologia.....	208
6.3.1 Águas Subterrâneas - Coliformes Totais e Fecais.....	208
6.3.2 Águas Superficiais - Coliformes Totais e Fecais.....	211
6.4 Índice de Qualidade das Águas - Águas Superficiais.....	212
6.5 Elementos traço.....	214
6.6 Isótopos.....	246
6.7 Resíduos de Agrotóxicos.....	254
6.8 Índice de Vulnerabilidade – DRASTIC (<i>Depth, Recharge, Aquifer, Soil, Topography, Impacto f the vadose zone and Conductivity hidráulic</i>).....	254
6.8.1 Caracterização dos Parâmetros do Índice de Vulnerabilidade – DRASTIC.....	254
6.8.2 Avaliação da vulnerabilidade do Aquífero de acordo com a caracterização dos parâmetros do Índice DRASTIC.....	267
7. CONCLUSÕES.....	272
8. SUGESTÕES	274
9. REFERÊNCIAS.....	275

1 INTRODUÇÃO

Em geral, os estudos relacionados à qualidade das águas, sejam superficiais ou subterrâneas, contemplam avaliar as concentrações relativas dos constituintes presentes e os respectivos padrões de variabilidade, no sentido de fazer prognósticos, reconhecer tendências de contaminações ou, ainda, de investigar danos.

A definição dos pontos de coleta desse trabalho foi realizada a partir do reconhecimento da área de estudo, acesso aos pontos, utilização de água e proximidade com lagoas e córregos, assim como os parâmetros analisados, que são fundamentais para avaliação quanto à qualidade dessas águas no que diz respeito ao IQA (Índice de Qualidade das Águas), à vulnerabilidade, pelo método DRASTIC, e ao enquadramento à legislação, no que diz respeito ao uso para agricultura, irrigação, consumo e balneabilidade.

1.1 Justificativa / Contextualização do tema.

A necessidade de realizar um estudo quanto à qualidade de água, superficial e subterrânea, e interação entre essas, em Itarema, Ceará, abordando parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, surgiu em virtude de se tratar de uma área litorânea, região costeira do Estado do Ceará, a qual, além da dinâmica do próprio meio, vem sofrendo por parte da especulação imobiliária e pela indústria, que cada vez mais vem se consolidando.

Quanto mais estudarmos os principais problemas de nossa época, melhor compreendemos que eles não podem ser entendidos de forma isolada. Por exemplo, a escassez de água e a degradação da sua qualidade nos rios e aquíferos são resultados de uma urbanização desordenada, da industrialização e do desenvolvimento agrícola também desordenado e em rápida expansão (REBOUÇAS, 2006, p. 3.).

Não podemos mais pensar na atmosfera, nas rochas, nas águas superficiais e subterrâneas, nos animais e nas plantas, ou no ambiente em geral, como separados uns dos outros ou independentes. Estudos apontam, há anos, o estreito entrosamento entre as partes vivas ou bióticas do planeta (plantas, microorganismos

e animais) e suas partes não-vivas ou abióticas (rochas, águas superficiais e subterrâneas continentais, oceânica e atmosféricas).

A crise de água em algumas regiões do Brasil resulta de vários fatores, entre os quais podemos citar: precipitação pluviométrica insuficiente para alimentar os reservatórios destinados ao abastecimento público, os desperdícios e degradação da qualidade dessas águas em níveis significativos, tanto nos grandes centros urbanos como nas cidades interioranas, além da falta interesse político em introduzir o assunto como uma das prioridades nacionais associadas a uma gestão dos recursos hídricos eficaz.

A água subterrânea, assim como a água superficial, na região de Itarema, Ceará, é um recurso de grande importância por ser utilizado para o incremento no abastecimento da população urbana e rural e em atividades agrícolas.

O entendimento e a mensuração dos processos que se desenvolvem entre as substâncias inorgânicas, o solo e a água do aquífero tornam-se necessários para que se possam estabelecer os procedimentos para uma gestão adequada do manancial em questão.

Segundo Foster *et al.*, (2002), os recursos hídricos superficiais são a principal fonte de suprimento de água no Ceará. Entretanto, a exploração de águas subterrâneas vem crescendo significativamente. Pressões de demanda somadas aos períodos de estiagem prolongada impulsionam a exploração de águas subterrâneas.

Na área estudada a maioria dos poços são tubulares rasos (inferiores a 20 metros), os quais, em geral, estão captando água de aquíferos livres (superficiais), que apresentam maior vulnerabilidade a contaminação.

Sendo assim, essa situação é de crescente preocupação quanto à garantia de um abastecimento econômico e seguro de água doce nos meios urbano e rural.

São inúmeras as atividades do homem que introduzem no meio substâncias que venham a alterar suas características naturais. E dependendo do grau dessas alterações, esse processo pode ser chamado de poluição.

Dentre os fatores que interferem na dinâmica do meio dessas áreas litorâneas, podem ser citados como agentes condicionantes, a localização geográfica, o clima (como por exemplo: temperatura do ar, precipitação pluviométrica e velocidade

dos ventos), as variações relativas do nível do mar e as condições oceanográficas. O que lhes atribuem características de constante modificação, quando comparadas às áreas continentais. Fato esse que pode ser justificado pelo descrito pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME, 2009):

“A zona costeira do Ceará tem condições extremamente atrativas e privilegiadas para os mais variados assentamentos humanos. No entanto, a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade ao antropismo justificam os cuidados legais para a sua preservação ou conservação, através de preceitos que se fundamentam no desenvolvimento sustentável”. (FUNCEME, 2009. p. 14).

“Problemas que afetam a zona litorânea do Ceará são detectáveis de modo muito conspícuo. Alguns são comuns a toda zona costeira. Migração de dunas, erosão da linha de costa, desmatamentos de manguezais e de matas ciliares, assoreamento ou aterramento de lagoas ou de áreas de acumulação inundáveis, enchentes, poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, disposição de resíduos sólidos, impactos de mineração, ocupação irregular do entorno imediato das falésias, desequilíbrios no balanço sedimentológico são alguns problemas que afetam e impactam a zona costeira.”(FUNCEME, 2009. p. 15).

Estudos, com menos de uma década, comprovam que os reservatórios naturais estão se tornando depositários de uma variedade de subprodutos, provenientes da atividade antrópica. Tais estudos, como por exemplo, o de Yabe e Oliveira (1998) comprova que a presença de elementos potencialmente tóxicos é responsável por efeitos adversos sobre o ambiente, com repercussão na economia e na saúde pública.

Observa-se que dejetos humanos e de animais que são lançados a céu aberto pela falta de saneamento básico, tornando-se constantes fontes de poluição, também podem atingir as águas situadas nas áreas rurais. A falta de saneamento básico no meio rural, independente da forma de ocupação, é um fator preocupante, por se tratar de constante lançamento de poluentes no meio ambiente.

A instalação de indústrias pode ser também citada como um dos fatores condicionantes às alterações naturais de um determinado ambiente. Estas indústrias, por sua vez, desempenham um papel importante na sociedade como geradoras de benefícios, quanto à produção de bens de consumo, impostos e empregos. Esse tipo de crescimento da atividade econômica tem relação direta com a região estudada neste trabalho, tanto por suas características climáticas como também, em alguns casos, por constituírem vias de acesso para o interior do continente.

A partir desse ponto, surge a necessidade de haver um planejamento da urbanização, juntamente com o manejo de água. Uma vez que é sabido que o aumento da demanda por água potável é o centro de muitas discussões que envolvem a sustentabilidade ambiental de países em desenvolvimento.

Novos desafios emergem a cada dia, no que diz respeito à qualidade de água. Seja esta destinada ao consumo humano, balneabilidade, irrigação, ou qualquer outro fim.

Fatores como a alteração dos padrões da sociedade, o desenvolvimento das indústrias, as alterações climáticas e o crescimento de conhecimento científico nos levam a despertar para importância de constante estudo sobre qualidade de água. Isso porque, a água, de qualidade, é fator determinante para a existência humana, animal e vegetal, para o bem-estar ambiental e para o desenvolvimento das sociedades.

Trata-se de importante componente para assegurar a integridade e sustentabilidade dos ecossistemas mundiais. É um recurso que responde às necessidades fundamentais do homem, sendo elemento chave no desenvolvimento econômico, social e cultural.

A qualidade da água é uma variável relacionada às características naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. A noção de qualidade relacionada apenas às características organolépticas, como sabor, odor e cor, é ultrapassada. Uma vez que esses fatores estão ligados apenas à sensibilidade humana e não revelam os reais problemas de comprometimento da qualidade das águas.

É preocupante o quanto a água, no mundo todo, destinada ao consumo humano, recreação, irrigação, balneabilidade e atividades essenciais à existência de vida na terra, está se tornando cada vez mais um bem escasso. E sua qualidade se deteriora cada vez mais rápido, apesar de todos os esforços para armazenar e diminuir os efeitos de desperdício e mau uso.

Em virtude de sua capacidade de dissolver diversas substâncias naturais e antropogênicas, além de transportar material em suspensão, a água torna-se um perigoso veículo transmissor de doenças. No ambiente, a água praticamente não

existe no seu estado mais puro. E o grau de alteração da sua composição pode trazer graves prejuízos para a saúde.

Nas últimas décadas, a presença, mesmo que residual, de elementos como os metais, compostos orgânicos e inorgânicos nas águas de consumo, irrigação, balneabilidade, agricultura, e outras atividades essenciais à vida, tem-se tornado objeto de preocupação e discussão entre a comunidade científica.

Contudo, alguns parâmetros principais têm sido usados nos estudos da qualidade da água, principalmente aqueles orgânicos, relacionados aos esgotos domésticos e industriais. Os contaminantes inorgânicos têm ganhado uma visibilidade maior com o estudo da contaminação por metais pesados, tendo em vista a toxicidade desses elementos. Apesar disso, estes ainda não são integrados aos Índices de Qualidade.

Todavia, os metais podem ser essenciais para o crescimento de alguns tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano, mas eles são requeridos sempre em baixas concentrações, e quando em concentrações altas podem danificar os organismos vivos.

Neste trabalho foram estudadas águas superficiais e subterrâneas. Entre as águas superficiais aqui abordadas, destaque para lagunas costeiras, córregos e estuário. Já entre as águas subterrâneas, foram coletadas amostras de água de poços tubulares distribuídos ao longo da área de estudo, os quais são utilizados para abastecimento distintos, como: consumo humano, uso doméstico e irrigação.

A água subterrânea, por exemplo, além de ser um bem econômico, é considerada mundialmente uma fonte imprescindível de abastecimento para consumo humano, para as populações que não têm acesso à rede pública de abastecimento ou para aqueles que, tendo acesso a uma rede de abastecimento, têm o fornecimento com frequência irregular ou a um custo muito elevado.

Segundo Freitas e Almeida (1998), as fontes de contaminação antropogênica em águas subterrâneas estão associadas diretamente a despejos domésticos, industriais e ao chorume oriundo de aterros de lixo que contamina os lençóis freáticos com microrganismos patogênicos. Também são potenciais fontes de nitrato e substâncias orgânicas extremamente tóxicas ao homem e ao meio ambiente,

além de promoverem a mobilização de metais naturalmente contidos no solo, como alumínio, ferro e manganês (NORDBERG *et al.*, 1985).

As águas subterrâneas estão sob risco crescente em decorrência da urbanização e desenvolvimento econômico paradoxalmente por elas sustentados, apesar de apresentarem uma proteção natural relativamente maior à contaminação. Em algumas regiões, os aquíferos são as fontes principais e, muitas vezes, a única alternativa de abastecimento, sendo, portanto, a conservação da boa qualidade do manancial um aspecto crítico para a manutenção da vida local (TAVARES *et al.*, 2009).

Fatores como a deposição atmosférica, processos químicos de dissolução e/ou águas salinas por intrusão modificam as características qualitativas e quantitativas dos mananciais subterrâneos através da influência que esses fatores podem ter sobre os constituintes químicos das águas subterrâneas (FREITAS *et al.*, 2001).

Com toda essa transformação, há necessidade do estudo prévio quanto às características de qualidade de águas, e neste trabalho, focou-se a análise da vulnerabilidade, os parâmetros físicos, químicos, biológicos e geológicos e a classificação dessas águas quanto suas características e uso. Contudo, estes parâmetros sofrem grandes variações no tempo e no espaço. Sendo assim necessário um programa de acompanhamento incluindo coleta de amostras de água, superficiais e subterrâneas, na região.

Com intuito de minimizar os prejuízos que podem ser causados pelo uso e consumo inadequado de água, há diferentes exigências e classificações, previstas em leis, as quais auxiliam a comunidade científica e industrial, para o uso correto desse recurso.

Foram seguidas as seguintes normativas quanto o enquadramento para classificação do conjunto de amostras de águas aqui estudado:

- Portaria Ministério da Saúde - MS Nº 2914 de 12/12/2011, a qual dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

- Resolução nº 357, CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE), de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento.

- Resolução nº 396, CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE), de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para seu enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

Quanto ao estudo da vulnerabilidade, foi utilizado o Índice DRASTIC, modelo qualitativo para avaliar a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas e cargas poluentes empregando variáveis hidrogeológicas.

Para geração do IQA, Índice de Qualidade das Águas para as lagoas e córregos foram avaliados os parâmetros os quais a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Brasil) fez uma adaptação a partir de um estudo realizado em 1970 pela “National Sanitation Foundation” dos Estados Unidos, e desenvolveu o IQA, que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público.

1.2 Hipóteses

Esta pesquisa parte das seguintes hipóteses:

A) *A primeira de que as águas superficiais e subsuperficiais têm contribuição de água do mar*, uma vez que a origem e geomorfologia das lagoas costeiras, têm sua gênese vinculada aos eventos de oscilações do nível do mar, que ocorreram a partir do Pleistoceno e se prolongaram até os últimos dois mil anos do Holoceno, quando ocorreu a gênese da grande maioria das lagoas costeiras do Brasil (ESTEVES, 1988). Além dos processos marinhos, são evidenciados ainda processos fluviais, eólicos e flúvio-marinhos, ou uma combinação destes como o fenômeno que contribuiu para a origem de muitas lagoas. Assim, ocorrem na zona costeira do Ceará, ecossistemas lacustres de água doce e lagoas com características marinhas e estuarinas. Algumas destas apresentam um caráter sazonal, permanecendo, portanto, secas no período de estiagem e cheias no período chuvoso. Outras recebem água apenas durante as marés altas.

B) *A segunda de que a qualidade das águas subterrâneas, na área de estudo, ainda não esteja comprometida*, quanto a possíveis alterações nos parâmetros analisados propostos neste trabalho, os quais impeçam que estas não se enquadrem dentro do limite máximo estabelecido, conforme legislação vigente, para os referidos destinos a serem usadas. Isso provavelmente devido à inexistência de grandes fontes poluidoras como indústrias, pequena área de urbanização e diluição de elementos antrópicos pela chuva.

Entretanto, por se tratar de uma área pouco urbanizada, prevalece a prática da agricultura familiar. Com isso surge a preocupação por conta do uso de agrotóxicos aplicados em plantações de frutas, verduras e hortaliças.

A geração desses dados vem a contribuir como fonte de informação e pesquisa, pouco exploradas, para a área de estudo. Uma vez que se trata de um município em desenvolvimento, principalmente pela instalação de parques eólicos, incentivo à produção de carciniculturas, instalação de indústrias beneficiadoras de pescado, além do crescimento e desenvolvimento populacional. Também servirá como fonte de pesquisa para estudos futuros, partindo do pressuposto, que estes são dados iniciais de uma série de estudos que poderão ser desenvolvidos futuramente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar estudo da qualidade da água no Município de Itarema, Ceará, visando gerar informações para programas de gerenciamento, proteção e aproveitamento adequado de recursos hídricos quanto à qualidade das águas.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar análises físicas, químicas e bacteriológicas das amostras de águas da região para obter razões iônicas características e identificação de tipos de água do manancial.

- Estudar interações entre as águas de chuva, dos mananciais superficiais e do aquífero, através do monitoramento da composição química, físico-química e isotópica e das medidas de nível estático.

- Estudar os mecanismos de recarga do aquífero, através do isótopo de Oxigênio 18 e monitoramento do nível estático.

- Aplicar índices de qualidade de água (IQA).

- Estimar a vulnerabilidade do aquífero costeiro aplicando o índice DRASTIC.

- Avaliar o nível de elementos traço no aquífero.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e Acesso

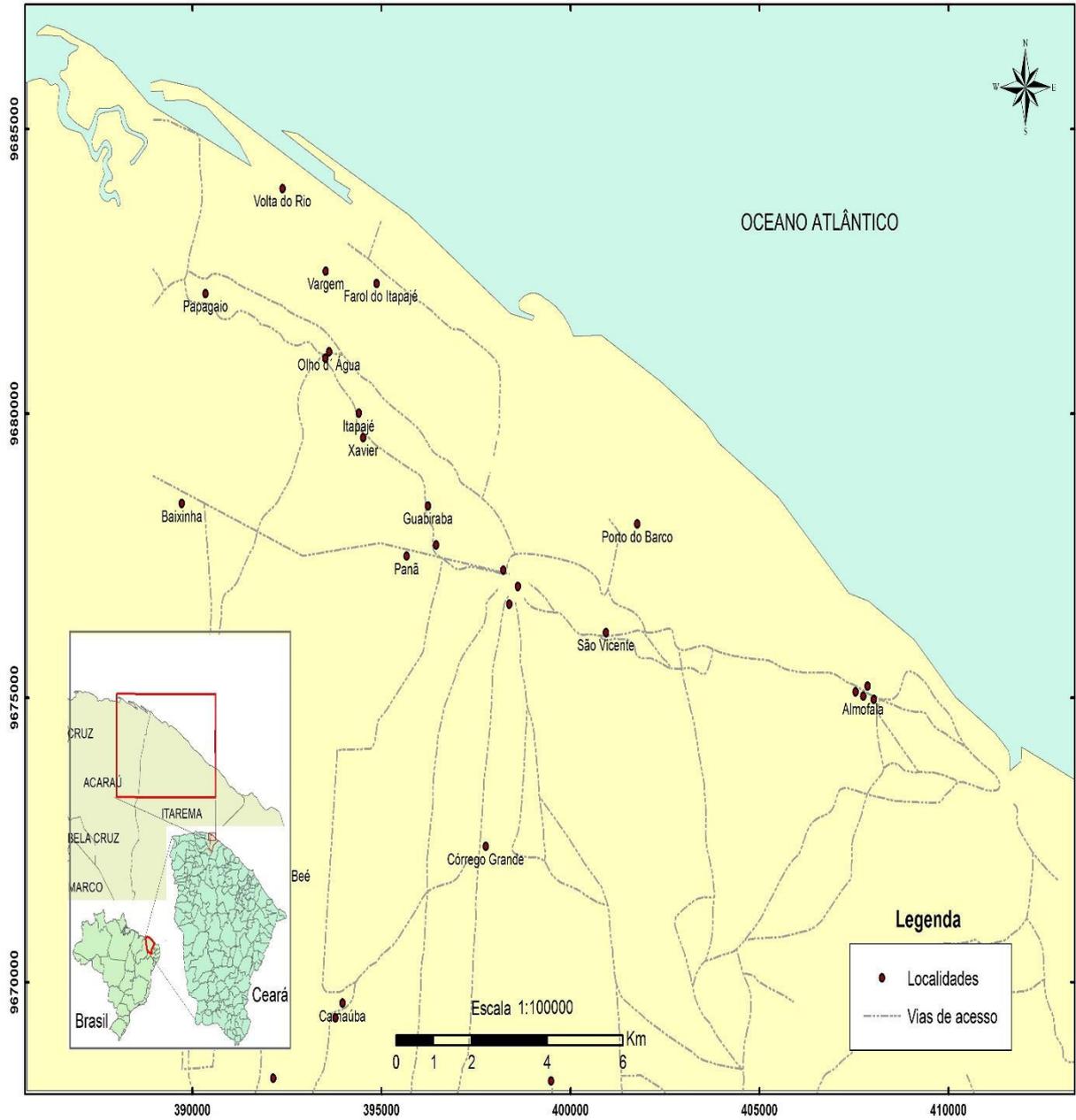
A área de estudo é a Zona Costeira do Município de Itarema, Estado do Ceará, Brasil. Distante de Fortaleza aproximadamente 185 km, em linha reta (IPECE, 2012), tendo acesso tanto pela CE 085 como pela BR 222. Está inserida na região dominada por coberturas sedimentares cenozoicas sobrepostas ao embasamento cristalino (PEREIRA, 2010).

Segundo Souza (1998), o litoral cearense pertence ao “Domínio dos Depósitos Sedimentares Cenozóicos”, sendo assim constituídos na sua maioria por sedimentos quaternários. Nele estão inseridos os depósitos terció-quaternários da Formação Barreiras (formando os tabuleiros litorâneos) e os depósitos quaternários continentais, marinhos e Flúvio-marinhos holocênicos (arenosos e argilosos).

Itarema tem como município de origem Acaraú. Foi criado em 1985, pela lei nº 11.008. A área de estudo localiza-se entre as coordenadas UTM 385626 (latitude S) e 9668088 (longitude W), 385626 (latitude N) e 9687240 (longitude W), 413376 (latitude N) e 9687240 (longitude E), 413376 (latitude S) e 9668088 (longitude E). (Figura 01).

Municípios Limítrofes: Oceano Atlântico e Acaraú (Norte), Acaraú e Amontada (Sul), Amontada e Oceano Atlântico (Leste) e Acaraú (Oeste). Possui uma área absoluta de 720,66 km² (IPECE, 2012).

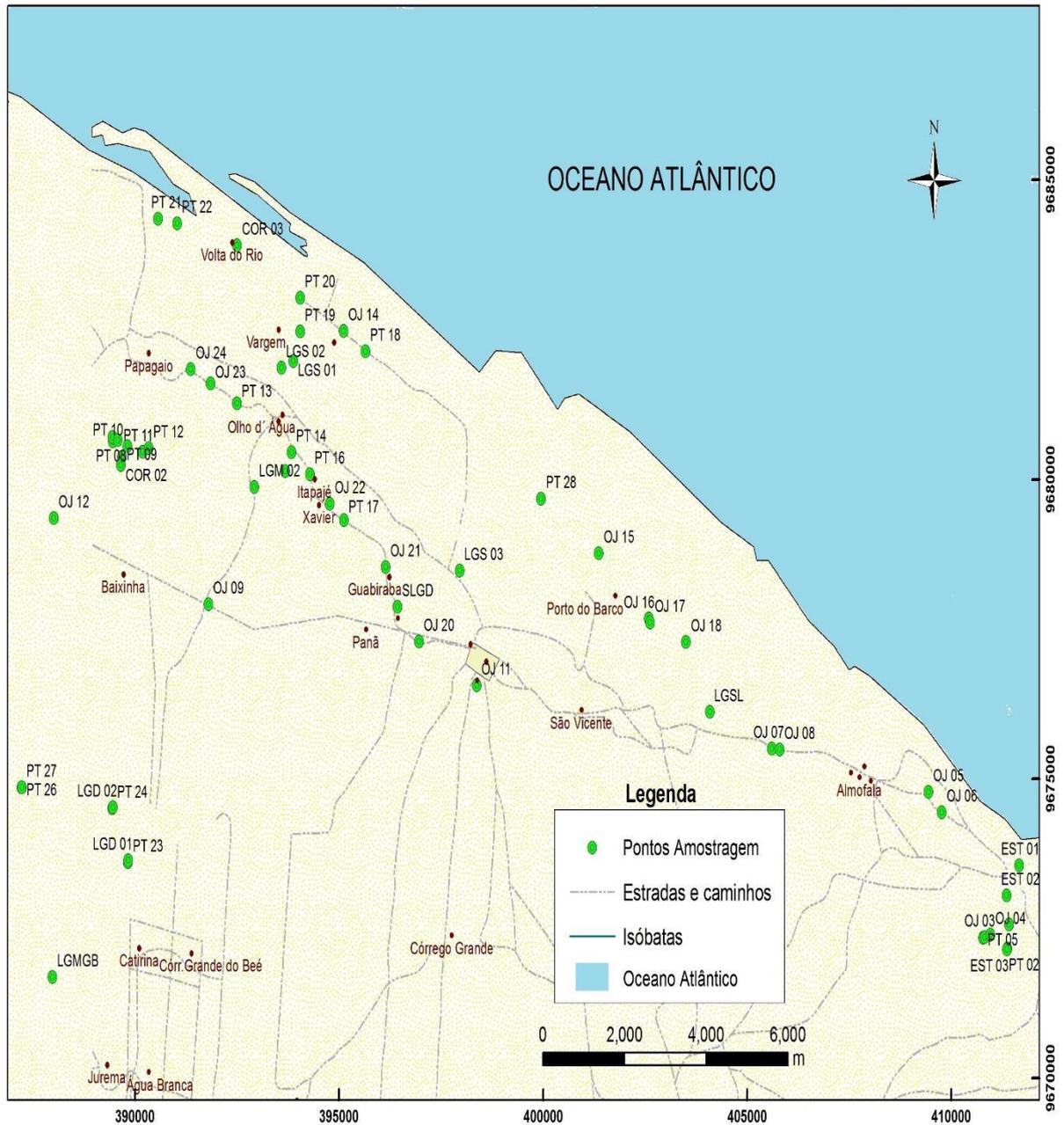
Figura 01- Mapa de localização da área de estudo, abrangendo desde o distrito de Almofala, passando por Itarema.



Fonte: A autora.

A área de pesquisa deste trabalho estende-se desde o distrito de Almofala, passando pelo município de Itarema, estendendo-se ao município de Acaraú. Pontos de coleta partindo desde estuário, lagoas e poços próximos às praias, assim como lagoas e poços não tão próximos à linha de costa. A Figura 02 ilustra essa delimitação.

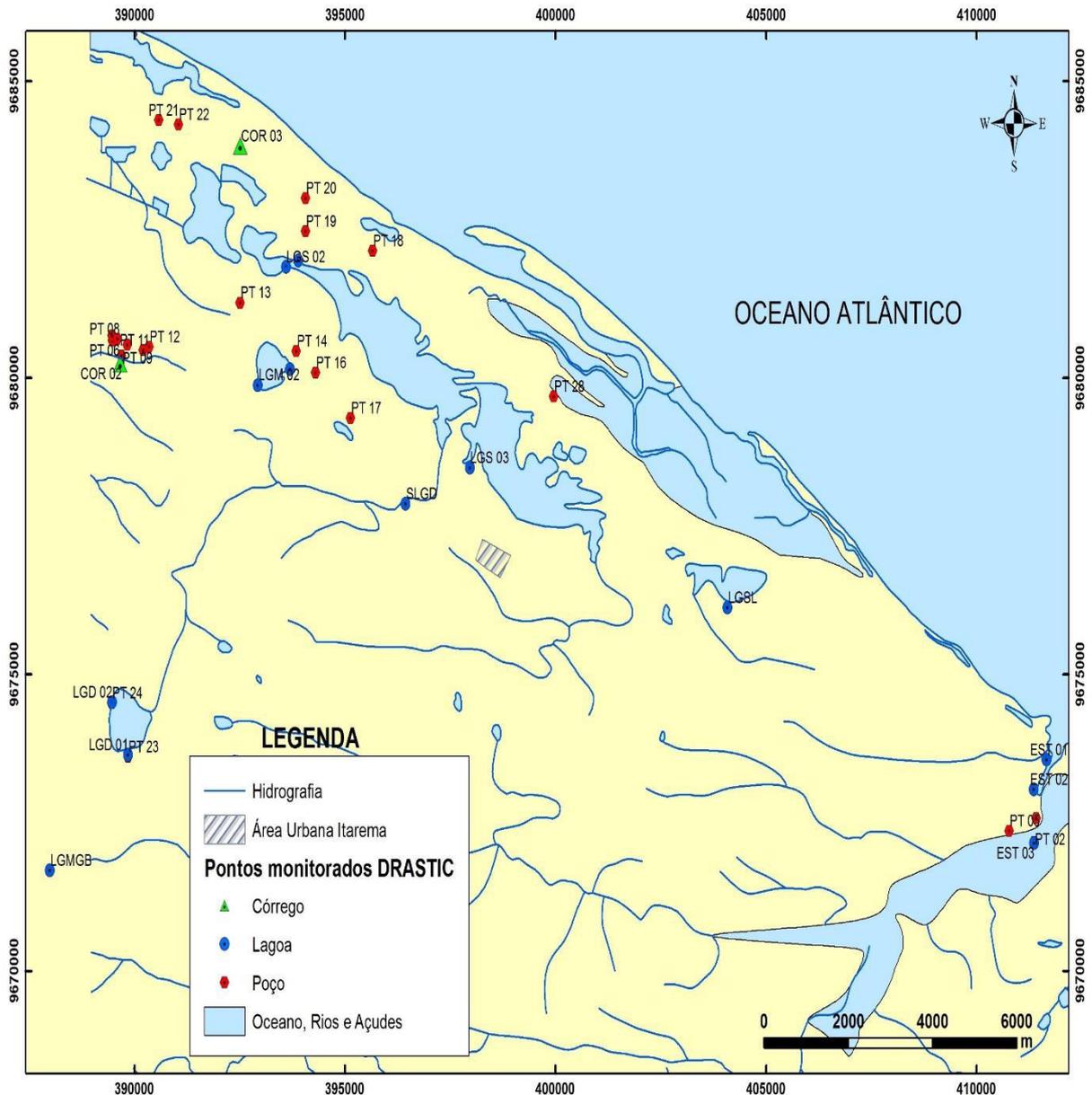
Figura 02- Mapa de localização dos pontos de amostragem dentro da área de estudo.



Fonte: A autora.

A Figura 03 distingue os pontos de amostragem, entre os de água superficiais e os de águas subterrâneas. Optou-se por marcar cada ponto, neste mapa, a partir de suas cotas altimétricas. Isso para facilitar a visualização da distribuição dos pontos, uma vez que a proximidade entre eles e a semelhança entre as cotas deixariam a figura com informações sobrepostas umas sobre as outras.

Figura 03 - Mapa de localização e distinção entre os pontos de amostragem de águas superficiais e águas subterrâneas dentro da área de estudo.



Fonte: A autora.

O APÊNDICE 1 apresenta os pontos de coleta de amostras de água e suas localizações geográficas (latitude e longitude). Também identifica quais amostras são de água subterrânea (poços ou cacimbas) e quais são de água superficial. As amostras com siglas PT (de 01 a 28) correspondem a poços e/ou cacimbas, coletadas desde a 1ª campanha à 6ª campanha de trabalho de campo. As amostras com siglas OJ correspondem a uma campanha de trabalho de campo, realizada em julho de 2012, à procura de novos pontos que porventura mostrassem resultados diferenciados dos apresentados nos pontos já estudados (PT), afim de ampliar o número de pontos amostrados como também a área explorada. Como esses resultados foram semelhantes aos já observados anteriormente, optou-se por continuar só com os anteriores, sem acréscimo de amostras. Contudo, os resultados dessa campanha de amostras com siglas OJ serão também apresentados.

Foram observados os níveis de altitude, a partir de altitude geométrica, na data do levantamento. Essa foi comparada com a altitude do Sistema SIAGAS, 2000.4. A partir do levantamento planialtimétrico realizado na área de estudo, foram construídos o mapa topográfico e a superfície piezométrica da área.

Tabela 01 - Observação da altitude geométrica na data do levantamento, em metros, na data de referência 2000.4.

PONTOS	ALT. GEOM. NA DATA DO LEVANTAMENTO (m).
PT01	20,80
PT05	12,84
PT08	33,80
PT12	11,84
PT13	13,70
PT16	28,78
PT18	14,61
PT20	11,98
PT21	4,61
PT25	17,70
PT27	9,60
PT28	0,60

Continuação Tabela 01.	
OJ04	28,98
OJ06	7,08
OJ08	7,63
OJ09	7,54
OJ12	8,98
OJ15	8,39
OJ16	2,21
OJ17	12,21
OJ18	10,15
COR02	8,99
COR03	5,43
LGD01	22,07
LGM02	14,87
LGMGB	33,67
LGS02	1,49
LGS03	11,51
LGSL	6,95
SLGD	12,86

Fonte: A autora.

3.2 Abordagem sobre o perfil básico municipal de Itarema.

A população total em 2010 era de 37.471 residentes, segundo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2012).

O saneamento da infraestrutura da cidade conta com 2.896 ligações reais e 2.455 ligações ativas. O que produz um volume de 525.678 m³ de água, representando uma taxa de cobertura d'água urbana de 89,54 %, em 2011. Já o esgotamento sanitário apresenta 464 ligações reais e 454 ligações ativas, correspondendo a 34,30 % da taxa de cobertura urbana de esgoto, também em 2011 (IPECE, 2012).

As Tabelas 02 e 03 apresentam esses números comparados com relação aos do Estado do Ceará.

Tabela 02 - Dados comparativos quanto ao abastecimento de água no município de Itarema em relação ao Estado do Ceará.

Discriminação	Abastecimento de água (2011)		
	Município	Estado	% Sobre o Total do Estado
Ligações reais	2.896	1.493.388	0,19
Ligações ativas	2.455	1.393.477	0,18
Volume Produzido (m ³)	525.687	368.534.122	0,14
Taxa de cobertura d'água urbana (%)	89,58	91,57	-

Fonte: (IPECE, 2012).

Observa-se que a taxa de cobertura d'água urbana é bem elevada, 89,58 %. Contudo, a população ainda opta por construir seu próprio poço, devido ao fator econômico e a qualidade da água de abastecimento não atender aos padrões organolépticos como sabor e odor, por conta da presença perceptível de cloro, segundo moradores. Tratam-se de poços rasos, de propriedades particulares, cuja captação da água se dá por meio de bomba manual ou elétrica.

Tabela 03 - Dados comparativos quanto ao esgotamento sanitário no município de Itarema em relação ao Estado do Ceará.

Discriminação	Esgotamento Sanitário (2011)		
	Município	Estado	% Sobre o Total do Estado
Ligações reais	464	473.318	0,10
Ligações ativas	454	451.013	0,10
Taxa de cobertura urbana de esgoto (%)	34,30	28,87	-

Fonte: (IPECE, 2012).

Observa-se que a taxa de esgotamento sanitário é pequena, quando comparada à taxa de cobertura de água urbana. Isso porque o abastecimento de água da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) chega até a área rural, mas o esgotamento sanitário não.

As formas de abastecimento de água em 2010 atingiram um total de 8.880 domicílios particulares permanentes. Desses, 3.498 estão ligados à rede geral e 3.875 originadas de poço ou nascente. Ligados a outras fontes são 1.507 domicílios (IPECE, 2012).

A Tabela 04 apresenta os números de domicílios particulares permanentes segundo as formas de abastecimento de água, segundo IPECE (2012), entre os anos de 2000 e 2010.

Tabela 04 - Dados comparativos quanto ao número de domicílios permanentes segundo as formas de abastecimento de água entre o município de Itarema e o Estado do Ceará, entre os anos de 2000 e 2010.

Formas de Abastecimento	Município				Estado			
	2000	%	2010	%	2000	%	2010	%
Total	5.992	100	8.880	100	1.757.888	100	2.365.276	100
Ligada à rede geral	893	14,90	3.498	39,39	1.068.746	60,80	1.826.543	77,22
Poço ou nascente	4.431	73,95	3.875	43,64	360.737	20,52	221.161	9,35
Outra	668	11,15	1.507	16,97	328.405	18,68	317.565	13,43

Fonte: (IPECE, 2012).

Observa-se que o abastecimento total, no município de Itarema aumentou de 5.992 para 8.880, ao longo da década de 2000 a 2010. Também aumentou o número de ligações à rede geral. Entretanto, as formas de abastecimento referentes a poços ou nascentes apresentaram uma queda, de 4.431 para 3.875, apesar de a água proveniente de poços ainda ser a principal forma de abastecimento, principalmente na área rural. A opção de abastecimento por poços particulares prevalece também nos municípios vizinhos a Itarema, assim como Almofala e Acaraú.

Já para o Estado do Ceará, a forma de abastecimento aumentou de 1.757.888 em 2000, para 2.365.276, em 2010. Também houve aumento no número de ligações à rede geral e queda no número de poços ou nascentes.

3.2.1 Características ambientais do Município de Itarema.

O clima é do tipo Tropical Quente, segundo classificação de Ayoade (1986), com temperaturas quentes que excedem 25°C. A Pluviosidade média é de 1.139,7 (800 à 1.600 mm) e possui uma circulação leste (alísios), com climas úmidos. Os ventos têm velocidade média de 5,5 m/s, e direção preferencial de E (leste). A temperatura média varia de 26° a 28°C. Caracterizam-se como período chuvoso os meses de janeiro a maio (IPECE, 2011) e (IPECE, 2012).

3.3 Abordagem sobre a caracterização geológica/geomorfológica regional e local.

A Costa Oeste do Estado do Ceará, comporta os geossistemas Planície Litorânea, Planícies Lacustres e Flúvio-Lacustres, Planícies Fluviais, Glacis de Acumulação, Depressão Sertaneja e Maciços Residuais (MARCELINO, 1999).

A área de estudo está inserida na Planície Litorânea do Ceará, Zona Costeira do Estado do Ceará.

Os componentes ambientais estão inseridos na Bacia Hidrográfica Litoral. O relevo é composto por Planície Litorânea e Tabuleiros Pré-litorâneos. Os solos são descritos como Areias Quartzosas Marinhas, Planossolo Solódico, Podzólico Vermelho-Amarelo, Solonchak e Solonetz Solodizado. A Vegetação é de Complexo Vegetacional da Zona Litorânea, Caatinga Arbustiva Aberta, Caatinga Arbustiva Densa, Floresta Mista Dicotillo-Palmácea e Floresta Perenifólia Paludosa Marítima (IPECE, 2012).

3.3.1 Planície Litorânea.

É constituída por uma estreita faixa de terras com largura média de 3,0 – 3,5 km. Os municípios defrontantes com o mar que têm parcelas territoriais da planície

litorânea estão listados abaixo, de acordo com a setorização da zona costeira do Ceará:

- Setor I – Costa Leste: Icapuí, Aracati, Fortim, Beberibe, Cascavel e Pindoretama.
- Setor II – Fortaleza e Região Metropolitana: Aquiraz, Eusébio, Fortaleza e Caucaia.
- Setor III – Costa Oeste: São Gonçalo do Amarante, Paracuru, Paraipaba, Trairi e Itapipoca.
- **Setor IV – Costa Extremo Oeste:** Amontada, **Itarema**, Acaraú, Cruz, Gijoca de Jericoacoara, Camocim, Barroquinha e Chaval. (FUNCEME, 2009. p. 15).

A vegetação de dunas recobre as planícies arenosas e eólicas; o manguezal recobre as planícies estuarinas; a mata ciliar envolve as áreas de inundação; e a mata de tabuleiro recobre o planalto costeiro (AGUIAR, 2011).

3.3.1.1 *Sedimentos*

Segundo Funceme (2009), alinhamentos rochosos e descontínuos ocorrem abaixo da linha de preamar, em algumas faixas de praia, ocupando enseadas ou áreas próximas às desembocaduras fluviais.

Os sedimentos de neoformação (Holocênicos) têm granulometria e origem variadas, capeando os depósitos mais antigos da Formação Barreiras. Na faixa praial e nos terraços marinhos, predominam as Neossolos Quartzarênicos com níveis de minerais pesados, fragmentos de conchas e minerais micáceos. São moderadamente selecionadas, com granulometria que varia de fina a média e de cores esbranquiçadas. Os sedimentos eólicos que formam os campos de dunas têm preponderância de Neossolos Quartzarênicos bem selecionados, com granulometria que varia de fina a média e de colorações claras. Os sedimentos marinhos são também compostos de Neossolos Quartzarênicos e têm classificação variando de fina a média (FUNCEME, 2009. p. 15).

A Formação Barreiras designa sedimentos clásticos continentais afossilíferos de cores variegadas, em geral friáveis, predominantemente arenosos, com marcante alternância de depósitos pelíticos e psamo-pelíticos. Sua espessura varia de poucas a várias dezenas de metros (CPRM, 2003).

Constitui-se numa das unidades mais importantes do Tércio-Quaternário, ocorrem distribuídos continuamente ao longo de toda a faixa costeira do Ceará, constituindo uma das unidades mais representativas da região. Sua extensão ou limite externo prolonga-se além da linha de costa sobre a plataforma continental (CARVALHO, 2003).

Afloram na faixa costeira na forma de falésias ativas e inativas e em zonas interdunares. Estes depósitos são em grande parte recobertos por sedimentos eólicos e seu limite interno é de difícil delimitação, em virtude do contato com as coberturas colúvio-eluvionares terció-quaternárias (CARVALHO, 2003).

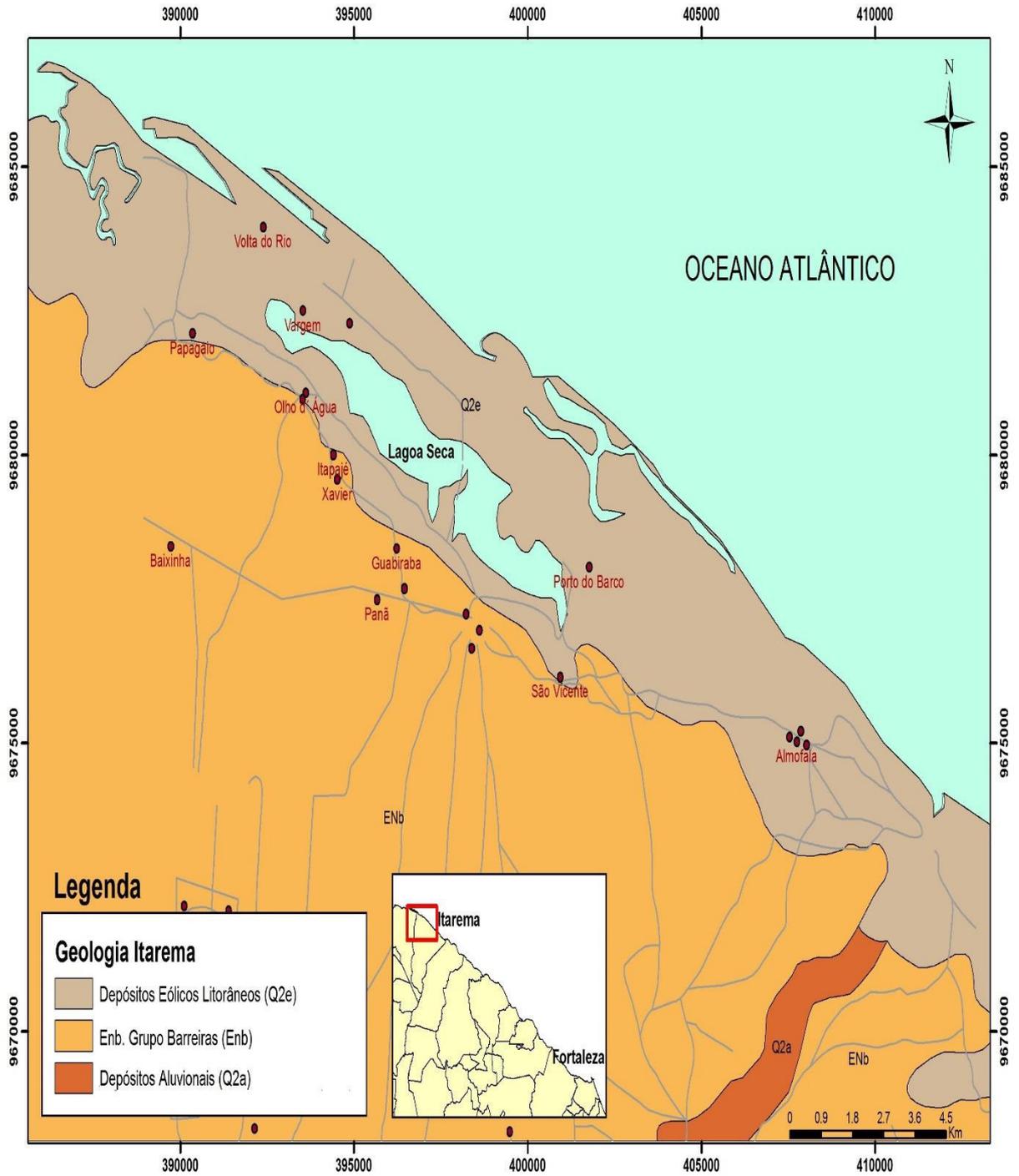
3.3.1.2 *Geomorfologia / Geologia*

A evolução geológica da Planície litorânea está ligada aos movimentos extensionais que separaram os continentes da América do Sul e África, a partir do final do Mesozóico, às oscilações do nível do mar e aos processos neotectônicos que controlaram a deposição das sequências estratigráficas da Formação Barreiras – do Neógeno (Mioceno/Plioceno) ao Quaternário (Pleistoceno), e do Pós-formação Barreiras – do Quaternário (Holoceno). Na Planície pode-se observar 2 unidades geológicas principais: a Formação Barreiras, com evolução iniciada no Neógeno (Mioceno / Plioceno), de formações tectonicamente estáveis; e os Depósitos quaternários com diversas sub unidades, caracterizadas por depósitos sedimentares recentes (Holoceno) (Castro 1990, Campos 1992, Castro & Costa 1999 e Silva Filho 2004 *apud* MAPA Aguiar 2011).

Terrenos pré-cambrianos estão expostos em mais de 85 % do Estado do Ceará, inseridos na porção setentrional da Província Borborema. Enquanto as demais áreas apresentam coberturas sedimentares de idades fanerozóicas até o recente (CASTRO & COSTA, 1999).

Do ponto de vista geológico, 2/3 do território do estado são dominados por complexos de rochas cristalinas pré-cambrianas, e 1/3 das rochas são depósitos sedimentares (DNPM, 1983).

Figura 04 - Mapa Geológico da Área de estudo.



Fonte: A autora.

As feições morfológicas sofrem influência variada de natureza marinha, eólica, fluvial ou combinada, gerando formas de acumulação ou, eventualmente, de erosão. Além dos efeitos da morfodinâmica atual e dos fatores litológicos, a morfologia é também influenciada pelos episódios eustáticos transgressivos e/ou regressivos pela neotectônica e por eventos paleoclimáticos (FUNCEME, 2009. p. 16).

O substrato geológico é composto por gnaisses e migmatitos do Pré-Cambriano, sedimentos areno-argilosos com níveis conglomeráticos do Terciário/Quaternário e sedimentos arenosos inconsolidados, dunas e aluviões, do Quaternário (VIEIRA *et al.*, 1998).

As falésias litorâneas têm vertentes escarpadas oriundas do trabalho da abrasão marinha. A ação contínua da erosão durante a preamar dá origem a cavidades ou pequenas grutas de dimensões variadas na base da escarpa. (FUNCEME, 2009. p. 17).

A distribuição da Formação Barreiras abrange toda a faixa pré-litorânea do Ceará e seus terrenos são dissecados em interflúvios tabulares que representam os tabuleiros pré-litorâneos. Sob o ponto de vista litológico, tratam-se de sedimentos, em parte não coesos, de texturas areno-argilosas, cores variadas com tonalidades esbranquiçadas até vermelho escuro e com intenso mosqueado oriundo de processos alternados de oxidação e redução. Nas partes basais, há ocorrências de áreas silicificadas com arenitos grosseiros intercalados por níveis de conglomerados. São as porções terminais dos tabuleiros que atingem a linha de costa e que, submetidas às ações da abrasão marinha, formam os altos topográficos das falésias. Elas são também sujeitas às influências das chuvas e das enxurradas, gerando paisagens erosivas, com a ocorrência de sulcos, ravinas e até voçorocas, como nas praias de Morro Branco, Camocim, Redonda, Canoa Quebrada, dentre outras (FUNCEME, 2009.p. 17).

A seguir as matrizes que sintetizam a distribuição espacial dos aspectos fundamentais dos geofácies em formato de tabelas (Tabelas 05 e 06).

Tabela 05 - Distribuição das unidades geoambientais da Planície Litorânea do Estado do Ceará.

GEOSSISTEMA	Área (km²)	%	GEOFÁCIES	ÁREA (km²)	%
Planície Litorânea	1.187,63	5,79	Campos de Dunas Móveis	499,47	42,06
			Dunas Fixas e Paleodunas	238,94	20,12
			Espelhos d'água Lacustres e Planícies Ribeirinhas	67,91	5,72
			Planície Flúvio-marinhas com manguezais	381,31	32,11

Fonte: FUNCEME, 2009. p.34.

Os demais números, os quais fecham os 100% do total da área de unidades geoambientais da Zona Costeira do Estado do Ceará, encontram-se distribuídos entre os Geossistemas das Planícies Fluviais, Tabuleiros Pré-litorâneos, Maciços Residuais, Sertões do Entorno e outras informações de mapa temático, descritos em FUNCEME (2009).

Tabela 06 - Distribuição dos geossistemas / geofácies do Município de Itarema, Zona Costeira do Estado do Ceará.

GEOSSISTEMA	GEOFÁCIES	ÁREA (km²)	%
Planície Litorânea	Campos de Dunas Móveis	15,5	2,20
	Dunas Fixas e Paleodunas	18,1	2,60
	Espelhos d'água Lacustres e Planícies Ribeirinhas	4,1	0,60
	Planície Flúvio-marinhas com manguezais	27,0	3,80

Fonte: FUNCEME, 2009. p.35.

3.3.1.3 Clima

As águas superficiais na planície litorânea, especialmente nos estuários e nas áreas lacustres, dependem das condições climáticas, da natureza dos terrenos e das características geomorfológicas e fitoecológicas.

O clima interfere através das chuvas e do seu ritmo, na paisagem, na vegetação e nos recursos hídricos, impondo a renovação ou não das reservas hídricas. Comumente, as chuvas como fonte fundamental de suprimento modificam, de modo temporário, o volume de água disponível nos baixos cursos dos rios, nas lagoas de alimentação fluvial ou freática e a disponibilidade de água no solo e no subsolo.

Sob o ponto de vista hidroclimático, as condições de circulação atmosférica que controlam o clima do Nordeste Setentrional são variadas. O sistema sinótico de maior relevância na regulação do clima é gerado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que controla a marcha sazonal das chuvas (FUNCEME, 2009. p. 16).

As condições do clima, ventos e ondas na região mantêm uma estreita relação com o processo de deslocamento ou migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Ao mesmo tempo, os alísios de sudeste/leste, tornam-se mais efetivos, aumentando sua predominância em relação aos de nordeste. Este comportamento ou padrão climático estacional é bastante influenciado pelo fenômeno “El Niño”, que ao favorecer uma posição da ZCIT mais ao norte e por um maior período de tempo, prolonga dessa forma, a vigência da estação seca (CARVALHO, 2003).

Na Planície litorânea, as temperaturas são elevadas ao longo do ano, com médias em torno de 27°C, sendo mínimas as amplitudes térmicas entre os meses e próximas a 2°C. Com temperaturas elevadas, os coeficientes de evapotranspiração se acentuam, atingindo valores anuais superiores a 1.600 mm, configurando um balanço hídrico deficitário durante grande parte do ano. Apenas de março a maio ele se torna positivo. Os ventos predominantes são alísios de NE, E e SE, sendo brandos quanto à velocidade, com média próxima a 3,7 m/s (FUNCEME, 2009. p. 16).

A chuva representa o componente climático de maior variação temporal e espacial do ambiente em foco, a julgar pela análise da pluviometria verificada nos diversos municípios e de acordo com dados das Instituições oficiais como FUNCEME, SUDENE e DNOCS (FUNCEME, 2009. p. 16).

Os valores anuais são superiores a 1.000 – 1.100 mm e comumente, $\frac{3}{4}$ do total ocorre no trimestre março-abril-maio. A maior escassez de chuvas abrange o período de setembro-outubro-novembro. Assim, a estação chuvosa tem menor duração do que a estiagem. As chuvas, além disso, mesmo no litoral do Ceará, são marcadas por excessiva irregularidade. Há excessos ou deficiências com condições extremas de chuvas abundantes ou

de secas. Verificam-se, também, anos em que ocorrem antecipações ou retardamentos e menor ou maior duração do período de chuva. Em geral, elas se concentram nas horas durante os dias e em alguns dias durante os meses chuvosos. São essas características que impõem irregularidade ao regime pluviométrico, guardando semelhanças com a sucessão habitual de tempo do semi-árido sertanejo (FUNCEME, 2009. p. 16).

Uma vez que o regime das chuvas obedece ao mesmo período e sujeito a sazonalidade própria deste tipo de clima, os municípios de Itarema, Itapipoca, Trairí e Uruburetama, embora registrando índice pluviométrico acima de 1000 mm/ano, encontram-se inscritos no domínio climático semi-árido. As elevadas temperaturas giram em torno dos 28 °C, com radiação intensa, várias horas/dias de insolação, provocando elevado índice de evapotranspiração. O déficit hídrico ocorre em torno de 8 a 9 meses, sendo a única diferença a quantidade de água precipitada no período das chuvas (SOARES, 2007).

3.3.1.4 Regime Pluviométrico

Dados da Funceme (2014) referente à série histórica de 1989 a 2013, evidenciam a alternância entre duas estações: a estação chuvosa (verão-outono), que é chamada de inverno, ocorrendo entre janeiro e maio, sendo março e abril os meses com maior média pluviométrica. E a estação seca (inverno-primavera), que é denominada de verão, ocorrendo entre junho e dezembro (APENDICE 04). Com base nessa série histórica, verifica-se que em períodos considerados de boa pluviosidade, as chuvas têm início a partir de dezembro, com precipitações fracas, as quais se intensificam ao longo dos meses seguintes, chegando ao ápice nos meses de março e abril. Os meses junho e julho ainda contam com poucas precipitações. E as mínimas a partir de agosto.

3.3.1.5 Umidade

A umidade relativa da região estudada situa-se entre 64 a 81% e a sua distribuição anual apresenta comportamento semelhante à distribuição das chuvas nesta (PEREIRA, 2010).

3.3.1.6 *Insolação*

A média anual de insolação situa-se na faixa média de 2.740,72 horas de incidência solar entre os anos de 1989 a 1998, para a estação da FUNCEME em Fortaleza. O que equivale a uma média diária de 7,8 horas e mínima de 5,7 horas diárias. Apresenta uma relação inversamente proporcional com a pluviometria e direta com a evaporação e velocidade do vento (FUNCEME, 2007 *apud* PEREIRA, 2010).

3.3.1.7 *Temperatura do ar*

A temperatura média anual para os anos de 1989 a 1998, medida na estação da FUNCEME em Fortaleza, situa-se na média de 28 °C, com máxima de 28,7 °C e mínima de 26,7 °C, produzindo uma amplitude máxima de variação em torno de 2 °C. Nestas condições, caracteriza-se na região o regime térmico como de temperaturas elevadas, mas de baixa amplitude (PEREIRA, 2010).

O litoral cearense é caracterizado por duas médias térmicas relativamente elevadas e com pequenas variações sazonais, uma época mais quente que corresponde à estação seca, alcançando uma temperatura média de 26,8 °C e na chuvosa 26,7 °C (GOMES, 1998).

3.3.1.8 *Evaporação*

Segundo Carvalho (2003), na área estudada, as taxas médias de evaporação são mais baixas entre os meses de fevereiro e junho, com mínimo em abril, coincidindo com o período de chuvas, e elevadas entre julho e janeiro, com pico em outubro, quando está instalado o período de estiagem, produzindo assim, uma relação inversamente proporcional com a pluviometria.

3.3.1.9 *Ventos*

Segundo Maia (1998), a velocidade média do vento na costa cearense varia ao longo do ano entre 3,0 m/s (fevereiro-maio) e 8,0 m/s (agosto-novembro), sofrendo influência maior dos ventos alísios de nordeste.

Ainda segundo Carvalho (2003), as condições dos ventos na região mantêm estreita relação com o processo de deslocamento ou migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e com as condições meteorológicas do Hemisfério

Norte. A faixa de movimentação desta zona é marcada pela convergência dos ventos alísios de nordeste e de sudeste. Durante os meses de dezembro a abril, a ZCIT desloca-se no sentido meridional, quando, via de regra, é caracterizada a estação de chuvas da região. Neste período, verifica-se a presença de alísios de NE, que também atingem a costa com mais frequência.

Os ventos ESE predominam sobre os demais durante todos os meses do ano a exceção dos meses de dezembro e janeiro, quando são superados pelos ventos de ENE e de E. Os ventos de E são constantes ao longo do ano e apresentam, no geral, médias de velocidades superiores às desenvolvidas pelos ventos ESE e ENE, apresentando suas maiores médias distribuídas entre julho e setembro (CARVALHO, 2013).

3.3.1.10 Solos

Os solos são faixas litorâneas correspondendo a terrenos recentes (Holoceno), com relevo plano e suavemente ondulado e que podem vir com associação das Areias Quartzosas Distróficas e/ou como solos halomórficos (AGUIAR, 2011).

Os solos apresentam uma associação predominante de solos imaturos e pouco desenvolvidos como Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos. Os Neossolos Quartzarênicos ocorrem nas faixas praias e nos campos de dunas, bem como, nas dunas fixas e paleodunas e nas faixas de transição para os tabuleiros. Ambos são solos profundos, excessivamente drenados, ácidos e têm fertilidade natural baixa a muito baixa. Os Gleissolos são orgânicos e salinos, mal drenados, ácidos e têm fertilidade natural baixa a muito baixa (FUNCEME, 2009. p. 16).

3.3.1.11 Vegetação

Segundo Fernandes (2000), as fitogeografias, por critérios ecológicos-vegetacionais-florísticos, dentre as formações vegetais existentes destacam-se: Vegetação de Dunas, o Manguezal, a Mata Ciliar e a Mata de Tabuleiro.

A Mata Ciliar encontra-se nas margens de córregos e lagoas e outros corpos d'água associados ao Lagamar do Salgado. São perenifólias em função da umidade. Áreas onde ocorrem influência das marés, desenvolvem-se vegetação típica de solos orgânicos (mangues), e predominam a *Rhizophora mangle* L., *Avicenia* e *Languncularia Racemosa*, e na planície de inundação, com solo areno-lamoso, ocorre: carnaúba (*Copernicia cerífera*), associada ao

mulungu (*Erythrina velutina*), juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), oiticica (*Licania rígida*), e ingá-bravo (*Lonchocarpus sericeus*) (AQUASIS, 2003).

Figura 05 - Vegetação em torno do Córrego da Volta.



Fonte: A autora.

Todavia a vegetação típica da planície litorânea é composta pela vegetação pioneira psamófila, pela vegetação das dunas fixas e pelos manguezais (FUNCEME, 2009. p. 16).

Nas dunas fixas as espécies têm maior porte e têm padrão arbóreo arbustivo, sobretudo à sotavento. Voltadas para barlavento, as encostas das dunas têm plantas de menor porte. Destacam-se como espécies dominantes o camará (*Lantana camara*), guajiru (*Chrysobalanus icaco*), fedegoso (*Hefotropium indicum*), mandacaru (*Cereus jamacaru*) e a mangabeira (*Hancomia speciosa*) (FUNCEME, 2009. p. 17).

Figura 06 - Vegetação em duna fixa.



Fonte: A autora.

A vegetação de tabuleiro corresponde a um complexo florístico que inclui espécies de caatinga, de cerrados e de mata atlântica, possui tipo semiperenifólio (permanece verde com 90% das folhas) e caducifólio (cai grande parte das suas folhas). A queda das folhas é uma estratégia de defesa das plantas à limitação da água. Algumas espécies: pau d'arco roxo (*Tabebuia avellanedae*), caraíba (*Tabebuia caraiba*), arapiroca (*Pithecellobium foliolosum*), freijó (*Cordia trichotoma*), Angelim (*Andira retusa*) e cajueiro (*Anacardium occidentale*), (AGUIAR, 2011. p. 27).

Na faixa de praia não existe vegetação, devido a dinâmica litorânea. A vegetação ocorre nas dunas, na pós-praia, planícies ribeirinhas e lacustres, e inclui manguezais, situados nas planícies flúvio-marinhas (AGUIAR, 2011. p. 27).

3.3.1.12 Aspectos Hidrográficos

Na área de estudo, a bacia hidrográfica do Litoral, abrange uma área de 9.622 km², fazendo parte os rios Aracatiaçu, Aracatimirim, Mundaú, Zumbi e Trairi,

inscritos administrativamente nos municípios de amontada, Itarema, Irauçuba, Itapipoca, Tururu, Miraíma, Trairi e Uburetama (SAADI & TORQUATO, 1992).

A bacia hidrográfica do Litoral, com área de drenagem de 8.619 km², é formada por cinco bacias independentes: Aracatiaçu, (3.415 km²), Mundaú (2.227 km²), Trairi (556 km²), Aracati-mirim 1.565 km², Zumbi (193 km²), além de uma Faixa Litorânea de Escoamento Difuso (FLED) de 663 km². Estas bacias são drenadas por córregos, riachos, lagoas, e lagamares, alimentados por águas pluviais e aquíferos que se formam nos campos dunares (SOARES, 2007).

O município de Itarema está totalmente inserido na bacia hidrográfica do rio Aracatiaçu, também conhecida como Bacia Hidrográfica Litoral, e tem com drenagens de destaque os rios Aracatiaçu e Aracatimirim, e os córregos Grande, da Volta e Mineiro (VIEIRA *et al.*, 1998).

No início de cada ano, atua a chamada “quadra-chuvosa”, que é o período quando a precipitação e a vazão dos rios são maiores, estendendo-se até maio. Os outros meses são condicionados a baixas vazões, assim o regime fluvial encontra-se diretamente condicionado ao regime pluvial.

As principais lagunas da planície costeira de Itarema são: a Lagoa do Mato, com 1 km² de superfície; a Laguna salgada, com 9.000.000 m², possui ligação com o mar por um canal de maré e é o maior reservatório de água. O Lagamar do Sargento é a principal laguna da Planície Costeira, e possui ligação com a Laguna Salgada, por canal de maré. Formaram-se por fechamento de barras no Holoceno (Esteves, 1999), com nascentes na Formação Barreiras, e nos Depósitos Quaternários (AGUIAR, 2011. p. 21).

Os principais córregos da planície costeira são: o Córrego Grande, com 15km de extensão, córrego Riacho com 12 km, e outros menores que não ultrapassam 6km, como o córrego do Lamarão e córrego do Panamá. Os pequenos rios e córregos seguem a orientação do relevo com caimento W-SE e W-E, formando um modelo de drenagem paralela (AGUIAR, 2011. p. 21).

No município de Itarema podem se distinguir dois domínios hidrogeológicos distintos: sedimentos da Formação Barreiras e depósitos aluvionares (VIEIRA *et al.*, 1998).

O domínio representado pelos sedimentos da Formação Barreiras caracteriza-se por uma expressiva variação faciológica, com intercalações de níveis mais e menos permeáveis, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos variáveis de

acordo com o contexto local. Essas variações induzem potencialidades diferenciadas quanto à produtividade de água subterrânea. No município de Itarema esses sedimentos apresentam uma boa potencialidade em função, principalmente, das espessuras apresentadas e, também, de suas características litológicas (VIEIRA, *et al.*, 1998).

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, onde a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas (VIEIRA *et al.*, 1998).

3.3.2 Tabuleiros Pré-Litorâneos

Constituem as porções centro-meridionais dos municípios litorâneos dispendo-se entre a planície litorânea e as depressões sertanejas de entorno.

Os tabuleiros são compostos por sedimentos mais antigos pertencentes à Formação Barreiras e se dispõem de modo paralelo à linha de costa e à retaguarda dos sedimentos eólicos, marinhos e fluvio-marinhos que constituem a planície litorânea. A largura média desse terreno é em torno de 25-30 km, contactando para o interior com rochas do embasamento cristalino (FUNCEME, 2009. p. 18).

O sistema deposicional da Formação Barreiras é variado e inclui desde leques aluviais coalescentes até planícies de marés. As fácies sedimentares superficiais têm, igualmente, variações que dependem de condições diversas tais como: da área fonte dos sedimentos, dos mecanismos de mobilização e das condições de deposição.

Sob o aspecto litológico, há predominância de sedimentos areno-argilosos de cores esbranquiçadas, vermelho-amareladas e cremes. O material é mal selecionado e tem variação textural de fina a média e estratificação indistinta (FUNCEME, 2009. p. 18).

Os sedimentos da Formação Barreiras compõem o *glacis* de acumulação que é entalhado pela rede de drenagem que demanda o oceano. As áreas interfluviais constituem os tabuleiros pré-litorâneos. Trata-se de terrenos firmes, estáveis, com topografias planas e solos espessos. As sedes dos municípios litorâneos, com raras exceções ficam situadas nos tabuleiros. Trata-se de áreas muito propícias à expansão urbana e onde as condições

de estabilidade ambiental não oferecem maiores empecilhos ao uso e ocupação (FUNCEME, 2009, p. 18).

As condições hidroclimáticas são similares às aquelas apresentadas para a planície litorânea.

Sob o ponto de vista dos solos, verificam-se diferenças de acordo com as características do material de origem. Nos tabuleiros arenosos a superfície plana do relevo é composta por Neossolos Quartzarênicos distróficos. Os pequenos vales que entalham as superfícies tabuliformes agregam Planossolos Nátricos e Planossolos Háplicos solódicos. Em alguns setores de relevos ondulados, ocorrem solos Argilosos plintícos, conforme EMBRAPA (1993 *apud* FUNCEME 2009, p. 18).

Nos tabuleiros com coberturas areno-argilosas, há predominância dos solos Argissolos Vermelho-Amarelos e ocorrência, pouco frequente, de Latossolos nos setores mais elevados dos tabuleiros (FUNCEME, 2009).

Os neossolos Quartzarênicos são solos profundos, apresentam drenagem excessiva, são ácidos e têm fertilidade natural baixa. Os planossolos Nátricos são solos rasos a medianamente profundos, mal drenados, textura indiscriminada com problemas de salinização. Os solos Argissolos plintícos são profundos, mal drenados, textura areno-argilosa e com horizonte plintico sotoposto. Têm baixa fertilidade natural (FUNCEME, 2009, p. 19).

Os solos Argissolos Vermelho-Amarelos dos tabuleiros são profundos, bem drenados, e têm baixa a média fertilidade natural (FUNCEME, 2009).

A vegetação de tabuleiros corresponde a um complexo florístico que inclui espécies de matas, das caatingas e dos cerrados. Fisicamente, percebe-se que apesar da descaracterização paisagística motivada pela intensidade do uso e ocupação da terra, há ocorrência de plantas adensadas e comportamento arbóreo-arbustivo como a massaranduba da praia (*Manilkara triflora*), Angélica (*Guetarda angélica*), amarelão (*Buchenavia capifata*), coaçu (*Coccoloba latifolia*), torem (*Cecropia palmata*) e quebra machado (*Chamaecrista ensiformis*) (FUNCEME, 2009, p. 19).

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água é uma biomolécula indispensável à vida dos organismos vivos, sendo a substância mais abundante nos sistemas, constituindo cerca de 70 % ou mais do peso dos seres (LEHNINGER, 2006).

De acordo com Gleick *et al.*, 2009 *apud* Rosalino, 2011, estima-se que a água doce representa apenas 2,5% de água existente na terra e que menos de 1% da água doce está disponível para consumo. Esta reduzida porção dos recursos de água utilizável pelo homem está a ser intensamente explorada e degradada a uma velocidade alarmante, desestabilizando o equilíbrio ambiental e a renovação natural deste recurso.

Segundo Macedo (2000) é fato que esse elemento líquido causa uma falsa sensação de recurso inesgotável. A grande disponibilidade de água é imprópria para o consumo humano, sendo 95,1 % salgada e os 4,9 % restantes dividem-se em 4,7 % em geleiras ou regiões subterrâneas de difícil acesso, e somente 0,147 % estão em lençóis subterrâneos, lagos e nascentes, sendo estas águas aptas para o consumo.

A qualidade de uma água, seja ela superficial ou subterrânea, pode ser definida pela ocorrência de vários processos químicos, físicos e biológicos, os quais controlam sua composição.

Quando substâncias estranhas são introduzidas na água, por processos naturais ou como resultado direto das atividades do homem, suas propriedades variam drasticamente (MESTRINHO, 2006, p. 102).

Conforme Branco e Murgel (2004), os parâmetros químicos da água são os índices mais importantes para se verificar sua qualidade. Uma vez que os íons presentes determinam o seu conteúdo mineral e os seus principais poluentes, que podem ser identificados por meio das análises físico-química da água. Também é de fundamental importância classificar os poluentes tóxicos e suas fontes, bem como avaliar o equilíbrio bioquímico necessário para a sobrevivência dos animais aquáticos que dependem de um corpo hídrico.

Embora seja fundamental para a vida humana, a água pode também ser veículo importante para a transmissão de numerosas doenças epidêmicas. Além das

bactérias e dos vírus, a água serve também como vetor para inúmeros protozoários e vermes que podem provocar efeitos patológicos, não somente no ser humano, mas também em muitos animais. Os indicadores microbiológicos mais aceitos vêm das bactérias do grupo coliforme, sendo que é muito difícil procurar seres patogênicos individualmente na água, e os exames bacteriológicos com esta finalidade são complicados e onerosos (ROCHA, 1994).

4.1 Águas Superficiais

São superficiais as águas que escoam ou se acumulam na superfície terrestre, como os rios, riachos, lagos, lagoas, veredas, brejos etc. (IGAM, 2008, p. 9).

Na categoria das águas superficiais, destaque para as Lagoas Costeiras, que são corpos aquosos relativamente rasos, separados dos oceanos por uma barreira, ou em alguns casos, intermitentemente conectados ao oceano por um ou mais canais restritos (KJERFVE, 1994). Geralmente se apresentam em disposição paralela à linha de costa, situados em planícies costeiras e em litorais dominados por ondas, ou pela ação combinada da energia das ondas e das marés. Do ponto de vista geomorfológico e ambiental, a conexão da laguna por canais e a sua troca de água com o oceano, é o principal fator que a diferencia de uma lagoa costeira.

A adição de efluentes ao sistema de drenagem, facilmente alteram a qualidade das *águas superficiais*. O uso dos recursos naturais pelo homem em áreas urbanas, na indústria, em atividades agrícolas, aliado aos processos naturais como variação da precipitação, intemperismo das rochas e erosão alteram a qualidade das águas, tornando-as inadequadas para o consumo humano, recreação, indústria e agricultura (MENDIGUCHÍA *et al.*, 2004; VIDAL *et al.*, 2000).

Neste trabalho, as águas superficiais foram estudadas, com base no IQA - Índice de Qualidade de Água, que é utilizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB, desde 1975 e que integra variáveis físicas (temperatura, turbidez e resíduo total), químicas (pH, nitrogênio amoniacal, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio – DBO e oxigênio dissolvido) e microbiológica (coliformes termotolerantes), refletindo principalmente, a contaminação dos corpos hídricos causada pelo lançamento de esgoto doméstico (CETESB, 2008).

Segundo Simeonov *et al.* (2003) e Toledo & Nicolella (2002), é necessário um programa de monitoramento sistemático para se obter uma real estimativa da variação da qualidade das águas superficiais, o qual, inclua coletas frequentes nos mesmos pontos de amostragem e análises em laboratório de grande número de parâmetros, resultando em matriz de grandes dimensões e complexa interpretação. Contudo, ao mesmo tempo, os autores afirmam que pequeno número desses parâmetros contém as informações químicas mais relevantes, enquanto a maioria das variáveis adiciona pouco ou nada à interpretação dos resultados em termos de qualidade.

4.2 Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas representam a parcela da hidrosfera que ocorre em subsuperfície da Terra. Elas têm três origens principais: meteórica, conata e juvenil (REBOUÇAS, 2006, p.4).

Segundo Moura (2013), em áreas de insuficiência de recursos hídricos superficiais, alternativas para irrigação e abastecimento são adotadas através de captação de poços amazonas (poços de grandes diâmetros, 40" ou mais, escavados manualmente e revestidos com tijolos ou anéis de concreto), tubulares profundos (obras de engenharia geológica, executadas com sonda perfuratriz mediante perfuração vertical com diâmetro de 4" a 36" e profundidade maior que 20 metros) e tubulares rasos (mesma definição de tubulares profundos, no entanto, com uma profundidade menor que 20 m).

Águas subterrâneas são captadas a partir de poços tubulares, obra de engenharia geológica de acesso à água subterrânea, executada com Sonda Perfuratriz, mediante perfuração vertical, com diâmetro de 4" a 36" e profundidade de até 2.000 m para captação de água (ABAS, 2013).

A água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas. Desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (BARRETO, 2006, p. 16).

As águas subterrâneas ocorrem preenchendo os poros, fraturas, fissuras e outras formas de vazios das rochas. Esses elementos têm dimensões milimétricas, porém ocorrem em tão grande número que estocam cerca de

97% das reservas de água doce que são encontradas no estado líquido nos domínios dos continentes. Os 3% restantes formam os rios, lagos e constituem a umidade do solo que dá suporte ao desenvolvimento da biomassa (REBOUÇAS, 2006, p. 12).

Interpretando as citações acima, águas subterrâneas são águas de subsuperfície. É evidente que toda água de subsuperfície é subterrânea, mas para a hidrogeologia “água subterrânea” é aquela que circula na “zona saturada”, ou seja, abaixo do nível freático, onde todos os vazios existentes no terreno estão preenchidos com água. A superfície freática é aquela onde a água encontra-se submetida à pressão atmosférica.

Já a zona de aeração ou zona vadosa, ou “zona não saturada”, é aquela que está situada entre a superfície freática e a superfície do terreno, e nela os poros estão parcialmente preenchidos por gases (ar e vapor d’água) e por água.

No geral os depósitos de água subterrânea são bem mais resistentes aos processos poluidores do que os de água superficial, uma vez que a camada de solo sobrejacente atua como filtro físico e químico. A facilidade de um poluente atingir a água subterrânea dependerá de fatores como: tipo de aquífero, profundidade de nível estático, permeabilidade da zona de aeração e do aquífero, teor de matéria orgânica existente no solo, entre outros.

4.2.1 Características Químicas das Águas Subterrâneas

A concentração das espécies naturais dissolvidas nas águas subterrâneas é função, principalmente, do intemperismo e da dissolução de minerais como carbonatos, silicatos e evaporitos, durante a interação da água com as rochas (MESTRINHO, 2006, p. 105). Como os sais solúveis predominantes nas rochas são os carbonatos, sulfatos e cloretos, os íons mais encontrados nas águas são Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+2} , K^{+2} , SO_4^{2-} , Cl^- , e HCO_3^- , denominados íons principais.

A caracterização física e química da água subterrânea é necessária e fundamental em qualquer estudo hidrogeológico. As análises das propriedades e constituintes seguem metodologias diversas, sendo normalmente da responsabilidade de especialistas em análises físicas e químicas. Ao hidrogeólogo compete verificar o seu rigor, ou seja, aferir se os resultados fornecidos se encontram dentro dos limites

admissíveis para o erro prático, adotado pelas metodologias aplicadas, e interpretar os dados quando estes se consideram (SIMÕES, 2008).

Ao estudarmos água da zona saturada, devemos dar muita importância ao fato de que as características gerais das águas subterrâneas dos domínios de rochas cristalinas e sedimentares, em diferentes litologias, o clima deve ter consideração primordial. Isso porque fatores observados em condições de clima temperado devem ser considerados com cautela quando observados em condições de clima tropical. Embora as propriedades químicas das águas subterrâneas, dependam principalmente, dos tipos de rocha que a água percola, ou seja, águas de um mesmo tipo de rocha, podem apresentar características diferentes de uma região para outra, em função do clima.

O Quadro 01 apresenta a origem de constituintes principais das águas subterrâneas apresentada por MESTRINHO, 2006, p. 110, adaptada de BERNER & BERNER, 1987.

Quadro 01- Origens dos constituintes principais das águas subterrâneas.

COMPONENTE	ORIGEM
Na ⁺	Dissolução do NaCl; poluição; intemperismo de plagioclásio; chuvas
K ⁺	Intemperismo da biotita e K-feldspato; degradação da biomassa; dissolução de aerossóis trapeados.
Mg ²⁺	Intemperismo de anfibólio, piroxênio, biotita, clorita, dolomita, olivina; chuvas.
Ca ²⁺	Intemperismo da calcita, plagioclásio, dolomita; dissolução de aerossóis trapeados; degradação da biomassa.
HCO ₃ ⁻	Intemperismo da calcita, dolomita e silicatos
SO ₄ ²⁻	Intemperismo da pirrita; poluição; dissolução do CaSO ₄ ; chuvas.
Cl ⁻	Dissolução do NaCl; poluição; chuvas.
H ₄ SiO ₄	Intemperismo de silicatos.

Fonte: MESTRINHO, 2006, adaptada de BERNER & BERNER, 1987.

Como o tempo de residência geralmente cresce com a profundidade, as águas subterrâneas podem apresentar uma estratificação que é comandada pelas características litológicas e pelos níveis de solubilidade. As águas mais rasas ou com menor tempo de residência, tendem a ser bicarbonatadas, e à medida que se aprofundam evoluem para sulfatadas e cloretadas (MESTRINHO, 2006, p. 111).

4.3 Importância da realização correta do procedimento de coleta de amostra de água.

Um dos passos mais importantes para a caracterização da qualidade da água é a realização da coleta de amostras de forma apropriada. Para evitar qualquer forma de contaminação ou perda, são necessárias todas as precauções possíveis, uma vez que a coleta de amostras é com frequência, segundo estudos, a maior fonte de erro num programa de monitoramento da qualidade de águas, principalmente quando se trata de águas subterrâneas.

Segundo MESTRINHO, 2006, p. 112, os problemas potenciais que podem causar modificações na composição da amostra original e, como consequência, alterar a representatividade dos dados químicos são: contaminação das amostras como matérias do poço (fluidos de perfuração, materiais de cimentação, etc); alteração da amostra durante a coleta por mudança das condições de temperatura, pressão e concentração de gases; intervalo de tempo entre a coleta e as análises; e, colonização por bactérias. Também é importante considerar a preservação e o armazenamento adequados das amostras para, dentre outros fatores, retardar a ação biológica e a hidrólise dos compostos, reduzir a volatilidade de constituintes voláteis e os efeitos de adsorção dos íons nas paredes do recipiente. As principais técnicas de preservação envolvem a adição química (a pH = 2), refrigeração e congelamento.

4.4 Poluição das Águas

Poluição da água é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas que possa importar em prejuízo à saúde, bem-estar das populações e, ainda, comprometer a sua utilização para fins agrícolas, industriais, comerciais, recreativos e, especialmente, a existência da fauna aquática (CONAMA, 2005).

Entende-se ainda por poluição das águas a adição de substâncias ou de forma de energia que, direta ou indiretamente, alteram a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos (von SPERLING, 1996).

O comprometimento da qualidade da água para fins de abastecimento doméstico é decorrente de poluição causada por distintas fontes, tais como efluentes domésticos, efluentes industriais e deflúvio superficial urbano e agrícola. Os efluentes domésticos, por exemplo, são constituídos basicamente por contaminantes orgânicos, nutrientes e microrganismos que podem ser patogênicos. Os poluentes resultantes do

deflúvio superficial agrícola são constituídos de sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos de animais (MERTEN & MINELLA, 2002).

Rheinheimer *et al.*, (2003) afirma que as águas rurais também podem ser contaminadas pelos dejetos humanos e de animais que são lançados a céu aberto pela falta de saneamento básico, tornando-se constantes fontes de poluição. E que a falta de saneamento básico no meio rural, independente da forma de ocupação, é um fator preocupante por se tratar de constante lançamento de poluentes no meio ambiente.

Existem, basicamente, duas formas em que as cargas poluidoras provenientes de determinada fonte de poluição que podem atingir os sistemas hídricos superficiais e subterrâneos, as quais são descritas por Braile (1971) e von Sperling (1996), que são as pontuais e as difusas. Nas fontes pontuais os poluentes atingem os sistemas hídricos de forma concentrada no espaço, enquanto que nas fontes difusas, os poluentes adentram os sistemas hídricos distribuídos ao longo de sua extensão.

Portanto, fontes pontuais de poluição são responsáveis por poluições altamente concentradas na forma de plumas. Essas atingem o aquífero através de um ponto. Por exemplo: sumidouros de esgotos domésticos, comuns em comunidades rurais, aterros sanitários, vazamentos de depósitos de produtos químicos, vazamentos de dutos transportadores de esgotos domésticos ou produtos químicos.

As fontes difusas, normalmente se devem a poluentes transportados por correntes aéreas, chuva e pela atividade agrícola. Ou seja, contaminam áreas extensas. Contudo podem ainda ser caracterizadas de baixa concentração. Ocorre principalmente em aglomerados urbanos, onde não haja rede de esgotamento sanitário. Fossas sépticas e sumidouros regularmente espaçados também contribuem para esse tipo de poluição.

Outros fatores preocupantes relacionados à poluição de recursos hídricos são o uso de fertilizantes e as precárias condições, quanto às adequações das atividades, segundo as legislações vigentes, desenvolvidas nas bacias hidrográficas.

A translocação do nitrogênio e do fósforo para os ambientes aquáticos é causada devido ao excessivo uso de fertilizante, fazendo com que esses ambientes

sejam gradativamente eutrofizados e empobrecidos em oxigênio disponível para a vida animal. Embora a remoção de fosfatos do solo seja quantitativamente pequena quando comparada com a de nitrato, o fosfato compõe-se como o principal fator de eutrofização, pois este se encontra em *deficit* nos organismos aquáticos. O nitrato e o fosfato requerem cuidados redobrados com relação ao seu potencial de aumento da carga de organismos consumidores do oxigênio dissolvido na água e também ao fato de serem necessários novamente nos próximos cultivos. Com relação à presença de outros nutrientes, como potássio e cálcio, não existe muita preocupação, pois estes nutrientes não influenciam de maneira grave o crescimento de microrganismos e algas na água. Mesmo assim, analisando do ponto de vista econômico observa-se que as perdas desses nutrientes aumentam a necessidade de novas adubações nas culturas subsequentes, ocasionando um novo dispêndio monetário. (MAIER, 2007).

As precárias condições em que muitas vezes se encontram os corpos d'água são frequentemente os sintomas de problemas que estão ocorrendo ao longo da microbacia hidrográfica. Esses sintomas são resultantes das atividades extrativistas, da produção e do consumo de bens ou do despejo e emissão de esgotos domésticos e industriais. As tentativas de intervenção que se preocupam apenas em resolver o problema depois de instalado geralmente falham e frustram na medida em que recursos financeiros são investidos sem que se veja o retorno (MAIER, 2007).

Nos países desenvolvidos, maior atenção tem sido dada à poluição difusa, pelo fato dos lançamentos pontuais já terem sido, em grande parte, equacionados. Entretanto, nas condições brasileiras há praticamente tudo a se fazer em termos do controle da poluição pontual originária de aglomerados rurais, cidades e indústrias (Von SPERLING, 1996), bem como em relação às fontes de poluição difusa, principalmente da agricultura.

4.5 Vulnerabilidade

As zonas costeiras são regiões de grande importância para a atividade econômica e desenvolvimento do país, portanto alvo constante de estudos, haja vista suas fragilidades de dinâmica.

A qualidade das águas subterrâneas de uma determinada área passa a ser posta em risco de comprometimento a partir do instante em que há a exploração excessiva dos recursos hídricos subterrâneos, a ocupação irregular dos solos e a ausência de normas legais, ou pelo menos o descumprimento dessas.

Um assunto frequentemente abordado na literatura científica é sobre a pressão de uso e ocupação sobre as zonas costeiras no mundo todo e os seus efeitos sobre o equilíbrio dos ecossistemas. As regiões costeiras são afetadas constantemente por fatores naturais morfodinâmicos - tais como direção e intensidade de ventos e correntes marinhas, altura de ondas, variações do nível de maré, entre outros – que modificam bruscamente feições morfológicas locais (COSTA, 1999 *apud* COSTA *et al.*, 2006).

Portanto, surge a necessidade de estudar a área em questão neste trabalho, Itarema, Ceará, com o objetivo de classificar o nível de vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea.

Alguns conceitos são atualmente utilizados para definição de vulnerabilidade, os quais são citados abaixo:

- Vulnerabilidade ambiental, segundo Tagliane (2003), significa a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por uso antrópico qualquer.

- Vulnerabilidade ambiental consiste em qualquer conjunto de fatores ambientais de mesma natureza que, diante de atividades que estão ocorrendo ou que venham a ocorrer, poderá sofrer adversidades e afetar, de forma total ou parcial, a estabilidade ecológica da região em que ocorre (ANDERSEN & GOSKEN, 1989).

- Segundo Ribeira (2004), vulnerabilidade pode ser definida como uma série de atributos ou características de determinado meio, que são o solo, a zona saturada, os parâmetros hidráulicos do aquífero e a recarga, que controlam a habilidade do mesmo de resistir a determinado impacto e sua capacidade de auto-restauração.

- Para Hirata e Fernandes (2008), a vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação pode ser definida em função de um conjunto de

características físicas, químicas e biológicas da zona não saturada e/ou aquítarde confinante que, juntas, controlam a chegada do contaminante ao aquífero.

- A vulnerabilidade natural das águas subterrâneas corresponde à capacidade das características hidrodinâmicas e litológicas do aquífero, de impedir determinados impactos naturais ou antrópicos (RIBEIRO *et al.*, 2011).

Leitão *et al.* (2003) sugere ser cientificamente preferível avaliar a vulnerabilidade em relação a fatores específicos de poluição. Como por exemplo: pesticidas, nutrientes, materiais de origem orgânica, metais pesados, entre outros, uma vez que a vulnerabilidade de um aquífero depende também do tipo de poluente. Isso devido à qualidade da água subterrânea, que pode ser muito vulnerável a uma carga de pesticidas/nitrato, originadas por práticas agrícolas incorretas. Porém, no entanto, podendo ser pouco vulnerável a cargas patogênicas, devido à mortalidade natural dos agentes patogênicos.

As metodologias de determinação da vulnerabilidade de aquíferos são atualmente utilizadas como ferramenta de auxílio às propostas de proteção das águas subterrâneas, associadas a atividades de gestão dos recursos hídricos e de planejamento e ordenamento territorial (RIBEIRO *et al.*, 2011).

Diversos métodos são utilizados na determinação da vulnerabilidade de aquíferos. Entre esses, os principais são: DRASTIC, GOD, TPE, Sintacs, Poluição dos Lençóis Aquíferos, dentre outros (HIRATA e FERNANDES, 2008).

Dos métodos citados, destaque para o método DRASTIC (ALLER *et al.*, 1987), aplicado neste estudo, o qual utiliza os seguintes parâmetros:

D- Profundidade da água subterrânea (do nível estático);

R- Taxa de Recarga;

A- Material do aquífero;

S- Tipo de solo;

T- Topografia;

I- Impacto (material) da zona vadosa (insaturada);

C- Condutividade hidráulica do aquífero.

O índice DRASTIC corresponde à soma ponderada de sete valores que correspondem aos sete parâmetros citados acima e foi desenvolvido a partir dos pressupostos que (ALLER *et al.*, 1987):

- o contaminante é introduzido à superfície do terreno;
- o contaminante é transportado verticalmente ao aquífero pela água de infiltração;
- o contaminante tem a mobilidade da água;
- a área mínima avaliada pelo DRASTIC é de 0,4 km².

Sendo assim, a vulnerabilidade surge como um conceito que permite integrar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e da sua especificidade.

Aos fatores hidrogeológicos são atribuídos valores, índice de avaliação (i) que podem variar de no mínimo 1 a no máximo 10, em função das condições locais, sendo que, valores elevados correspondem a uma maior vulnerabilidade. Tais valores podem ser obtidos através de tabelas que consideram a correspondência entre as características hidrogeológicas locais e o respectivo parâmetro. Cada fator apresenta, ainda, um peso relativo que é reflexo de sua importância relativa a quantificação da vulnerabilidade do aquífero. Quanto maior o peso relativo, maior a importância do fator na caracterização da vulnerabilidade, sendo que este peso pode variar apenas entre 1 e 5 (MENESES, 2007).

Ou seja, a cada uma das divisões, atribuiu-se um índice cujo valor se relaciona diretamente com o potencial de poluição. O peso (fixo) de cada parâmetro, que varia de 1 a 5, reflete sua importância relativa na quantificação da vulnerabilidade (BARRETO, 2006). A Tabela 07 mostra o peso referente a cada parâmetro do Índice DRASTIC.

Tabela 07 – Peso relativo de cada parâmetro do Índice DRASTIC.

Parâmetro	D	R	A	S	T	I	C
Peso	5	4	3	2	1	5	3

Fonte: Aller *et al.*, 1987.

A etapa final do cálculo é a adição do produto dos fatores por seus pesos relativos.

A Equação 01 apresenta a forma de cálculo do Índice DRASTIC.

Índice DRASTIC =

$$D_p \times D_i + R_p \times R_i + A_p \times A_i + S_p \times S_i + T_p \times T_i + I_p \times I_i + C_p \times C_i \quad (01)$$

Onde:

D_i ; R_i ; A_i ; S_i ; T_i ; I_i ; C_i = índice de avaliação atribuído ao parâmetro em questão;

D_p ; R_p ; A_p ; S_p ; T_p ; I_p ; C_p = peso correspondente ao parâmetro em questão.

$D_p \times D_i$: produto entre o peso relativo (D_p) e o índice (D_i) estabelecidos para o parâmetro profundidade da zona não-saturada do solo;

$R_p \times R_i$: produto entre o peso relativo (R_p) e o índice (R_i) estabelecidos para o parâmetro recarga profunda de aquíferos;

$A_p \times A_i$: produto entre o peso relativo (A_p) e o índice (A_i) estabelecidos para o parâmetro material do aquífero;

$S_p \times S_i$: produto entre o peso relativo (S_p) e o índice (S_i) estabelecidos para o parâmetro tipo de solo;

$T_p \times T_i$: produto entre o peso relativo (T_p) e o índice (T_i) estabelecidos para o parâmetro topografia;

$I_p \times I_i$: produto entre o peso relativo (I_p) e o índice (I_i) estabelecidos para o parâmetro material da zona não-saturada;

$C_p \times C_i$: produto entre o peso relativo (C_p) e o índice (C_i) estabelecidos para o parâmetro condutividade hidráulica.

O índice final de vulnerabilidade pode atingir um valor mínimo de 23 (no caso em que os valores atribuídos aos fatores hidrogeológicos são todos 1 e o valor máximo de 226. Valores dessa ordem são raros, situando-se normalmente entre 50 e 200 (BARRETO, 2006). A Tabela 08 mostra os intervalos de valores utilizados para classificação de vulnerabilidade de acordo com o Índice DRASTIC.

Tabela 08- Intervalo de valores utilizados para classificação de vulnerabilidade.

Intervalo de valores	Classificação da vulnerabilidade
< 100	Vulnerabilidade insignificante
101 – 119	Vulnerabilidade muito baixa
120 – 139	Vulnerabilidade baixa
140 – 159	Vulnerabilidade moderada
160 – 179	Vulnerabilidade alta
180 – 199	Vulnerabilidade muito alta
> 200	Vulnerabilidade extrema

Fonte: ALLER *et al.*, 1987.

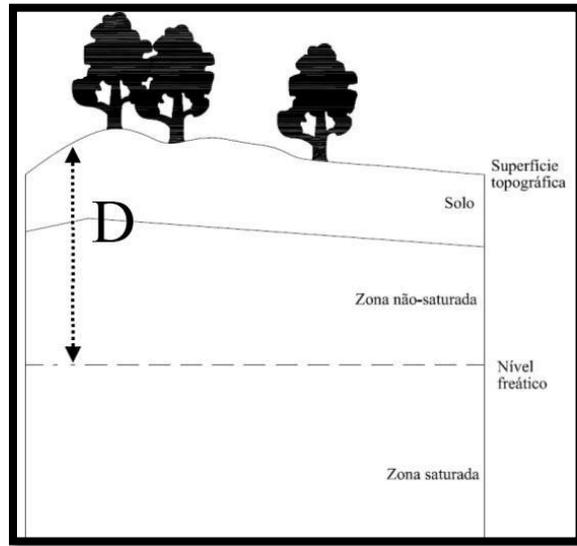
Quanto maior os valores observados nos intervalos citados, maior poderá ser a vulnerabilidade do aquífero à contaminação. No entanto, vale salientar que, segundo Kohnke (2002), um valor baixo do índice não significa que não possa ocorrer contaminação, apenas que esta será menos provável e menor que em outras áreas.

4.5.1 Descrição do parâmetro D- (Profundidade do nível estático ou Profundidade da zona não saturada);

A distância vertical da zona não-saturada determina a profundidade através da qual um contaminante precisa percolar para alcançar o aquífero. Ou seja, a distância observada da superfície do terreno até a superfície da água do poço. Quanto maior essa profundidade, maior o tempo de deslocamento e de contato do contaminante com o meio percolante, havendo, portanto, a possibilidade de oxidação do contaminante pelo oxigênio atmosférico, aumentando assim as chances de ocorrer atenuação do contaminante e seus efeitos. Os riscos de contaminação são reduzidos em níveis confinantes ou pouco permeáveis, que atuarão como barreiras para o deslocamento dos contaminantes, reduzindo o risco de contaminação.

A Figura 07 ilustra a definição do parâmetro **D**, da profundidade do nível estático, a distância vertical entre a superfície do terreno e o nível subterrâneo onde todos os poros do solo são preenchidos.

Figura 07 – Esquema ilustrativo do parâmetro D.



Fonte: MENESES, 2007.

De acordo com Aller *et al.* (1987), consideram-se os seguintes intervalos de profundidade do nível estático, respectivos índices e o peso (Tabela 09).

Tabela 09 - Intervalos de profundidade, valores de avaliação e peso do Índice para o parâmetro D.

Profundidade do topo do aquífero (m)	Índice de avaliação
<1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
> 30,5	1
Peso	5

Fonte: ALLER *et al.*, 1987.

4.5.2 Descrição do parâmetro R- (Taxa de Recarga);

A principal fonte de abastecimento da água subterrânea é a precipitação, a qual, através da infiltração em superfície, percola até alcançar o nível freático (MENESES, 2007).

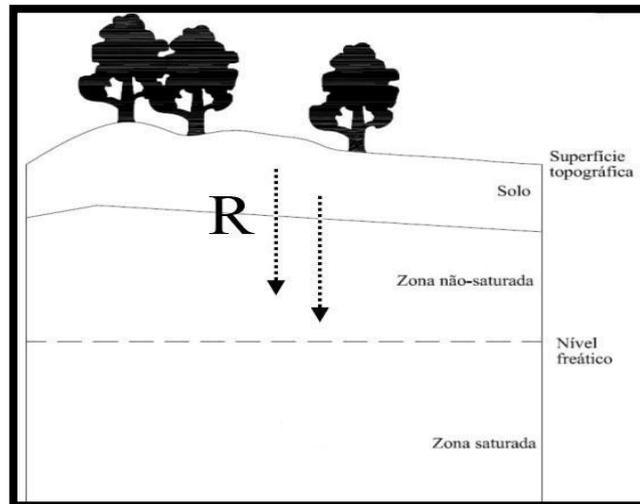
A esse processo dá-se o nome de recarga do aquífero, ou seja, a quantidade de água que contribui para aumentar a reserva subterrânea de um aquífero.

A recarga condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para os processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada (BARRETO, 2006).

Este parâmetro pode contribuir para a dispersão ou diluição dos contaminantes na zona não-saturada ou mesmo na zona saturada. Uma vez que uma recarga elevada aumenta a lixiviação e transporte de elementos sólidos e líquidos para o aquífero. Isto é, quanto maior a recarga, maior a probabilidade de contaminação do aquífero. Contudo, em termos de potencial de poluição, um volume excessivamente alto de recarga contribui na diminuição desse potencial, favorecido pela diluição de substâncias poluentes.

A Figura 08 ilustra a definição do parâmetro **R**, da taxa de recarga do aquífero, a qual corresponde à quantidade de água por unidade de área que penetra no solo e atinge o nível freático.

Figura 08 – Esquema ilustrativo do parâmetro R.



Fonte: MENESES, 2007.

A Tabela 10 apresenta o peso e os índices padrão para o parâmetro R, conforme indicado em Aller *et al.* (1985).

Tabela 10 – Pesos e índices para o parâmetro R.

RECARGA DO AQUIFERO	
Intervalo (mm/ ano)	Índice
< 51	1
51 -102	3
102 – 178	6
178 – 254	8
> 254	9
Peso	4

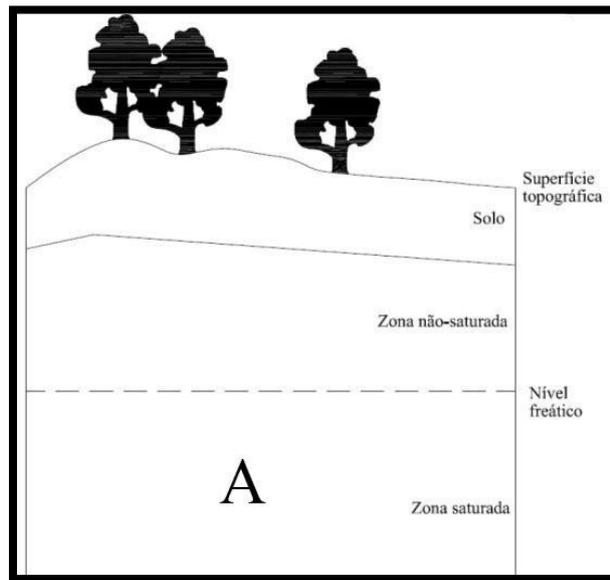
Fonte: ALLER *et al.*, 1985.

4.5.3 Descrição do parâmetro A- (Material do Aquífero);

Este parâmetro corresponde ao material, consolidado ou não, que atua como aquífero. Um aquífero é definido como uma rocha capaz de armazenar água, que pode ser utilizada para fins diversos (Figura 09). A água fica armazenada nos poros existentes nas rochas sedimentares ou em fraturas em rochas metamórficas/ ígneas. O fluxo da água dentro do aquífero é afetado pelo material do mesmo, bem como, a rota e o percurso de um contaminante dentro do aquífero. O comprimento do percurso de um contaminante, no sistema aquífero, é importante para a determinação do tempo disponível para o processo de atenuação e dispersão do contaminante. A constituição do aquífero influencia, ainda, na superfície de contato entre o contaminante e o aquífero. No caso das rochas sedimentares, os poros existentes, quando interconectados, podem facilitar o fluxo de contaminantes. De modo geral, quanto maior o tamanho dos grãos, maior a permeabilidade e, conseqüentemente, menos a capacidade de atenuação do material do aquífero (MENESES, 2007).

Ou seja, o material do aquífero é o fator que determina a mobilidade do contaminante, que é a capacidade do aquífero de atenuar os efeitos dos poluentes. Além disso, este parâmetro condiciona o fluxo de água subterrânea que, em conjunto com a condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico, determinam o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação (BARRETO, 2006).

Figura 09 – Esquema ilustrativo do parâmetro A.



Fonte: MENESES, 2007.

A Tabela 11, de acordo com Aller *et al.* (1987), lista os materiais do aquífero face à importância para atenuação do potencial de poluição. Cada material tem um intervalo de valores, apresentando-se entre parênteses o valor de avaliação típico a atribuir. A escolha deste valor deve se basear em informação específica sobre o material do aquífero. Se esta informação não existir, deve-se utilizar o índice típico (BARRETO, 2006).

Tabela 11 - Peso e índices para o parâmetro A.

Material do Aquífero		
Tipo	Índice	Índice usual
Xisto argiloso, argilito	1-3	2
<u>Rocha metamórfica/ ígnea</u>	<u>2-5</u>	<u>3</u>
Rocha metamórfica/ ígnea intemperizada	3-5	4
<u>Arenito, calcário e argilitos estratificados</u>	<u>5-9</u>	<u>6</u>
<u>Arenito maciço</u>	<u>4-9</u>	<u>6</u>
<u>Calcário maciço</u>	<u>4-9</u>	<u>6</u>
Areia e balastro	4-9	8
<u>Basalto</u>	<u>2-10</u>	<u>9</u>
<u>Calcário carsificado</u>	<u>9-10</u>	<u>10</u>
Peso	3	

Fonte: ALLER *et al.*, 1985.

4.5.4 Descrição do parâmetro S- (Material do Solo);

Considera-se como solo a porção superior da zona não-saturada, caracterizada por uma atividade biológica significativa. Para os propósitos do modelo DRASTIC, deve-se considerar como solo a zona que apresenta pouca umidade e que se apresenta a até 1,80 m ou menos de profundidade em relação à superfície do terreno (Figura 07) (MENESES, 2007).

Esse parâmetro refere-se ao material da zona alterada da superfície terrestre. O tipo de solo tem um significado impactante na quantidade de recarga, mas é, sobretudo pelo seu potencial atenuador da poluição que é considerado no índice DRASTIC. Espessura, textura e teor de matéria orgânica são algumas propriedades do solo que condicionam o potencial de poluição. Em função dessas propriedades, Aller *et al.* (1987) definiram 11 tipos diferentes de solos aos quais atribuíram valores de avaliação entre 1 e 10 (BARRETO, 2006). (Tabela 12).

Tabela 12 – Índices e peso atribuídos à constituição do solo (parâmetro S).

SOLO	
Constituição	Índice
Fino ou ausente	10
Cascalho	10
Areia	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansível	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4
Franco argiloso	3
Muck	2
Argila não agregada e não expansível	1
Peso	2

Fonte: ALLER *et al.*, 1985.

O solo tem significativa importância na taxa de infiltração de água, o que reflete diretamente na recarga do aquífero. Tal infiltração pode influenciar no deslocamento vertical de um contaminante. A textura, ou granulometria, do solo pode ser responsável, tal como no parâmetro A (material do aquífero), por uma maior ou menor permeabilidade, aumentando ou reduzindo, respectivamente, a vulnerabilidade do aquífero. Outros elementos do solo

que podem influenciar na vulnerabilidade são sua espessura e a presença de matéria orgânica (restos de plantas e animais mortos, compostos húmicos).

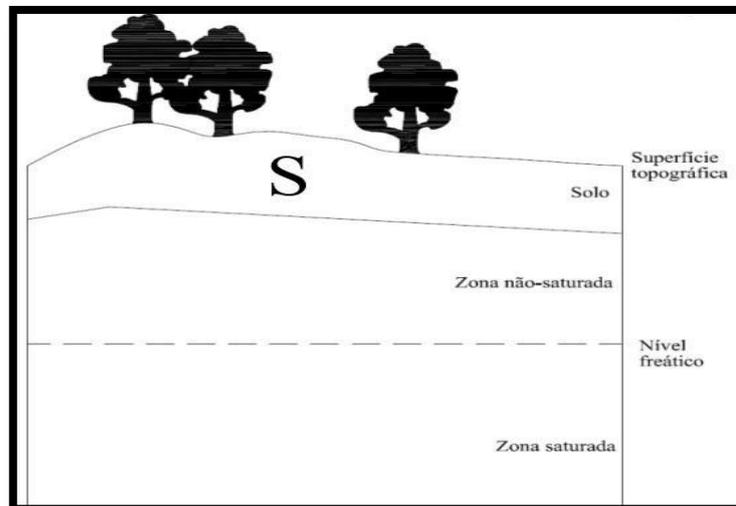
O valor relativo para o parâmetro S é determinado, então, pela textura do solo e pela presença /ausência da matéria orgânica. As informações relacionadas às características dos solos podem ser obtidas por via de levantamentos exploratórios, mapas elaborados para finalidades específicas ou, ainda, através de pesquisas de campo realizadas na área de interesse. Os dados sobre os solos podem ser apresentados através de associações de solos ou em mapas de detalhes que discriminam cada tipo de solo individualmente.

Quando da avaliação dos solos de uma região para aplicação de modelo DRASTIC, deve-se levar em consideração os seguintes fatores:

- Tipos ou associações de solos presentes na área de estudo;
- No caso de associações, qual o tipo predominante de solo;
- Características de cada tipo de solo e de cada associação;
- Dentre as camadas ou horizontes texturais, aquele(s) que pode(m) influenciar em maior nível na vulnerabilidade, tomando-se por base os elementos textura e espessura da camada/ horizonte (MENESES, 2007).

Seguindo a descrição do parâmetro S, segue a Figura 10 a qual ilustra este.

Figura 10 – Esquema ilustrativo do parâmetro S.

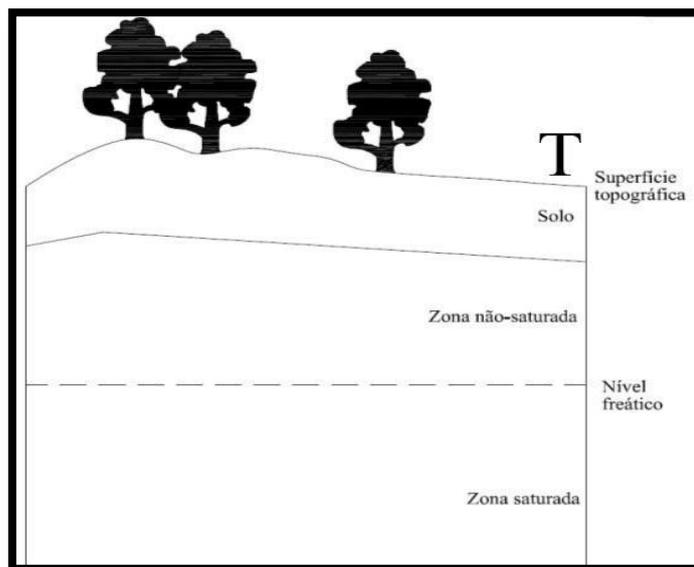


Fonte: MENESES, 2007.

4.5.5 Descrição do parâmetro T- (Topografia);

Segundo Barreto (2006) e Menezes (2007), a topografia define a declividade do terreno em termos percentuais, e sua variação no espaço. Esse parâmetro condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo suficiente para se infiltrar. Isto é, influencia no tempo de permanência de um possível contaminante na superfície do terreno, até que o mesmo infiltre. Teoricamente, quanto mais plano o terreno, maior a possibilidade de infiltração de um possível contaminante. Em outras palavras, o aumento na declividade do terreno diminui a possibilidade de infiltração do contaminante junto com a água escoada, evitando a sua infiltração e a lixiviação para o aquífero. A Figura 11 ilustra este parâmetro.

Figura 11 – Esquema ilustrativo do parâmetro T.



Fonte: MENESES, 2007.

Ainda segundo Menezes (2007), outros elementos que podem ser influenciados pela topografia são:

- Desenvolvimento do solo: que pode acarretar na atenuação do efeito de um contaminante;

- Gradiente e direção do fluxo subterrâneo podem ser inferidos. De modo geral, quanto maior a declividade, maior a velocidade da água subterrânea.

A Tabela 13 apresenta o intervalo, percentual de declividade, o peso e os índices a estes aplicados para estudo do parâmetro topografia.

Tabela 13 – Índices e peso atribuídos ao percentual de declividade (parâmetro T).

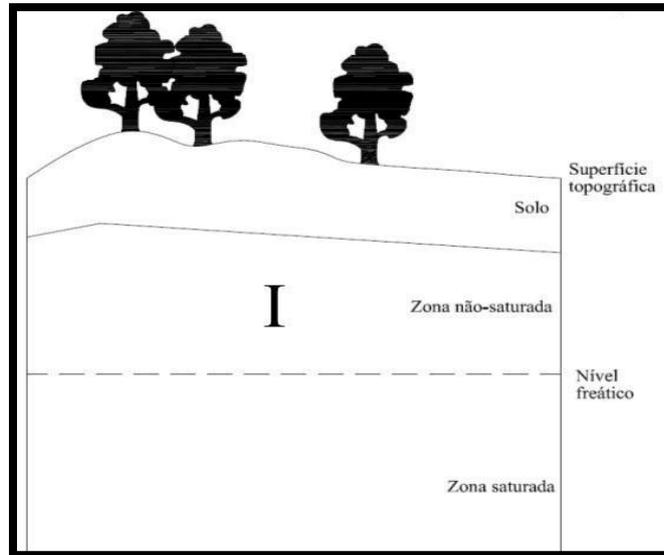
TOPOGRAFIA	
Intervalo (percentual de declividade)	Índices
< 2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
> 18	1
Peso	1

Fonte: ALLER *et al.*, 1985.

4.5.6 Descrição do parâmetro I- (Impacto da zona vadosa);

Segundo Menezes (2007) e Barreto (2006), A zona não-saturada, ou zona vadosa, é a região acima do lençol freático que se apresenta com seus espaços vazios (poros) não preenchidos com água ou com preenchimento descontínuo (Figura 12). A constituição dessa região determina as características de atenuação do material abaixo do solo e acima do nível freático. Normalmente constituída litologicamente pelo mesmo material do aquífero em se tratando de aquíferos livres. Nos casos de aquíferos semiconfinados ou confinados, é formada pelo material rochoso que aflora em subsuperfície. O tipo de material que domina nesta zona minimiza o potencial de poluição em função do tempo de contato com o contaminante, favorecendo a ocorrência de diversos processos como: biodegradação, filtração mecânica, reações químicas, volatilização e dispersão.

Figura 12 – Esquema ilustrativo do parâmetro I.



Fonte: MENESES, 2007.

Este parâmetro influencia, ainda, no tempo de deslocamento vertical do contaminante, possibilitando uma maior ou menor atenuação de seus efeitos. No caso de estudos sobre aquíferos livres, deve-se avaliar os constituintes da zona vadosa que mais influenciam na vulnerabilidade. Mesmo quando o nível freático for aflorante, ou muito próximo da superfície, o usuário deve definir a constituição da zona vadosa e atribuir-lhe o índice adequado. Elementos como granulometria, homogeneidade e quantidade de materiais finos podem ser utilizados como referência para a escolha dos índices para o parâmetro I (MENESES, 2007).

A Tabela 14 mostra, de acordo com Aller *et al.* (1987), os tipos de materiais da zona vadosa que possuem importância nos processos de atenuação do potencial de poluição dos contaminantes. Os critérios de escolha com relação ao intervalo de valores referentes a cada material da zona vadosa e aquele que deve ser atribuído se baseia nas mesmas condições adotadas para o parâmetro Material do Aquífero (A) descrito anteriormente.

Tabela 14 – Índices e peso atribuídos ao material da zona vadosa (parâmetro I).

MATERIAL DA ZONA VADOSA		
Constituição	Índice	Índice usual
Camada confinante	1	1
Argila/ silte	2-6	3
Xisto argiloso, argilito	2-5	3
Calcário	2-7	6

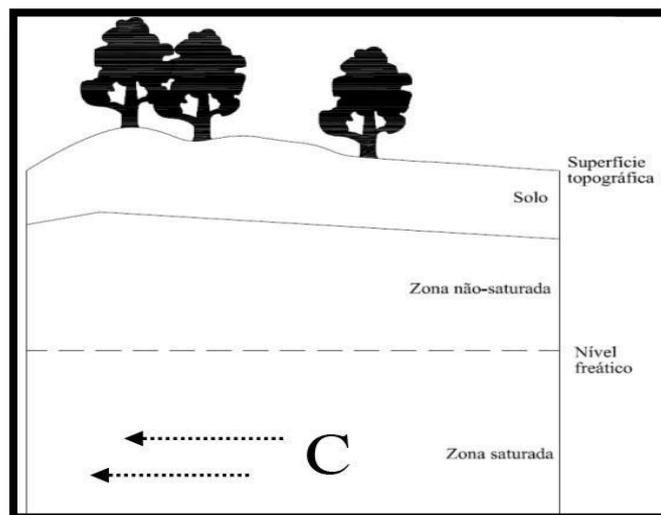
Continuação Tabela 14.		
Arenito	4-6	6
Arenito, calcário e argilito estratificados	4-6	6
Areia e cascalho com percentagem significativa de argila e silte	4-6	6
Rocha metamórfica/ ígnea	2-8	4
Areia e cascalho	6-9	8
Basalto	2-10	9
Calcário carsificado	2-10	10
Peso		5

Fonte: ALLER *et al.*, 1985.

4.5.7 Descrição do parâmetro C- (Condutividade);

Condutividade hidráulica representa a capacidade dos materiais do aquífero em transmitir água em seu interior. Em conjunto com o gradiente hidráulico, controla o fluxo de água subterrânea, que por sua vez, controla o grau de mobilidade de um contaminante no aquífero. A condutividade hidráulica está intimamente relacionada com a interconexão de espaços vazios no aquífero, espaços estes que podem ocorrer devido à porosidade da rocha, devido aos sistemas de fraturamento ou pela presença de estratificações.

Figura 13 – Esquema ilustrativo do parâmetro C.



Fonte: MENESES, 2007.

De acordo com Aller *et al.* (1987), como mostrado na Tabela 15, seis intervalos foram definidos com seus respectivos valores de avaliação de acordo com o grau de importância em decorrência dos processos de atenuação do potencial de poluição.

Tabela 15 – Índices e peso atribuídos ao intervalo da condutividade hidráulica (parâmetro C).

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	
Intervalo (m/d)	Índice
< 4,1	1
4,1 – 12,2	2
12,2 – 28,5	4
28,5 – 40,7	6
40,7 – 81,5	8
> 81,5	10
Peso	3

Fonte: ALLER *et al.*, 1985.

No modelo DRASTIC, entende-se que, quanto maior a condutividade hidráulica, maior a vulnerabilidade. O valor da condutividade hidráulica pode ser obtido a partir de levantamentos hidrogeológicos ou pode ser estimado com base em ábacos pré-existentes (MENEZES, 2007).

4.6 Isótopos

No ciclo hidrológico, a presença de isótopos de hidrogênio, oxigênio e carbono, estáveis ou radioativos, vem sendo utilizada nas últimas décadas em estudos de águas subterrâneas e superficiais, destacando-se em hidrologia os isótopos deutério (D = ^2H), oxigênio – 18 (^{18}O), trítio (T = ^3H) e carbono-14. Os dois últimos instáveis (decaimento β^-). Os isótopos dos elementos químicos são reconhecidos por manterem o mesmo número atômico, mas diferentes números de massa, provocada pela diferença do número de nêutrons. A abundância relativa dos isótopos estáveis na natureza é modificada pelo processo chamado de fracionamento isotópico.

Os isótopos aparecem nas seguintes proporções:

$^1\text{H} : ^2\text{H}$ (ou D) : ^3H (ou T) = 99,984 : 0,016 : $\approx 10^{-16}$ (%) – em águas jovens.

$^1\text{H} : ^2\text{H}$ (ou D) : ^3H (ou T) = 99,984 : 0,016 (%) – em águas velhas.

$^{16}\text{O} : ^{17}\text{O} : ^{18}\text{O}$ = 99,759 : 0,037 : 0,204 (%).

Desprezando os isótopos ^{17}O e ^3H e usando deutério (D) em lugar de ^2H , a água é composta das seguintes moléculas: H_2^{16}O , H_2^{18}O , HD^{16}O , D_2^{16}O , HD^{18}O e D_2^{18}O . As proporções médias (realizadas em água do mar) das principais moléculas são:

H_2^{16}O (997.640 ppm) : HD^{16}O (320 ppm) : H_2^{18}O (2.040 ppm).

Porém, em águas de origens diversas (plantas, chuva, lagos etc.), estes valores variam (ferindo a regra das proporções constantes).

Para as moléculas mais pesadas são:

HD^{16}O (180 a 340 ppm), H_2^{18}O (1.900 a 2.040 ppm). O ^{18}O (oxigênio-18) e o D (deutério) são os isótopos estáveis mais pesados do oxigênio e do hidrogênio. São traçadores perfeitos, pois não “acompanham” a água, como acontece com um corante, mas são constituintes da própria água, tendo as mesmas propriedades químicas da água “comum”. A abundância relativa destes isótopos na água varia levemente em função de sua história no ciclo hidrológico (SANTIAGO *et al. in* FEITOSA *et al.* 2008.p.256).

A *International Atomic Energy Agency* (IAEA), em cooperação com *World Meteorological Organization* (WMO), desde 1961, pesquisa os isótopos de hidrogênio e oxigênio nas precipitações de várias partes do mundo, providenciando dados básicos para aplicação hidrológica dos isótopos estáveis. Os primeiros dados da rede de observação da IAEA foram discutidos por Dansgaard (1964) *apud* IAEA (1981b). O grau de depleção ou enriquecimento dos isótopos pesados (^{18}O e D), em relação a uma água padrão, foi relacionado com parâmetros como latitude, altitude, distância à costa, intensidade da precipitação e temperatura local. Os processos básicos que influenciam na composição isotópica das águas naturais no ciclo hidrológico são evaporação e condensação.

Segundo Custódio e Llamas (1983), a razão isotópica $R = ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (número de átomos de oxigênio-18/número de átomos de oxigênio-16) nas precipitações, decresce com a distância à costa, com o aumento da altitude, com a diminuição da temperatura e com a quantidade de chuva. Além disso, podem ser observadas variações sazonais, entre outras. A água superficial está submetida à evaporação e isto conduz a um “enriquecimento isotópico” da espécie pesada na água remanescente, ou seja, um aumento na razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. O enriquecimento é máximo nos rios, lagos, reservatórios etc., submetidos a uma forte evaporação e com um grande tempo médio de residência da água (volume/vazão). A água dos rios sofre uma alteração na composição isotópica que depende do clima, da contribuição do

escoamento superficial, da existência de lagoa e reservatórios no seu curso e também das interações com os aquíferos.

De acordo com Salati *et al.* (1971), quando o solo é muito permeável, as águas pluviais se infiltram rapidamente, recarregando os reservatórios subterrâneos, sem que a evaporação atue significativamente, e a pouca água que fica em superfície se evapora totalmente. Desta forma não ocorre modificação isotópica importante, e a água subterrânea apresenta composição isotópica correspondente à média ponderada das composições isotópicas das precipitações. No entanto, diversos fatores podem interferir na composição isotópica de águas subterrâneas, entre os quais:

- a) Mistura com água de origem não meteórica;
- b) Influência de águas fósseis, isto é, massas de água de origem meteórica, porém precipitadas em condições climáticas diferentes das atuais (paleoáguas);
- c) Trocas isotópicas entre a água e minerais dos aquíferos (em águas termais).

As medidas de ^{18}O são feitas em relação a uma água padrão VSMOW (*Vienna Standard Mean Ocean Water*), que corresponde aproximadamente à água média dos oceanos, e usam como parâmetro de quantificação o valor de $\delta\text{‰}$, expresso pela Equação 02.

$$\delta(\text{‰}) = \left(\frac{R_a - R_p}{R_p} \right) \times 10^3 \quad (02)$$

Onde:

R_a – razão isotópica ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) entre o isótopo pesado, ^{18}O , e o mais abundante, ^{16}O , da amostra;

R_p – razão isotópica ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) no padrão.

Segundo IAEA (1967), o fator α de fracionamento isotópico da água na evaporação para o D e o ^{18}O , sendo “P” a pressão de vapor, são (*apud* CUSTODIO e LLAMAS, 1983):

$$\alpha_{\text{D}} = P(\text{H}_2\text{O}) / P(\text{HDO}) = 1,08 \text{ (a } 20^\circ \text{ C)} \quad (03)$$

$$\alpha_{\text{O}^{18}} = P(\text{H}_2\text{O}^{16}) / P(\text{H}_2\text{O}^{18}) = 1,009 \text{ (a } 20^\circ \text{ C)} \quad (04)$$

O comportamento da razão D/H é semelhante à da razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, existindo, em escala mundial uma relação linear entre ^{18}O e D em precipitações, expressa na GMWL – *Global Meteoric Water Line* (Equação 05) (CRAIG, 1961 *apud* IAEA, 1981b).

$$\delta\text{D} (\text{‰}) = 8 \delta^{18}\text{O} \text{ ‰} + 10 \text{ ‰} \quad (05)$$

Embora existam dados mais novos e mais precisos, como de Rozanski (1993) que determinou uma reta meteórica ($\delta\text{D}(\text{‰}) = 8,17 (\pm 0,07) \delta^{18}\text{O} \text{ ‰} + 11,27 (\pm 0,65) \text{ ‰}$), usa-se a GMWL de Craig como linha referencial.

$$\delta^{\text{D}} = 10 (\pm 2) + 8,2 (\pm 0,8) \cdot \delta^{18} \quad (06)$$

Sendo assim, em virtude das significativas variações climatológicas e geográficas, Salati *et al.* (1979a *apud* SILVEIRA e SILVA JUNIOR, 2002) apresentam a reta meteórica local, próxima à reta meteórica mundial, obtida pelo estudo de várias estações meteorológicas da região Nordeste:

Os conteúdos de D e δ^{18} em chuvas são influenciados pelos seguintes fatores (CUSTÓDIO e LLAMAS, nossa tradução, p. 1276. 1983):

- a) Distância com o mar: o vapor gerado apresenta um δ , ligeiramente, negativo ($\delta\text{D} \approx -10 \text{ ‰}$), diminuindo ao passo que adentra no continente, e gerando chuvas cada vez, isotopicamente, mais leves quanto mais se afasta do mar.
- b) Temperatura: em zonas frias se produz um vapor mais leve do que em zonas mais quentes. O valor médio de δ^{18} varia, segundo a equação:

$$\delta^{18} (\text{‰}) = 0,7 \cdot t_a (\text{°C}) - 13,9 \quad (07)$$

onde, " t_a " é a temperatura média anual.

c) Altitude: em regiões topograficamente altas, a diminuição da temperatura faz com que as chuvas sejam mais leves do que em regiões mais baixas (Efeito da Altitude).

d) Troca isotópica durante a precipitação: em regiões úmidas as gotas de chuva podem sofrer uma troca isotópica com a umidade ambiental, se esta apresentar composição diferente. Entretanto, esse efeito só importa em chuvas pouco intensas ou no início das chuvas de maior intensidade. Chuvas mais duradouras proporcionam uma água mais leve, portanto, existem variações estacionais no conteúdo de D e ^{18}O que dependem, não somente da variação da temperatura, mas também da pluviometria e da origem do ar úmido (Efeito de Quantidade).

Na condensação, isótopos pesados são preferidos. Massa úmida fica sucessivamente mais leve.

A água superficial está submetida à evaporação, revelando um desequilíbrio nas condições dinâmicas do sistema. Durante a evaporação, as moléculas de H_2O^{16} (leves) evaporam mais facilmente e rápidas do que as de H_2O^{18} e HDO^{16} (pesadas), enriquecendo em isótopos pesados a água remanescente (SILVEIRA e SILVA JUNIOR, 2002).

Em lugares de escassa vegetação pode existir uma evaporação da água retida no terreno, ocasionando um enriquecimento isotópico que chega ao aquífero, quando a água consegue alcançá-lo. Dessa forma, geralmente as águas subterrâneas possuem uma composição isotópica igual ou pouco superior à infiltração local. Em zonas áridas a evaporação da chuva, durante sua precipitação, dos rios e dos reservatórios superficiais, também ocasiona um aumento nos valores de δ^{18} e δ^D , principalmente durante os períodos secos (GOMES, 2001; GONFIANTINI, 1974 *apud* CUSTÓDIO e LLAMAS, 1983, nossa tradução), porém esta variação depende da época do ano, da intensidade e da duração da chuva.

Como na literatura não existem valores de referência de isótopos para a área em estudo, optou-se por seguir o valor de δ^{18} considerado para Fortaleza, uma vez que, como Itarema está no litoral e apresenta índice pluviométrico semelhante.

A série de 10 (dez) anos (entre 1965 e 1976) de medida de δ^{18} da chuva representa melhor a razão isotópica da água subterrânea, a qual é a acumulação de várias chuvas, do que a medida de, por exemplo, apenas um ciclo hidrológico. De acordo com IAEA (1981), o valor médio de δ^{18} para Fortaleza, é de -2,90 (Tabela 16). Estes dados são os únicos fornecidos pelo órgão para referência, pois não foi dada continuidade às medições para o referido município.

Tabela 16: Valor médio de $\delta^{18}\text{O}$ para Fortaleza.

Ano	1965	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Pluviometria	1615	1392	1787	1193	2093	1423	2272	2558	1854	1365
^{18}O (Média Anual)	-7,09	-3,67	-1,81	-1,38	-3,06	-2,32	-1,91	-4,06	-2,77	-1,68
^{18}O (Média de 10 anos)	-2,90									

Fonte: IAEA, 1981.

4.7 Recarga do Aquífero (Balanço Hídrico).

A recarga subterrânea pode ocorrer por precipitação, rios, lagos e canais, ou como fenômenos induzidos por ação antrópica através de atividades agrícolas e de urbanização (MOURA, 2008). Há várias formas de se estimar a recarga subterrânea dependendo do número e tipo de fontes de recarga a se considerar, chegando-se a agrupar esses métodos em cinco grupos: medidas diretas, balanço hídrico, aproximações Darcinianas, técnicas que utilizam traçadores e outros, que incluem métodos empíricos (LENER, 1990 *apud* VASCONCELOS, 1999).

Balanço hídrico é um balanço de massa. A massa de água precipitada é parcelada de forma que a expressão do balanço pode ser utilizada para determinar um de seus termos, desde que sejam conhecidos os demais (MOURA, 2013).

O estudo do balanço hídrico é utilizado com o fim de se obter uma estimativa sobre a recarga hídrica subterrânea, os aportes e as perdas, o comportamento do sistema e a melhor utilização dos recursos hídricos (FEITOSA, 2008; CASTANY, 1975, nossa tradução).

O balanço hídrico está baseado no fato de que no ciclo hidrológico não há perda de massa. O volume que chega aos recursos de água depende do tamanho da

bacia, da precipitação total, do regime hídrico e das parcelas de evaporação, evapotranspiração e infiltração (BORSATO e MARTONI, 2008).

Considerando apenas a recarga direta, destacam-se os métodos do balanço hídrico, onde se estima a água que infiltra, restando determinar a quantidade que atravessa a zona não saturada (ZNS) e, o método de variação do nível potenciométrico, de observação direta da resposta do aquífero à recarga, pela medida do nível hidrostático. Possuem uma utilização preferencial àquelas que exigem observações mais específicas (MOURA, 2008).

De uma forma geral, a recarga subterrânea contribui para o aumento da reserva hídrica subterrânea permanente ou temporária de um aquífero, partindo de um princípio de continuidade, onde as diferenças entre entradas e saídas se igualam à variação do armazenamento dentro do sistema. Objetivando os recursos exploráveis, usualmente se estima o balanço hídrico durante um período anual ou mensal, considerado como balanço hídrico global (FEITOSA, 2008; CASTANY, 1975, nossa tradução).

4.8 Parâmetros de qualidade da água / Constituintes

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Entre os parâmetros físicos podemos citar a cor, turbidez, sabor e odor e temperatura. Entre os químicos, pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro, manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica (DBO). E entre os biológicos, organismos indicadores de contaminação fecal, pertencentes principalmente ao grupo de coliformes.

Segundo Custódio & Llamas (1983), nos elementos químicos, os íons principais das águas subterrâneas se encontram ionizados (cátions e ânions) e presentes em quase todas elas. A soma desses íons representa a maioria dos compostos presentes em solução, sendo eles: Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe total, HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , NO_3^- , SiO_2 , SO_4^{2-} .

Feitosa *et al.* (2008) classifica os constituintes dissolvidos na águas subterrâneas de acordo com a sua abundância;

- a) Constituintes Maiores ($> 5\text{mg/L}$): Bicarbonato, Cálcio, Cloreto, Magnésio, Sílica, Sódio e Sulfato.
- b) Constituintes Menores ($0,01 - 10\text{ mg/L}$): Boro, Carbonato, Estrôncio, Ferro, Fluoreto, Nitrato e Potássio.
- c) Constituintes Traços ($< 0,1\text{ mg/L}$): Alumínio, Arsênio, Antimônio, Bário, Berílio, Bismuto, Bromo, Cádmio, Césio, Chumbo, Cromo, Cobalto, Cobre, Escândio, Estanho, Fosfato, Gálio, Germânio, Índio, Irídio, Iodo, Lantânio, Lítio, Mercúrio, Manganês, Molibdênio, Níquel, Nióbio, Ouro, Prata, Platina, Rádio, Rubídio, Rutênio, Selênio, Tálcio, Titânio, Tungstênio, Urânio, Vanádio, Zinco e Zircônio.

Sendo assim, segue uma breve descrição dos parâmetros estudados neste trabalho realizado em Itarema.

4.8.1 pH

O Potencial hidrogeniônico, o qual representa a concentração de íons hidrogênio (em escala anti-logarítmica), fornece uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A origem natural se dá a partir da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, a antrópica por despejos domésticos (oxidação da matéria orgânica) e despejos industriais (von SPERLING, 1996).

Sua influência sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se sobre a fisiologia das diversas espécies, contribuição para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados e, pode exercer influência na solubilidade de nutrientes e em diversos equilíbrios químicos (PIVELI e KATO, 2006).

4.8.2 Alcalinidade

É uma medição a capacidade da água de neutralizar os ácidos (capacidade de resistir às mudanças de pH). Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e os hidróxidos (OH^-). A distribuição entre as três formas na água é função do pH. Originada naturalmente a partir da dissolução de rochas e da reação do CO_2 com água (CO_2 resultante da atmosfera ou da decomposição da matéria orgânica). E origem antropogênica a partir de despejos industriais (von SPERLING, 1996).

Em função do pH, podem estar presentes na água os seguintes tipos de alcalinidade (FEITOSA *et al.* 2008):

- a) 11 a 9,4 – alcalinidade de hidróxidos e carbonatos;
- b) 9,4 a 8,3 – alcalinidade de carbonatos e bicarbonatos;
- c) 4,6 a 3,0 – alcalinidade de bicarbonatos;
- d) 4,6 a 3,0 – ácidos minerais.

4.8.3 Condutividade Elétrica

É o valor recíproco da resistividade elétrica. As concentrações iônicas em águas naturais na maioria dos casos, são tão baixas, que se usa a unidade μS (microsiemens, 10^{-6}S) (von SPERLING, 1996).

Condiz à soma das condutividades de cada íon, que compõe o tipo de água. À temperatura constante, a variação da condutividade está proporcionalmente relacionada com as variações na mineralização, no que diz respeito à concentração e natureza dos sais dissolvidos na água subterrânea. Entretanto, duas amostras com igual condutividade podem apresentar composição química diversa, distinguindo unidades hidrogeológicas diferentes (CASTANY, 1975, nossa tradução).

É a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica e está diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons (FEITOSA *et al.*, 2008).

4.8.4 Dureza

Concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais frequentemente associados à natureza são os cátions divalentes Ca^{+2} e Mg^{+2} . Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados. A dureza pode ser classificada como dureza carbonato e dureza não carbonato, dependendo do ânion com a qual ela está associada. A dureza correspondente à alcalinidade é denominada dureza carbonato, enquanto que as demais formas são caracterizadas como dureza não carbonato. A dureza carbonato é sensível ao calor, precipitando-se em elevadas temperaturas. Têm origem natural a

partir da dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio (Ex.: rochas calcáreas), e antropogênicas a partir de despejos industriais (von SPERLING, 1996).

Segundo Custódio e Llamas (1983, nossa tradução), as águas podem ter quatro classificações, de acordo com os teores medidos em mg/L CaCO₃: água branda (<50), água pouco dura (50 – 100), água dura (100 – 200) e, água muito dura (>200).

4.8.5 Sólidos totais dissolvidos

São formados por substâncias químicas que se encontram em suspensão ou dissolvidos na água. São classificados como: totais, filtráveis, não filtráveis ou voláteis. Os sólidos totais dissolvidos (STD), que são filtráveis, representam a concentração de todo o material dissolvido na água, sendo eles voláteis ou não (MANAHAN, 2013).

Geralmente a solubilidade dos sólidos aumenta com a temperatura. Contudo a solubilidade dos sais merece uma atenção especial devido às suas estruturas iônica no estado sólido. Entretanto, a solubilidade de uma substância varia muito de caso para caso, porque ela não depende somente da constante dielétrica (D) do solvente e da temperatura, mas também da presença de outras substâncias, já dissolvidas na água, sobretudo quando se chega perto da concentração de saturação do soluto considerado (FENZL, 1986).

4.8.6 Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. Isso se dá por conta dos sólidos em suspensão, que têm origem natural a partir de partículas de rocha, argila e silte, algas e outros microrganismos. E antropogênica a partir de despejos domésticos, industriais, microrganismos e erosão (von SPERLING, 1996).

4.8.7 Sódio (Na^+)

O intemperismo das rochas magmáticas e silicatos, em geral, libera sódio. O enriquecimento do Na nas águas naturais é uma consequência da alta solubilidade dos sais de sódio e da boa mobilidade desse elemento. Durante o intemperismo e os processos de troca iônica (Na^+ por Ca^{+2}), grandes quantidades de sódio podem ser liberadas nas águas subterrâneas. Nas águas naturais o sódio se encontra geralmente sob forma iônica (Na^+) (FENZL, 1986).

Os minerais que são fontes de sódio são os feldspatos plagioclásios, feldspatóides (nefelina e sodalita), anfibólios e piroxênios. Sua concentração, em geral, varia para águas subterrâneas (0,1 – 100 mg/L) e águas naturais doces (1 – 150 mg/L) (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).

4.8.8 Potássio (K^+)

Apesar de o potássio e o sódio pertencerem ao mesmo grupo dos metais alcalinos, seus comportamentos nos processos de solubilização são diferentes. O potássio é o sexto colocado na escala de abundância dos metais nas rochas ígneas. Entretanto ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e, ainda, de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais (FEITOSA *et al.*, 2008).

O potássio encontra-se principalmente nos feldspatos (ortoclásio, microlina – KAlSi_3O_8), nas micas (muscovita, biotita), na leucita (KAlSi_2O_6), e em menores quantidades na nefelina. Está sendo liberado das rochas por intemperismo, como o sódio, mas é facilmente adsorvido pelas argilas (ex. illita) e participa na formação de minerais secundários. Participa no ciclo biológico como elemento nutritivo importante das plantas e muitos fertilizantes artificiais são produzidos a base de potássio (FENZL, 1986).

4.8.9 Cálcio (Ca^{+2})

Os sais de cálcio possuem de moderada a elevada solubilidade, sendo muito comum precipitar como carbonato de cálcio (CaCO_3) (FEITOSA *et al.*, 2008).

É um dos principais constituintes nos sistemas de água doce e o principal íon responsável pela dureza, junto com o magnésio, às vezes, o ferro II, comumente representada por um precipitado formado pelo sabão na água dura (MANAHAN, 2013). É comum o sal de cálcio precipitar como carbonato de cálcio (CaCO_3), que aumenta sua solubilidade na presença de sais de Na^+ e K^+ . Ocorrem em minerais de calcita, aragonita, dolomita, plagioclásio e apatita. Nas águas subterrâneas seus teores variam, geralmente entre 10 e 100 mg/L.

4.8.10 Magnésio (Mg^{+2})

Encontra-se em minerais como magnesita, biotita, granada, hornblenda, clorita, alanita e olivina. Apresenta propriedades similares ao cálcio, contudo, é mais solúvel e de difícil precipitação, fazendo-a sob a forma de bicarbonato. Juntamente com o cálcio, é responsável também pela dureza da água, produzindo um gosto salobro às mesmas. Apresentam teores frequentes nas águas subterrâneas no intervalo de 1 a 40 mg/L (MANAHAN, 2013).

4.8.11 Ferro (Fe)

É um dos elementos principais das rochas magmáticas e se encontra basicamente nos piroxênios, anfibólios, biotita, magnetita e andratita. Os processos de intemperismo liberam o ferro da rocha original e o introduzem no ciclo geoquímico (FENZL, 1986).

Ocorre geralmente associado ao manganês, causando um sabor amargo e uma coloração amarelada à água, ocasionado pela sua precipitação quando oxidado. O ferro e o manganês estão presentes nas formas insolúveis Fe^{+3} e Mn^{+4} numa grande quantidade de tipos de solos. Na ausência de oxigênio dissolvido (ex: água subterrânea ou fundos de lagos), eles se apresentam na forma solúvel Fe^{+2} e Mn^{+2} . Caso a água contendo as formas reduzidas seja exposta ao ar atmosférico (ex: na torneira do consumidor), o ferro e o manganês voltam a se oxidar às suas formas insolúveis, Fe(III) e Mn (IV), o que pode causar cor na água, além de manchar roupas durante a lavagem. A origem natural se dá pela dissolução de compostos do solo. E a antropogênica por despejos industriais (von SPERLING, 1996).

A água pode adquirir ferro pelo contato com o revestimento do poço, partes da bomba e encanamentos. Quanto mais corrosiva, mais dissolve ferro das superfícies com as quais estabelece contato. A água acumulada e um poço que permaneceu inativo acusa maior teor de ferro que o da água do aquífero. A química do ferro na água é complexa. Duas espécies de cátions ferro ocorrem comumente. Um é o ferroso e o outro é o férrico. O ferro no estado ferroso é instável em presença do ar, mudando para o estado férrico quando a água que o contém é exposta ao ar: os íons ferrosos se oxidam, tornando-se férricos.

Águas contendo ferro favorecem a proliferação das bactérias de ferro, como a crenothrix. A proliferação é tão abundante nos encanamentos de água, nos sistemas de recirculação e em outros lugares, que promovem uma notória ação obstrutiva e a redução da vazão (CETESB, 1974).

4.8.12 Bicarbonato (HCO_3^-) e Carbonato (CO_3^{2-})

O bicarbonato se precipita com facilidade como bicarbonato de cálcio, e varia entre os teores de 50 a 350 mg/L, podendo chegar a 800 mg/L em águas doces. A quantidade relativa do carbonato é função do pH e do conteúdo de gás carbônico, na água. Baixas quantidades são observadas em águas doces, quando comparada ao bicarbonato, só excedendo este quando o pH for igual ou superior a 10 (MANAHAN, 2013).

4.8.13 Cloreto (Cl^-)

Todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Os cloretos (Cl^-) são advindos da dissolução de sais (ex: cloreto de sódio). São originados naturalmente por dissolução de minerais e intrusão de águas salinas. Os despejos domésticos e industriais e as águas utilizadas em irrigação são responsáveis pela origem antrópica. Em determinadas situações, imprime sabor salgado à água (von SPERLING, 1996).

Os cloretos são abundantes na água do mar. As rochas ígneas são pobres em cloretos. O teor de cloretos em água subterrâneas nas regiões úmidas é baixo, comumente inferior a 5 ppm, a menos que o aquífero tenha sido contaminado pelo mar. Onde os poços próximos da costa ou ao longo dos rios salobros são bombeados intensamente, alguma água marinha pode penetrar no aquífero de água doce. O registro contínuo do teor de cloretos das amostras de água dos poços fornece informação da ocorrência ou não da contaminação do aquífero (CETESB, 1974).

O cloreto, em geral, é muito solúvel e muito estável em solução, logo, dificilmente precipita. Não oxida e nem se reduz em águas naturais. A alta solubilidade e o lento movimento das águas nos aquíferos vão provocando aumentos gradativos e constantes dos teores de cloretos nas águas subterrâneas na direção do fluxo (FEITOSA *et al.*, 2008).

4.8.14 Nitrogênio (N)

Segundo von Sperling (1996), dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este alterna-se entre várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: (a) nitrogênio molecular (N_2), escapando para a atmosfera, (b) nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), (c) amônia (NH_3), (d) nitrito (NO_2^-) e (e) nitrato (NO_3^-). As fontes naturais de nitrogênio se dão por conta dos constituintes de proteínas, clorofila e vários outros compostos biológicos. As de origens antrópicas se dão devido despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes. O nitrogênio na forma de nitrato está associado a doenças como a metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul).

- O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos (processo chamado eutrofização).
- O nitrogênio, nos processos bioquímicos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio (o que pode afetar a vida aquática).
- O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes.
- Em um corpo d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição (poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato).

4.8.15 Silício (Si)

Depois do oxigênio é o elemento mais abundante da crosta terrestre e as ligações entre ambos são bastante fortes. Em hidroquímica se usa frequentemente o termo sílica, para designar a molécula de SiO_2 , que por conveniência representa no

geral todo o silício dissolvido na água. Assim, os resultados analíticos são dados em mg de SiO₂ por litro. Grande parte da sílica encontrada nas águas subterrâneas é produto do intemperismo dos silicatos; a solubilidade da sílica porém é baixa (FENZL, 1986).

Embora seja o elemento mais largamente encontrado nas rochas, não ocorre em quantidades significativas nas águas subterrâneas (FEITOSA *et al.*, 2008).

4.8.16 Sulfato (SO₄²⁻)

Os sulfatos da água subterrânea derivam principalmente da gipsita ou anidrita (sulfato de cálcio). O sulfato de magnésio (sal de Epson) e o sulfato de sódio (sal de Glauber), se presentes em quantidade suficiente, conferem sabor amargo à água, que pode atuar como laxativo em pessoas não habituadas a ingeri-la (CETESB, 1974).

São sais altamente deliquescentes e moderadamente solúveis a muito solúveis, exceto os sulfatos de estrôncio (SrSO₄) e os de bário (BaSO₄). Origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita) (FEITOSA *et al.*, 2008).

4.8.17 Fluoreto (F⁻)

O flúor é um elemento bioquimicamente importante fazendo parte da composição dos dentes e dos ossos. Nas águas naturais o íon F⁻ forma geralmente fortes complexos solúveis com alumínio, berílio e o Fe III (FENZL, 1986).

Possui solubilidade limitada e pouco contribui para a alcalinidade da água, pois sofre hidrólise rapidamente. Geralmente nas águas subterrâneas é encontrado em pequenas concentrações. Podem derivar da fluorita, principal fluoreto das rochas ígneas, ou de algum considerável número de complexos minerais em que os fluoretos participam (FEITOSA *et al.*, 2008 e CETESB, 1974).

4.8.18 Fósforo

O fósforo é um elemento importante da litosfera e faz parte principalmente da composição química da apatita. A fonte mais importante de fósforo nas águas naturais é de natureza antropogênica: muitos produtos agroquímicos e produtos de limpeza, assim como os despejos urbanos apresentam apreciáveis concentrações de fósforo. Por outro lado, o fósforo é parte importante do metabolismo animal e vegetal, o que explica a sua presença nos dejetos dos mesmos. Apesar de ser um elemento geoquimicamente comum, suas concentrações nas águas naturais são geralmente baixas, na ordem de até centésimos de mg/L (FENZL, 1986).

O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples. As formas em que os ortofosfatos se apresentam na água (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- e o ácido fosfórico na sua forma aquosa, H_3PO_4 , dependem do pH, sendo a mais comum na faixa usual de pH o HPO_4^{2-} . Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo (von SPERLING, 1996).

4.8.19 Oxigênio dissolvido

É o indicador da concentração de oxigênio dissolvido na água. Trata-se de um gás pouco solúvel em água, sendo sua solubilidade função da temperatura, da pressão e dos sais dissolvidos na água. Em geral, apresenta pequenas concentrações na água subterrânea. A maior parte do oxigênio dissolvido na água, que infiltra no solo, é consumida na oxidação da matéria orgânica, durante a trajetória da água subterrânea na zona de aeração (FEITOSA *et al.*, 2008).

O oxigênio dissolvido (OD) é de essencial importância para os organismos aeróbios. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio. Dependendo da magnitude deste fenômeno, podem vir a morrer diversos seres aquáticos, inclusive os peixes. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, tem-se as condições anaeróbias, com geração de maus odores. O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos (von SPERLING, 1996).

4.8.20 Brometo (Br^-)

Apresenta comportamento químico similar ao cloreto, com estudos voltados ao interesse nas origens de águas salgadas. Sua concentração em águas doces, geralmente se apresenta inferior a 0,01 mg/L e, em águas marinhas em cerca de 65 mg/L. Segundo APHA (2005) os teores de brometo para águas potáveis raramente excedem 1 mg/L. Algumas razões iônicas adimensionais podem sugerir, de acordo com os seus resultados, a contaminação de águas naturais pela mistura de água salina. Considerando $r = meq/L$, são essas as relações (SCHOELLER, 1956; FEITOSA, 2008):

- rCl^- / rBr^- , que nas águas doces e salgadas é de, aproximadamente 675;
- $rCl^- / rHCO_3^-$, que em águas continentais apresentam valores entre 0,1 e 5, e quando contaminadas, entre 20 e 50;
- rMg / rCa , nas águas marinhas mostra-se ao redor de 5, entendendo-se que as águas circularam por litologias de origens marinhas ou misturaram-se com águas salinas; e,
- rK / rNa , que em águas continentais apresentam valores entre 0,004 e 0,3 e, para águas marinhas valores de 0,02 a 0,025.

4.8.21 Matéria orgânica - DBO

A matéria orgânica presente nos corpos d'água é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos decompositores nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Os principais componentes orgânicos são os compostos de proteína, os carboidratos, a gordura e os óleos, além da uréia. A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), retrata de uma forma indireta, o teor de matéria orgânica nos esgotos ou no corpo d'água, sendo portanto uma indicação potencial do consumo do oxigênio dissolvido. Trata-se de um parâmetro de fundamental importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d'água (von SPERLING, 1996 e FEITOSA *et al.*, 2008).

4.8.22 Micropoluentes inorgânicos – Metais

Uma grande parte dos micropoluentes inorgânicos são tóxicos. Entre estes, têm especial destaque os metais pesados (neste estudo representados por elementos traço). Entre os metais pesados que se dissolvem na água incluem-se o arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata. Vários destes se concentram na cadeia alimentar, resultando num grande perigo para os organismos situados nos degraus superiores. Felizmente as concentrações dos metais tóxicos nos ambientes aquáticos naturais são bem pequenas (von SPERLING, 1996).

4.8.23 Micropoluentes orgânicos - Agrotóxicos

Alguns materiais orgânicos são resistentes à degradação biológica, não integrando os ciclos biogeoquímicos, e acumulando-se em determinado ponto do ciclo (interrompido). Entre estes, destacam-se os defensivos agrícolas, alguns tipos de detergentes e um grande número de produtos químicos. Uma parte destes compostos, mesmo em reduzidas concentrações, está associada a problemas de toxicidade (von SPERLING, 1996).

Os compostos orgânicos voláteis são persistentes nas águas subterrâneas e os semivoláteis têm pressão de vapor menor que os voláteis de baixa solubilidade. Os principais compostos orgânicos sintéticos tóxicos são: Hidrocarbonetos alifáticos ou aromáticos, os pesticidas e os fenóis. Os pesticidas, muito utilizados pelas comunidades em vilarejos, para agricultura de subsistência, são considerados nessa categoria os inseticidas, herbicidas, fungicidas, nematocidas, entre outros. São substâncias orgânicas sintéticas extremamente tóxicas, persistentes e de difícil biodegradabilidade. São usados para combater insetos e ervas daninhas indesejáveis na agricultura. Nas águas subterrâneas, só devem ser analisados em águas provenientes de zonas de agricultura intensiva (FEITOSA *et al.*, 2008).

4.8.24 Micropoluentes Biológicos - Coliformes

Um aspecto de grande relevância em termos da qualidade biológica da água é o relativo à possibilidade da transmissão de doenças. A determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças pode ser efetuada de forma

indireta, através dos organismos indicadores de contaminação fecal, pertencentes principalmente ao grupo de coliformes (von SPERLING, 1996).

Entre as impurezas das águas naturais, incluem-se os microrganismos, como as bactérias, vírus, e protozoários, podendo causar doenças ao homem. A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os coliformes totais e *Escherichia coli*, ou coliformes termotolerantes. A *Escherichia coli* é um coliforme de origem exclusivamente fecal. Trata-se de uma bactéria patogênica, que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. A sua presença representa risco para a saúde pública, mas indica que poderão estar presentes microrganismos causadores ou transmissores de doenças (FEITOSA *et al.*, 2008).

4.9 Índice de Qualidade das Águas - IQA.

O IQA, da *National Sanitation Foundation* (NSF), adaptado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) é a referência que vem sendo mais usada para caracterizar e avaliar a qualidade das águas superficiais no país.

Este índice tem como determinante principal, a partir da avaliação da qualidade das águas, a sua utilização para abastecimento público. Para tanto, incorpora o estudo de nove variáveis consideradas relevantes, segundo CETESB (2012). São elas: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduos totais e oxigênio dissolvido.

4.10 Elementos traço.

Os metais pesados, em química, referem-se a uma classe de elementos químicos, muitos dos quais venenosos para os seres humanos. Diferenciam-se de compostos orgânicos tóxicos por não serem totalmente degradáveis em formas não tóxicas, embora eles possam ser transformados em formas insolúveis e, portanto, biologicamente indisponíveis a menos que eles sejam novamente convertidos para espécies mais solúveis. Os locais de fixação final dos metais pesados são os solos e sedimentos (BAIRD, 2011).

Os metais pesados podem ocorrer naturalmente no ambiente. Podemos dar referência ao termo “elementos metálicos”, àqueles que apresentarem peso atômico maior que do Fe ($55,8 \text{ g mol}^{-1}$) ou densidade maior que $5,0 \text{ g/cm}^3$. Alguns elementos, no entanto, possuem peso atômico menor que o do Fe, como por exemplo, o Cr, ou não são metais e sim metalóides, como o As e o Se e ainda assim são

referidos como metais pesados (PIERZINSKY, 2000). Dentre os metais pesados encontram-se alguns considerados micronutrientes, como o Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e o Ni, entretanto, todos, em determinadas concentrações, são considerados potencialmente nocivos aos seres vivos. Alguns dos mais tóxicos são o Hg, Pb, Cd, Cu, Ni, e o Co (COSTA *et al.*, 2006).

Existem cerca de vinte metais pesados, ou de elementos atuando como estes, considerados tóxicos para os humanos, incluindo Hg, Cd, Pb, As, Mn, Tl, Cr, Ni, Se, Te, Sb, Be, Co, Mo, Sn, W e V. Destes, os 10 primeiros são os de maior utilização industrial e, por isso mesmo, são os mais estudados sob o ponto de vista toxicológico (TAVARES e CARVALHO, 1992).

Contudo, segundo Tavares e Carvalho (1992) erroneamente refere-se indistintamente a estes elementos como metais pesados. Na realidade, metal pesado é aquele que apresenta alto peso específico. Como os primeiros metais identificados como sendo bioacumulados e tóxicos por exposição ambiental foram o Hg, Pb e Cd, todos três pesados, por extrapolação, todos os outros elementos apresentando tal comportamento passaram a ser englobados dentro desta terminologia.

Segundo Amaral e Krebs (2005), os metais são classificados em:

- Elementos essenciais (Na, K, Ca, Fe, Zn, Cu, Ni e Mg).
- Micro-contaminantes (As, Pb, Cd, Hg, Al, Ti, Sn e W).
- Elementos essenciais e simultaneamente micro-contaminantes (Cr, Zn, Fe, Co, Mn, Se e Ni).

A manifestação dos efeitos tóxicos está associada à dose e pode distribuir-se por todo o organismo, afetando vários órgãos, alterando os processos bioquímicos, organelas e membranas celulares.

A multielementaridade da análise é desejável por permitir rapidamente analogias e avaliações ambientais mais abrangentes. Análises em escala micro são necessárias em grande número de casos onde as quantidades possíveis de amostras são pequenas (TAVARES e CARVALHO, 1992).

Os metais pesados que apresentam maiores riscos ambientais em razão de seu uso intenso, toxicidade e ampla distribuição são o mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cádmio, (Cd) e arsênio (As) (BAIRD, 2002).

O cádmio trata-se de um elemento com grande potencial tóxico ao meio ambiente, considerando que é um metal de rápida adsorção pelo solo, com alta taxa de persistência e acúmulo, causando efeitos prejudiciais a plantas e animais. Entretanto, de um modo geral, são considerados solos contaminados aqueles que possuem teores de cádmio acima de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (McBRIDE, 1994).

Muitos metais são essenciais à vida na terra. Geralmente as concentrações naturais estão na faixa de parte por milhão (ppm) ou parte por bilhão (ppb) e a natureza se encarrega de oferecer as quantidades necessárias para a manutenção saudável do ciclo vital. Outros metais não exercem nenhuma função conhecida no ciclo biológico. As concentrações naturais estão na faixa de parte por bilhão (ppb) ou parte por trilhão (ppt). Em ambos os casos, a presença de concentrações crescentes de metais acima das naturais passam do meramente tolerável ao tóxico (TAVARES e CARVALHO, 1992).

Os metais pesados podem ser encontrados de diversas formas no solo: solúveis em água, retidos nos sítios de troca, absorvidos ou complexados aos alcaloides orgânicos e inorgânicos, oclusos como minerais primários e nos compostos orgânicos e inorgânicos adicionados pelos resíduos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Os sedimentos de fundo, ou sedimentos de corrente, representam o principal compartimento de acumulação de materiais que são carregados para os corpos d'água (MOREIRA, 2003).

A disposição de efluentes industriais contendo metais pesados em fontes hídricas é o maior fator antropogênico, responsável pela poluição em vários ambientes aquáticos. A natureza geoquímica do solo é importante fator causal de poluição por metais, particularmente em fontes de águas subterrâneas. Metais pesados em água persistem por mais tempo que os demais poluentes e percolam da superfície para a camada subterrânea de água (PATHAK *et al.*, 1994).

Embora normalmente pensemos nos metais como poluentes da água, eles são, na maioria das vezes, transportados de um lugar para o outro por via atmosfera, ou como gases ou como espécies adsorvidas ou absorvidas sobre material particulado em suspensão (BAIRD, 2011).

Mesmo o vapor de mercúrio sendo altamente tóxico, os cinco metais pesados, Hg, Pb, Cd, Cr e As, nas suas formas de elementos livres condensados, não são particularmente tóxicos. Porém, os cinco são perigosos nas suas formas catiônicas e também ligados a cadeias curtas de átomos de carbono (BAIRD, 2011).

Metais na água são absorvidos pelo organismo humano através do trato gastrintestinal. Esta absorção pode ser afetada pelo pH, pelas taxas de movimentação no trato digestivo e pela presença de outros materiais; combinações particulares desses fatores podem contribuir para fazer a absorção de metais ser muito alta ou muito baixa no homem (FREITAS *et al.*, 2001).

A toxicidade de uma dada concentração de um metal pesado presente em um curso de água natural depende não somente de sua especificação, mas também do pH da água e da quantidade de matéria orgânica suspensa e dissolvida, uma vez que as interações, como complexação e adsorção, podem remover alguns dos íons metálicos da atividade biológica potencial (BAIRD, 2011).

Os efeitos tóxicos dos metais podem expressar-se de forma aguda ou crônica. Dentre os mecanismos de toxicidade dos metais estão incluídas as interações com sistemas enzimáticos, interações com membranas celulares e efeitos específicos sobre certos órgãos e sobre o metabolismo celular em geral (GOYER, 1986).

Toda substância é tóxica dependendo da quantidade e da concentração, mas os metais pesados, especialmente, em concentrações elevadas, são motivo de grande preocupação ambiental, principalmente por não serem degradáveis, o que permite a eles preservar por longo tempo no meio ambiente (COTTA, RESENDE; PIOVANI, 2006). São geralmente tóxicos aos organismos vivos, sendo, portanto, considerados poluentes.

O Quadro 02 lista alguns dos elementos-traço estudados nessa tese, encontrados em águas naturais em nível de poucos ppm ou menos. Tal qual observado com frequência no comportamento de muitas substâncias no ambiente aquático, alguns desses elementos são nutrientes essenciais para plantas e animais quando presentes em níveis reduzidos, mas tornam-se tóxicos em níveis elevados (MANAHAN, 2013).

Quadro 02 - Elementos-traço importantes em águas naturais estudados nesse trabalho.

Elemento	Origem	Efeitos e importância
Chumbo	Residual industrial e mineração.	Tóxico, prejudicial à vida selvagem.
Cobre	Metalização, mineração e resíduo industrial.	Elemento-traço essencial, tóxico para plantas e algas quando em níveis elevados.
Cromo	Metalização.	Essencial como Cr (III), tóxico como Cr (VI).
Ferro	Resíduos industriais, corrosão, drenagem ácida de minas, ação microbiana.	Nutriente essencial, causa manchas em metais sanitários.
Fluor (F-)	Fontes geológicas naturais, resíduos, aditivo da água.	Previne a cárie quando em concentrações perto de 1 mg L ⁻¹ , tóxico quando mais altas.
Manganês	Resíduos industriais, drenagem ácida de minas, ação microbiana.	Tóxico para plantas, causa manchas em metais sanitários.

Fonte: MANAHAN, 2013. p. 188.

Alguns metais estão entre os poluentes elementares mais prejudiciais e causam preocupações específicas devido à toxicidade para os seres humanos. Os metais incluem elementos essenciais, como o ferro, bem como elementos tóxicos, como o cádmio e o mercúrio. Alguns semimetais, elementos na fronteira entre os metais e não metais, são importantes poluentes aquáticos, como o arsênio, o selênio e o antimônio sendo de interesse especial (MANAHAN, 2013. p. 187).

Para compreender a dinâmica dos metais pesados em meio hídrico é essencial o monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água, isto é, pH (potencial hidrogeniônico), Eh (potencial de oxirredução), condutividade elétrica e temperatura. Esses parâmetros fornecem importantes subsídios para a interpretação do equilíbrio termodinâmico dos metais nos ambientes estudados (PEREIRA FILHO, 1995).

O pH, quando assume valores baixos (condições ácidas), tende a tornar a maioria dos metais-traços bastante solúveis, no caso, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U, V e As. Por outro lado, assumindo valores elevados ou moderados (condições alcalinas ou neutras), o pH favorece a precipitação ou a adsorção dos metais (ROSE *et al.*, 1979).

A condutividade elétrica é uma forma aproximada de se expressar a salinidade da água (concentração de sólidos dissolvidos), Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻,

HCO_3^- . Dessa forma, variações na condutividade (expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$) representam uma maior ou menor disponibilidade dos ânions capazes de formar, com os metais-traços, complexos iônicos solúveis, ou, ainda, minerais insolúveis (DREVER, 1982).

Os fertilizantes, pesticidas, água de irrigação contaminada e queima de biomassa na zona rural, combustão de carvão e óleo, emissões veiculares, incineração de resíduos urbanos e industriais e, principalmente, mineração, fundição e refinamento, tanto nas regiões urbanas como na zona rural, são as principais fontes antropogênicas de metais no ambiente. Existe uma demanda e produção crescentes de muitos metais nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Tal fato sugere um aumento das probabilidades superpostas de sua dispersão e contato com os diversos compartimentos ambientais. Um metal pode ser dispersado desde o momento da extração de seu minério, durante o tempo que se constitui produto utilizável, até depois que o produto é descartado, reciclado ou destruído. Em outras palavras, o homem está transformando parte dos metais imobilizados nos depósitos em metais mobilizados no ambiente. Esta situação se agrava nos países em desenvolvimento, para onde são exportadas fábricas mais poluidoras, dentro da lógica da divisão internacional do trabalho. Para agravar ainda mais o problema, nestes países, os cuidados de controle de poluição industrial quase sempre não são adotados, equipamentos de abatimento de emissões nem sempre são instalados ou operados corretamente e a fiscalização é precária (TAVARES e CARVALHO, 1992).

Os níveis de metais pesados em amostras de água na área de estudo deste trabalho, parte das alterações do uso e ocupação do solo, que vêm se intensificando ano após ano, com a expansão das atividades econômicas nos setores industriais e conseqüente crescimento urbano.

Alexandre e Szikszay (1999) estudando a contaminação por As, Cu, Pb, e Zn, provenientes de herbicidas e fungicidas, dos solos e águas do lençol freático de região de vinicultura de Jundiaí, São Paulo, encontraram o seguinte:

- a) os minerais predominantes nos solos estudados são o quartzo e a caolinita, havendo um horizonte enriquecido em ferro na parte superior da zona saturada.
- b) O solo da área encontra-se poluído por chumbo e cobre.

- c) Os principais responsáveis pela retenção do cobre, chumbo e zinco são os minerais ferruginosos.
- d) Na parte superficial do solo a matéria orgânica é responsável pela retenção do cobre.
- e) As águas do aquífero, cujo nível estático variava de 2,35 a 5,34 metros de profundidade, apresentaram teores, em geral, muito baixos destes elementos, com exceção do chumbo que chegou a ultrapassar o padrão de potabilidade (0,05 mg/L).

4.10.1 Chumbo

A determinação de chumbo em águas subterrâneas e potáveis é de grande importância para estimar quais fontes podem expor a comunidade à contaminação por seus elementos traço.

Em geral, estudos para detecção de concentrações de chumbo em água, subterrânea ou superficial, estão associados às áreas de atividades siderúrgicas, ou pelo menos, próximo a estas.

Apesar de ser um metal tóxico ele é um dos mais utilizados na indústria, pois seu caráter em ligas metálicas garante às indústrias automobilísticas uma durabilidade e conservação maior na constituição de baterias elétricas. Muitos encanamentos são feitos de chumbo e, em sua corrosão, ocorre liberação desse metal fazendo com que o chumbo entre em contato com a água potável, tornando-a mais ácida. Pode ser extremamente danoso para o organismo o contato com o chumbo através de água, alimentos e ar contaminados (BITAR, 2007).

Independentemente do número de amostras em análise de água para determinação do teor de chumbo, uma das principais preocupações do analista é a determinação precisa deste elemento.

Embora a concentração ambiental de chumbo, Pb, ainda esteja aumentando em algumas partes do mundo, os usos que resultam em dispersão descontrolada estão sendo amplamente reduzidos nas últimas duas décadas em muitos países desenvolvidos. Consequentemente, sua concentração em solos, água e ar diminuiu de uma forma substancial (BAIRD, 2011). Contudo, o chumbo na água é mais completamente absorvido pelo corpo do que o do alimento.

O chumbo elementar não é um problema ambiental para muitas formas de vida, entretanto, ele torna-se uma preocupação real ao dissolver-se para dar

origem à forma iônica. A forma estável do chumbo é a espécie Pb^{2+} , Pb (II) como Pb^{2+} (BAIRD, 2011).

A contaminação da água por chumbo é menos problemática em áreas de água calcária, uma vez que uma camada insolúvel contendo compostos como $PbCO_3$, se forma sobre a superfície do chumbo pela reação do metal dissolvido com o oxigênio e o íon carbonato, CO_3^{2-} , na água. Esta camada previne que a parte de baixo do metal se dissolva na água que passa sobre ela (BAIRD, 2011).

A maior parte do chumbo ingerido por seres humanos está presente no sangue, mas eventualmente alcança um platô. Qualquer excesso entra no tecido leve, incluindo os órgãos, particularmente o cérebro. Eventualmente o chumbo é depositado nos ossos, onde substitui o cálcio, uma vez que os íons Pb^{2+} e Ca^{2+} são similares em tamanho. Na realidade, a absorção de chumbo pelo corpo aumenta em pessoas com uma deficiência em cálcio ou ferro e é muito mais alta em crianças do que em adultos (BAIRD, 2011).

Estudos apontam que a toxicidade crônica causada pelo chumbo no organismo humano pode desencadear no indivíduo neoplasia e saturnismo (intoxicação causada pelo chumbo) doença que pode levar à morte, além de problemas de audição, alteração de crescimento, desenvolvimento cerebral deficiente, elevação da pressão arterial, infertilidade, convulsões e perda de memória (BRITO FILHO, 1983; LARINI, 1997).

Nascimento e Barbosa (2005) relatam que a contaminação por esse metal pode levar a problemas de audição, alteração de crescimento, desenvolvimento cerebral deficiente, redução na síntese de vitamina D, o que diminui a produção de hemoglobina, enfraquecendo o sistema imunológico, provocando dores nos músculos, nas articulações, elevação da pressão arterial, infertilidade, convulsões e perda de memória. O mesmo associa a presença do chumbo nas águas coletadas a fontes antropogênicas (baterias de veículos automotores, canos de chumbo enterrados de antigos sistemas de distribuição de água), ou mesmo à contaminação atmosférica.

Em estudo das águas da bacia hidrográfica do Rio Banabuiú, Moura (2013), relata um comportamento semelhante ao de Fenzl (1986), observando baixas concentrações do metal nas águas estudadas, relacionando estes à pequena mobilidade geoquímica do chumbo. Moura (2013) relata concentrações tão baixas do metal, que estas mantiveram-se abaixo do limite de quantificação praticado, que foi de $3,0\mu\text{g/L}$.

Já no trabalho de Nobre (2014), em Itaíçaba, Ceará, observou-se em cinco (5), das dezoito (18) amostras de água subterrânea, concentrações superiores 10 µg/L, sendo assim observadas: 13 µg/L, 15 µg/L, 15 µg/L, 31 µg/L e 58 µg/L.

Berezuk e Gasparetto (2002) avaliaram a ocorrência de chumbo e zinco em águas subterrâneas de Maringá, PR, e observam que os teores de chumbo encontrados nas amostras de água de poços de condomínios são relativamente elevados. E associam estes por ser uma água proveniente de aquífero fraturado, formado pela sequência de derrames de rochas vulcânicas e também são facilmente contaminados devido a presença de geoestruturas tectônicas que são responsáveis pela acumulação e a circulação livre da água em subsuperfície. Nesse caso, além das condições geológicas, os autores também correlacionam com o uso excessivo de pesticidas e herbicidas das áreas agrícolas existentes em torno do perímetro urbano.

4.10.2 Cádmio

Pertence ao mesmo subgrupo da tabela periódica que o zinco e o mercúrio, mas é mais similar ao zinco. Como o zinco, o único íon de cádmio é a espécie 2^+ . Ao contrário do mercúrio, os compostos de cádmio com ânions simples, tais como o cloreto, são sais iônicos mais do que moléculas covalentes (BAIRD, 2011).

A importância de se estudar este elemento se dá devido ele se apresentar nas águas naturais devido às descargas de efluentes industriais, principalmente as galvanoplastias. É também usado como inseticida. Apresenta, no organismo humano, efeito agudo. Uma vez que uma dose considerada elevada pode levar à morte e efeito crônico, por concentrar-se nos rins, fígado, pâncreas e tireoide. Não apresenta qualidade, pelo menos encontrada em pesquisa para este trabalho, que torne benéfico ou essencial para os seres vivos.

O cádmio pode ser encontrado no solo nas seguintes formas: trocável (absorvido por atração eletrostática em sítios com carga negativa das argilas, matéria orgânica e óxidos hidratados), reduzida (adsorvido ou precipitado com hidróxidos de ferro, óxidos, manganês presentes no revestimento de minerais de argila ou partículas isoladas), orgânico (complexado), carbonato (solos com muito carbonato de cálcio livre), fixado no interior da rede cristalina da argila, e em solução iônica ou complexada (ADRIANO, 1986).

O Cd^{2+} é mais solúvel em água, a menos que íons sulfeto estejam também presentes para precipitar o metal como CdS. Portanto, os seres humanos ingerem usualmente apenas uma pequena parcela de cádmio diretamente da água ou inalação do ar, exceto para os indivíduos que vivem próximos a

minas de fundições, particularmente aquelas que processam zinco (BAIRD, 2011).

Os fumantes também são expostos ao cádmio que é absorvido do solo e água de irrigação pelas plantas de tabaco e então liberadas pela fumaça quando um cigarro é queimado. Os fumantes inveterados ingerem aproximadamente o dobro de cádmio que os não fumantes ingerem de todas as outras fontes do elemento (BAIRD, 2011).

Pela similaridade com o zinco, as plantas absorvem cádmio da água de irrigação. O uso em campos agrícolas de fertilizantes de fosfato, o qual contém cádmio iônico como um contaminante natural, e o lodo de esgoto contaminado com cádmio emitido pelas indústrias, aumentam o nível desse metal no solo e subsequentemente em plantas em crescimento. O solo também recebe cádmio da deposição atmosférica. Uma vez que ele entra nas plantas com a diminuição do pH do solo, um efeito da chuva ácida é aumentar os níveis de cádmio em alimentos (BAIRD, 2011).

Para a maioria de nós, a maior proporção de nossa exposição ao cádmio vem dos alimentos. Frutos do mar e os órgãos comestíveis, particularmente os rins, têm níveis maiores do que outros alimentos. No entanto a maior parte do cádmio na dieta normalmente vem de batatas, trigo, arroz e outros cereais, já que a maior parte das pessoas consome muito mais esses produtos do que frutos do mar e rins (BAIRD, 2011).

Na região norte do estado, sul de Fortaleza, registraram-se 2,0 µg/L Cd na fonte que abastece Palmácia e num poço amazonas da captação de Pacoti, em rochas metamórficas do Complexo Ceará (para e ortognaisses principalmente); em direção oeste, em águas do riacho Escorado, que alimenta Itapagé, e do poço tubular de Deserto, distrito de Itapipoca, foram detectados respectivamente 2,0 µg/L e 3,0 µg/L (este com Arsênio e Sódio), tendo no substrato rochas granitoides do Complexo Tamboril-Santa Quitéria. Na região sul do estado, resultados de 2,0 µg/L Cd foram obtidos em água de poço no distrito de Caipu, município de Cariús, 3,0 µg/L em Tarrafas, 4,0 µg/L m Nova Olinda e 8,0 µg/L em um poço amazonas na aluvião do rio Cariús, que abastece a cidade de Jucás; a cerca de 200 m, a água de outro poço amazonas (captação para a cidade de Cariús) teve resultado de 1,0 µg/L. A leste, já fronteira com o estado da Paraíba, foram observadas concentrações de 2,0 µg/L em poços amazonas de Baixio e Ipaumirim (onde a cloretação é feita no próprio poço), 3,0 µg/L em Umari e 2,0 µg/L (com alto valor de Chumbo) em Ererê. Gnaisses e migmatitos de várias unidades estratigráficas do Arqueano e Proterozóico, com muita diversidade na composição litológica, formam o substrato da região; em Ererê há extensa cobertura de sedimentos do Quaternário. A oeste do estado os valores destacados são de 2,0 µg/L em Croatá, Santo Antônio, distrito de Novo Oriente e São Francisco, distrito de Quiterianópolis, e de 3,0 µg/L em Ararendá. Mais a sul, no distrito de Marrecas, município de Tauá, na água de poço com instalação de dessalinizador, utilizada para beber, obteve-se 1,0 µg/L e, naquela de um poço amazonas situado a menos de 300 m, 2,0 µg/L de Cádmio. Gnaisses e migmatitos da Unidade Canindé, granitoides, quartzitos e micaxistos do Grupo Novo Oriente, do Proterozóico, com algumas coberturas sedimentares constituem os terrenos desses municípios, com exceção de Croatá, onde ocorrem rochas sedimentares do Grupo Serra Grande. O resultado analítico mais elevado de Cádmio foi de 20,0 µg/L, obtido em uma amostra de água do açude Gavião, mais próximo de Fortaleza e onde se encontra a captação para várias sedes municipais vizinhas; outras 3 amostras deste açude, coletadas na mesma ocasião e em até 2.500 m de distância, tiveram resultados de 1,0 µg/L, valor de referência do CONAMA; poluição industrial

por via eólica é provavelmente a origem desta elevada concentração do metal, pela posição geográfica do açude, próximo e central a vários municípios com importantes e diversificados parques industriais (Fortaleza, Eusébio, Itaitinga, Maracanaú e Horizonte). Devido à grande diversidade de rochas nos locais com valores de Cádmiu acima do referenciado, não é plausível uma origem litogênica comum a todos eles. Pode-se sugerir fontes localizadas e individuais de contaminação antropogênica, pois é elemento muito comum, sendo utilizado em baterias elétricas, componentes eletrônicos, ligas metálicas resistentes à corrosão, pigmentos para plásticos e vidros metálicos, cimento e fertilizantes fosfatados; tem alta mobilidade no meio aquoso como íon Cd^{+2} e também em ligação com complexos orgânicos (FRIZZO, 2006).

Moura (2013) observou valores de cádmio em amostras de água em Banabuiú, Ceará, variando de 1,4 $\mu\text{g/L}$ a 5,9 $\mu\text{g/L}$. Já em seu trabalho de dissertação de mestrado, Moura (2008) observou que os níveis de cádmio em todas as 72 amostras estudadas, encontravam-se abaixo do limite de detecção do aparelho utilizado, 1,3 $\mu\text{g/L}$.

4.10.3 Alumínio

A importância de se estudar alumínio em água subterrânea se dá devido ao fato de sua abundância em rochas e minerais, apesar de possuir baixa solubilidade. Fatores associados ao intemperismo ou ação antrópica são determinantes na presença de altas concentrações de alumínio em água. Fazer associações entre parâmetros físico-químicos e presença de outros metais com comportamento semelhante é de fundamental importância para compreender a dinâmica desse elemento no meio (CETESB, 2012).

A exposição humana ao alumínio é inevitável, uma vez que está presente numa vasta gama de produtos e é utilizado em diversas áreas. No entanto, existe uma considerável preocupação no que diz respeito ao alumínio que é ingerido tanto nos alimentos como na água, em especial na água. Espécies de alumínio presentes na água podem apresentar maior potencial de biodisponibilidade e serem mais facilmente absorvidas pelo trato gastrointestinal (ROSALINO, 2011). Contudo, também há exposição humana relacionada à utilização e introdução diária deste elemento pelo homem, nos medicamentos, no tratamento de água, produtos de consumo e outros.

A concentração de íons alumínio em águas naturais normalmente é muito pequena, cerca de $10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$. Este baixo valor decorre do fato de que na faixa típica de pH para águas naturais (6 a 9), a solubilidade do alumínio contido em rochas e solos para os quais a água está exposta é muito pequena. A solubilidade de compostos de alumínio em água é controlada pela solubilidade de hidróxido de alumínio, $\text{Al}(\text{OH})_3$. Dado que o Kps do hidróxido é cerca de 10^{-33} a uma temperatura normal para a água, então para a reação $\text{Al}(\text{OH})_3 \leftrightarrow \text{Al}^{+3} + \text{OH}^-$ é deduzido que $[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3 = 10^{-33}$. Para cada unidade que diminui o pH, a concentração de íons alumínio aumenta por um fator de

10^3 , alcançando 10^{-6} mol/L a um pH de 5 e 10^{-3} mol/L a um pH de 4. Assim o alumínio é muito mais solúvel em rios altamente acidificados e lagos do que naqueles onde o valor pH não fica abaixo de 6 ou 7. Enfim, Al^{3+} é normalmente o cátion principal em águas em que o pH é menor do que 4,5, excedendo ainda as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} , as quais são os cátions dominantes em valores de pH maiores do que 4,5 (BAIRD, 2011).

O alumínio é liberado ao ambiente principalmente por processos naturais, porém vários fatores influenciam sua mobilidade e subsequente transporte no ambiente. O metal entra na atmosfera como material particulado oriundo de erosão natural do solo, mineração ou atividade agrícola, gases vulcânicos e combustão de carvão. O alumínio pode ocorrer na água em diferentes formas e sua concentração depende de fatores físicos, químicos e geológicos. As concentrações do alumínio dissolvido em águas com pH próximo ao neutro geralmente estão entre 0,001 e 0,05 mg/L, mas aumentam para 0,5–1 mg/L em águas mais ácidas ou ricas em matéria orgânica, podendo chegar a valores acima de 90 mg/L em águas extremamente acidificadas afetadas por drenagem ácida de mineração (CETESB, 2012).

Segundo Perl (1988) existe um considerável debate no círculo médico relatando o papel deste metal na incidência do mal de Alzheimer, que é uma doença cerebral degenerativa de etiologia desconhecida caracterizada pela presença de um grande número de estruturas neurofibrilares e placas senis em certas regiões do cérebro. O alumínio é um composto neurotóxico que, em longo prazo, pode causar encefalopatia grave em pacientes que sofrem diálise renal, podendo levar a distúrbios neurológicos.

Pode causar dermatites em pessoas sensíveis ou desordem estomacal e inabilidade de absorção de nutrientes. Inclusive quando alimentos são preparados em recipientes desse metal. Contudo, Frizzo (2006) relata que há toxicidade se consumido em excesso, não estando ainda determinado com certeza se é agente de doenças neurodegenerativas (mal de Alzheimer).

A natureza da associação entre os depósitos de alumínio no cérebro, a neuroquímica da formação de placas e o mal de Alzheimer ainda é motivo de investigações. No entanto, em virtude da presença de alumínio em água potável ser mais prontamente disponível para absorção biológica que outras fontes, assumiu-se que o alumínio em água potável teria um efeito desproporcional sobre o mal de Alzheimer (REIBER *et al.*, 1995).

Rosalino (2011) faz a observação de que foram vários os estudos que evidenciaram a ligação entre o alumínio presente na água e múltiplas doenças do foro neurológico, como a encefalopatia após tratamento de diálise, a doença de Parkinson, a esclerose lateral amiotrófica e, em particular, a doença de Alzheimer. No entanto, apesar da abundância de estudos, a autora afirma que o mecanismo pelo qual o

alumínio exerce os seus efeitos tóxicos no cérebro não é completamente compreendido, e por isso a relação referida anteriormente é apenas considerada uma forte suspeita.

Segundo dados da CETESB (2012), a Organização Mundial da Saúde (OMS) já reavalia as informações quanto à presença de alumínio na água potável e possível risco à saúde humana. Pesquisadores acreditam que a doença resulta mais da combinação de diferentes fatores do que de uma causa só para a maioria dos indivíduos.

Frizzo (2006) encontrou valores que variaram de 100µg/L, 200µg/L e 800 µg/L. Com distribuição irregular pelo território estadual. Os resultados que se sobressaem ocorrem preferencialmente em açudes e rios, contra apenas um em água subterrânea. Os elevados teores o autor associa às coberturas sedimentares argilo-arenosas com laterização na base, do Neogeno.

Já em Jijoca de Jericoacoara, Frizzo (2006) observou 500 µg/L em água de poço tubular e associou com 599 µg/L de ferro também observado, além de outros metais pesados. Para este, a captação é feita nos sedimentos do Grupo Barreiras, do Paleogeno, compostos por arenitos argilosos com cimento de argila ou ferruginoso e leitos de nódulos lateríticos que é a provável fonte desses elevados valores. Já em Cruz, cidade também estabelecida nesses sedimentos as águas de poços tiveram resultados iguais ao valor de 100 µg/L de alumínio. Valores da ordem de 600 µg/L foram encontrados na porção central do Ceará, no açude Boa Vista Velha. E 800 µg/L no rio Patu, que abastece Mineirolândia, distrito de Pedra Branca, Ceará. Ambos associados aos altos teores de ferro (559,0 µg/L e 332,0 µg/L de Fe) respectivamente.

Os resultados da pesquisa de Nobre (2014) apresentaram teores de 6,0 a 1811 µg/L de alumínio para águas subterrâneas. As maiores concentrações observadas em um ponto de coleta que se refere a um chafariz localizado em um vilarejo à montante de uma barragem, em uma área de cultivo agrário e litologia pertencente à Formação Barreiras formada por minerais areno argilosos e solos lateríticos, e apresenta o pH mais ácido (média de 3,87), distinto das demais amostras,

podendo estar concentrando o elemento devido dissolução na água ácida de percolação.

Moura (2013) observou teores de alumínio variando entre 34,9 e 14.777,8 µg/L, com teor médio de 1.252,9 µg/L. Apresentando um comportamento acima do VMP em torno de 38,9% das amostras estudadas.

4.10.4 Manganês

A importância de se estudar o manganês se dá pelo fato de o mesmo apresentar um comportamento semelhante ao do ferro (elemento que apresenta-se em grande quantidade em algumas amostras de água de poço coletadas em Itarema), em seus aspectos mais diversos. Porém, sua ocorrência é mais rara (CETESB, 2011).

De acordo com Pohling (2009), o manganês encontra-se presente em muitos solos, sedimentos e rochas metamórficas e geralmente é associado aos minerais de ferro. Sua ocorrência em abastecimento público é mais um problema econômico do que um perigo à saúde, pois assim como o ferro, deixa manchas escuras nas roupas e louças e tende a se depositar em tubulações de sistemas de distribuição de água e em instalações sanitárias.

A solubilidade de alguns compostos, principalmente metais, em águas subterrâneas e superficiais é influenciada por interações com outros constituintes da matriz do solo, pela adsorção em minerais de argila, em hidróxidos de ferro e manganês e na matéria orgânica (FREEZE & CHERRY, 1979).

Alguns íons metálicos solúveis, como o Fe^{2+} e o Mn^{2+} , são tóxicos para as plantas quando presentes em níveis elevados. Sua oxidação a óxidos insolúveis pode levar à formação de depósitos de Fe_2O_3 e MnO_2 , que entopem drenos cobertos nos campos (MANAHAN, 2013).

Na água, o manganês ocorre nas formas dissolvida e suspensa, que variam conforme pH e potencial redox. A água subterrânea anaeróbia frequentemente contém níveis elevados de manganês dissolvido. Em rios, o Mn é transportado adsorvido a partículas suspensas dos sedimentos (CETESB, 2011).

Segundo Faurgs (2003), a tendência à precipitação sob a forma de óxidos do manganês em águas subterrâneas reduz consideravelmente sua disponibilidade aos organismos aquáticos e, conseqüentemente, sua probabilidade de causar efeitos tóxicos diretos.

De acordo com Stauber & Florence (1985), o manganês, assim como o ferro, são eficientes captadores de metais em ambientes aquáticos através da adsorção, troca iônica e co-precipitação.

Nascimento e Barbosa (2005) descrevem que o excesso de manganês na dieta alimentar impede a atuação do ferro na produção da hemoglobina do sangue. Em altas doses, pode causar apatia, irritabilidade, dores de cabeça, insônia e fraqueza nas pernas. Sintomas de distúrbios psicológicos podem aparecer, tais como a prática de atos compulsivos, ausência de memória, alucinações, agressividade e euforia desmedida. Em alguns casos, pode ocasionar o aparecimento de doença similar ao mal de Parkisson.

Na pesquisa de Moura (2013), os valores de manganês variaram de um mínimo de 20,5 a um máximo de 6.101,0 µg/L, com teor médio de 583,1 µg/L. Sendo 55,6 % das amostras com concentração de manganês acima de 100 µg/L. E ressalta que esses elevados valores se destacam nos poços aluvionares.

Nobre (2014) observou que embora o manganês apresente comportamento semelhante ao metal ferro, não houve correlação visível para estes elementos, uma vez que a maioria dos poços não apresentou valores consideráveis do elemento ferro. No entanto, a autora ressalta a diferença entre as técnicas analíticas aplicadas. A autora observou concentrações de manganês da ordem de 1.800,0 µg/L e 2.000,0 µg/L. Cerca de 20 vezes o VMP. Trata-se de poços tubulares que estão inseridos na área de aluvião e próximos a carciniculturas.

Em estudo sobre a influência do manganês em ensaios de toxicidade com algas em amostras de água, em uma área industrial da região metropolitana de Porto Alegre, RS, Brasil, Arenzon e Raya-Rodrigues (2006), observaram que dos metais avaliados (Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Zn, Hg e Ni), o manganês foi o único detectado na maioria dos poços de monitoramento em todas as amostragens realizadas (75 amostras distribuídas em 19 poços), ocorrendo em 87% das amostras do aquífero livre e em 100% do aquífero semiconfinado. Quando detectado, o manganês foi observado em concentrações entre 0,024 mg/L e 2,25 mg/L. Contudo, dados disponíveis sobre as águas subterrâneas da área estudada (FAURGS, 2003),

mencionam as concentrações observadas de manganês como decorrentes da composição natural do solo local.

4.10.5 Cromo

É largamente usado para eletrodeposição, proteção contra corrosão e curtimento de couro. Trata-se de um elemento que não precipita em qualquer pH. Pela baixa solubilidade e, portanto, baixa mobilidade (BAIRD, 2011).

A questão do cromo tornou-se um problema de saúde pública devido a seus efeitos tóxicos até mesmo em baixos níveis de concentração e pelo fato de que ele é amplamente distribuído no ambiente (ATSDR, 2000). O cromo é um elemento que pode ser encontrado nas águas, ar, rochas, solos e em toda matéria biológica, porém não é comum a ocorrência natural de concentrações elevadas em águas.

O cromo possui dois estados de oxidação no ambiente natural: hexavalente e trivalente. O Cr(III) é pouco móvel nas águas subterrâneas e apresenta baixa toxicidade para o ser humano se ingerido por via oral, pois é um nutriente essencial, enquanto que o Cr(VI) é altamente móvel e possui elevada toxicidade por ser carcinogênico (CALDER, 1988).

Marcolan (2008) relata que a concentração e a mobilidade do cromo nas águas subterrâneas estão diretamente relacionadas com o estado de valência dominante (especiação), que é controlado pelas características químicas e físicas das águas, mas principalmente pelas condições de pH e Eh. Que em ambientes de baixo Eh e de pH predominantemente ácido, predominam espécies de Cr (III) como cátions Cr^{3+} , CrOH^{2+} , $\text{Cr}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Sob condições oxidantes (Eh elevado) e de pH predominantemente alcalino, as espécies de Cr (VI) predominam como ânions nas formas de HCrO_4^- e CrO_4^{2-} . Entretanto, essas condições não estão presentes no aquífero estudado em Itarema. Onde o pH das águas subterrâneas encontram-se em média entre 5,0 e 8,0.

Comumente, o cromo ocorre em minerais na forma trivalente, formando óxidos e hidróxidos insolúveis, o que explica a pouca frequência com que é detectado nas análises químicas de água subterrânea. Entretanto, o cromo somente pode potencialmente passar para a fase líquida quando há uma reação redox que o transforma em cromo hexavalente num ambiente de pH alcalino (MARCOLAN, 2008).

4.10.6 Bário

A determinação da concentração de bário é de importância em estudos ambientais e médicos, com algumas aplicações industriais, pois o seu uso, bem como o uso de seus compostos é amplo.

A presença dos metais pesados nas águas como o bário e chumbo podem provocar sérios problemas toxicológicos para os seres vivos devido à sua característica de persistência no ambiente e ser bioacumulativo dentro da cadeia trófica (BAIRD, 2002).

Bário é um elemento raro nas águas naturais, normalmente encontrado em teores que variam de 0,7 a 900,0 µg/L. As principais fontes naturais são intemperismo e erosão de depósitos naturais, onde ocorre na forma de barita (BaSO₄), ou feldspatos ricos em bário. Entre as atividades humanas que introduzem bário no meio ambiente, podem ser citadas a perfuração de poços, onde é empregado em lamas de perfuração, e a produção de pigmentos, fogos de artifício, vidros e defensivos agrícolas (CETESB, 2008).

O limite de potabilidade do bário estabelecido na Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) é de 700 µg/L.

Sua ingestão em concentrações elevadas provoca aumento da pressão sanguínea, por vasoconstrição e bloqueio do sistema nervoso. Entretanto, o sulfato de bário pode ser usado em medicina, por via oral, como contraste porque não se dissolve e por ser eliminado rapidamente pelo trato digestivo (CETESB, 2008).

4.10.7 Cobre

O cobre é um elemento amplamente distribuído na natureza. Trata-se, no seu estado puro, de um metal maleável muito utilizado na fabricação de moedas, fios elétricos, tubulações e encanamentos de água quente, e em combinação com outros metais para a produção de ligas e chapas metálicas. Os compostos de cobre são usados na agricultura, no tratamento da água para controle de algas (sulfato de cobre pentahidratado), na preservação de madeira, couro e tecido e como aditivo em alimentos (CETESB, 2012).

O cobre é abundante na natureza na forma de sulfetos, arsenitos, cloretos e carbonatos. Está naturalmente presente na atmosfera por dispersão pelo vento e erupções vulcânicas. O cobre elementar não se degrada no ambiente. As principais fontes antropogênicas do metal são: mineração, fundição,

queima de carvão como fonte de energia e incineração de resíduos municipais. As emissões por uso como agente antiaderente em pinturas e na agricultura, excreção de animais e lançamento de esgotos são menos relevantes. Pode ser encontrado em animais (ostras e mexilhões), plantas, alimentos e bebidas. No ar, o cobre geralmente é encontrado na forma de óxidos, sulfatos e carbonatos. As partículas, dependendo do tamanho, sofrem deposição seca ou são arrastadas pela água da chuva. Pequenas partículas contendo óxidos de cobre, cobre elementar e cobre adsorvido são produzidas na combustão e podem permanecer na troposfera por até 30 dias. As principais formas solúveis de cobre encontradas na água são Cu^{2+} , $\text{Cu}(\text{HCO}_3)$ e $\text{Cu}(\text{OH})_2$, sendo que a maior parte do cobre(II) dissolvido está na forma complexada e não como íon livre. O teor do metal na água potável está entre 0,005 e acima de 30 mg/L, dependendo das características da água, como pH e dureza, e corrosão interna de tubulações de cobre. Níveis acima de 1 mg/L causam manchas em louças sanitárias e a cima de 2,5 mg/L confere gosto amargo (CETESB, 2012).

O cobre é um elemento essencial aos organismos vivos em pequenas quantidades. A população geral pode ser exposta por inalação, ingestão de alimentos e água ou contato dérmico, porém a principal via de exposição não ocupacional é a oral. A ingestão de sais de cobre causou vômito, letargia, anemia hemolítica aguda, da no renal e hepático e, em alguns casos, morte. A ingestão de água contendo altas concentrações do metal pode produzir náusea, vômito, dor abdominal e diarreia. As crianças são mais sensíveis aos efeitos da exposição ao cobre. A exposição prolongada a concentrações elevadas do metal em alimentos ou água pode causar dano ao fígado de crianças. Trabalhadores expostos a fumos e poeiras de cobre podem apresentar irritação no nariz, boca e olhos, cefaléia, náusea, vertigem e diarreia (CETESB, 2012).

Os sais de cobre ocorrem em águas superficiais naturais apenas em quantidades traços, aproximadamente $0,05\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. A toxicidade é afetada por condições ambientais, tais como temperatura, dureza, turbidez e presença de CO_2 . Elevadas concentrações de cobre podem produzir vômitos, perturbações no fígado, sabor desagradável na água e efeitos tóxicos para uma extensa variedade de formas aquáticas (SAMPAIO, 2003). Concentrações de $0,015$ a $3,0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ tem sido indicadas como tóxicas, em água doce, para muitas espécies de peixes, crustáceos, moluscos e plânctons em geral (EPA, 1972 *apud* SAMPAIO, 2003).

O padrão de potabilidade do cobre estabelecido na Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) é de $2.000,0\text{ }\mu\text{g/L}$. E o de água subterrânea destinada a consumo humano, segundo Resolução CONAMA 396 (2008) é de $2.000\text{ }\mu\text{g/L}$.

4.10.8 Níquel

O elemento está presente no meio ambiente em concentrações traços e, seus níveis naturais encontrados na água doce variam de 2 a 10 µg/L; na água superficial varia entre 5 e 20 µg/L.; na água do mar entre 0,2 e 0,7 µg/L. Contaminação de águas com níquel, geralmente está associada a descarga de efluentes industriais contendo altos níveis do metal (DAMASCENO, 1996).

O níquel, conforme descrito em Manahan (2013) e Cetesb (2012), forma compostos inorgânicos solúveis com os hidróxidos, sulfatos, cloretos e nitratos. E insolúveis como os óxidos e sulfetos. Também é encontrado em minérios associados ao ferro.

Ainda segundo Cetesb (2012), pode chegar à hidrosfera por deposição seca e/ou úmida a partir da atmosfera, erosão de solos e rochas, lixo municipal e efluente industrial. Nos rios é transportado como partículas precipitadas com material orgânico. É utilizado na produção de ligas, baterias alcalinas, moedas, pigmentos inorgânicos, próteses clínicas, dentárias, na fabricação da margarina e manteiga a partir de gorduras líquidas, mas principalmente, na fabricação de aço inoxidável. A exposição a esse elemento pode ocorrer por inalação de ar, ingestão de água e alimentos ou contato com a pele. A ingestão aguda pode ocasionar dor de estômago e alterações sanguíneas (aumento de glóbulos vermelhos) e renais (perda de proteínas na urina). A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica os compostos de níquel como cancerígenos para o ser humano.

O padrão de potabilidade do níquel estabelecido na Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) é de 70 µg/L.

4.10.9 Cobalto

Os sais deste metal podem ser encontrados na forma bivalente ou trivalente. As soluções contendo íons cobaltosos (Co^{2+}) são relativamente estáveis, mas cobálticos (Co^{3+}) são poderosos agentes oxidantes e conseqüentemente, são instáveis em águas naturais. Tem se verificado que o cobalto tem relativamente baixa toxicidade ao ser humano, e que traços de cobalto são essenciais para a nutrição. A máxima concentração segura de cobalto na água potável não pode ser estabelecida ou estimada com base nos conhecimentos atuais. A ingestão de 0,1 e 0,25mg ao dia parece não exercer efeito algum adverso, ao passo que simples doses diárias de 25mg, durante uma semana ou mais, afeta o conteúdo de hemoglobina do sangue. A

presença de cobalto acima dos padrões ambientais pode causar efeitos nocivos tais como: insuficiência cardíaca congênita; hiperplasia da medula; deficiência da tireóide (mixidema); mutagênico (EPA, 1972 *apud* SAMPAIO, 2003).

É um elemento metálico relativamente raro, mas que ocorre na natureza associado a outros minérios, como prata, chumbo e cobre. A principal utilização é na produção de ligas metálicas. Vários sais de cobalto, como acetato de cobalto II ou III, naftenato e octanato, são usados como pigmentos na indústria de vidro e de cerâmica e como agente secante de tintas e vernizes. Os óxidos são utilizados como catalisadores nas indústrias química e de óleos. Também é empregado no tratamento de alguns tipos de câncer.

O cobalto é encontrado naturalmente em rochas, solos, águas, plantas e animais em quantidades-traço. As fontes naturais de emissão do composto para a atmosfera são vulcões e incêndios florestais. As fontes antropogênicas incluem queima de combustíveis fósseis, uso de biossólidos e fertilizantes fosfatados, mineração e fundição de minérios contendo cobalto e processos industriais que utilizam compostos de cobalto.

O cobalto liberado para a atmosfera é depositado no solo e água superficial por deposição seca e úmida. No solo, o metal geralmente apresenta baixa mobilidade e forte adsorção, porém a adsorção aumenta em solos ácidos. A precipitação mineral e a adsorção são dois processos que limitam as concentrações do metal na água.

A principal fonte de exposição da população geral ao cobalto é o alimento. O cobalto é um nutriente essencial em pequenas quantidades para mamíferos, incluindo o ser humano, e a forma essencial é a cobalamina, um componente da vitamina B12 usada no tratamento de anemia. Estudos com animais mostrou que o cobalto causou câncer quando colocado diretamente no músculo ou sob a pele. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o cobalto e seus compostos no Grupo 2B – possíveis cancerígenos para o ser humano (CETESB, 2012).

A Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) não estabelece/quantifica um padrão de potabilidade para o elemento cobalto quando presente em água. A Resolução CONAMA 396 (2008), no uso de águas subterrâneas, estabelece como 50 µg/L o VMP (valor máximo permitido) para água de irrigação e de 1000 µg/L para dessedentação de animais.

4.10.10 Antimônio

O padrão de potabilidade do antimônio estabelecido na Portaria 2914, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) é de 5 µg/L. O mesmo se aplica para água subterrânea destinada ao consumo humano, segundo a Resolução CONAMA 396 (2008).

O antimônio é um metaloide encontrado na crosta terrestre, que ocorre em diversos minerais. O antimônio é encontrado em baixas concentrações no ambiente e a sua emissão ocorre principalmente por atividade antropogênica.

A emissão natural ocorre por erupção vulcânica e incêndios florestais, e a antropogênica durante a queima de carvão em usinas de energia elétrica, incineração de resíduos, refino e fundição de minérios contendo Sb. No ar, o antimônio encontra-se ligado a pequenas partículas, que permanecem por muitos dias; a maior parte acumula-se no solo ligando-se fortemente a partículas contendo ferro, manganês ou alumínio. Atualmente a concentração do metal no ar é menor uma vez que a introdução de filtros para poeiras reduziu as emissões industriais. A abrasão do antimônio (e outros metais) de freios, pneus, superfícies das ruas e escapamento de veículos é a principal fonte de antimônio na poeira fina urbana. O metal pode ser transportado em rios e córregos por intemperismo do solo, uma vez que é um constituinte natural do solo, e por fontes antropogênicas.

O Sb tem baixa ocorrência em ambientes aquáticos, e as formas e processos químicos e bioquímicos que ocorrem nesses ambientes não são bem compreendidos. O antimônio pode ser reduzido e metilado por microrganismos de sedimentos anaeróbios, liberando compostos voláteis de antimônio metilado para a água. As formas solúveis de antimônio apresentam pouca mobilidade na água, enquanto as espécies solúveis são adsorvidas na argila e partículas do solo e sedimento. A população geral está exposta a baixos níveis de antimônio na água e alimentos. Os sais solúveis de antimônio, após ingresso oral, exercem forte efeito irritante na mucosa gástrica e provocam vômito, além de cólica abdominal, diarreia e toxicidade cardíaca. A toxicidade do antimônio é função de sua solubilidade em água e estado de oxidação das espécies.

A principal fonte de antimônio na água potável parece ser a dissolução do metal em encanamentos e acessórios. A forma do antimônio na água potável é o fator determinante da sua toxicidade e, aparentemente, o antimônio lixiviado de materiais contendo o metal está na forma antimônio (V) oxo-ânion, que é menos tóxico (CETESB, 2014).

4.11 Resíduos Agrotóxicos.

Segundo Veiga (2007), a venda de agrotóxicos no Brasil vem crescendo e tornando o país um dos maiores consumidores de agrotóxicos no mundo. Isso por conta do aumento da população mundial e conseqüentemente da demanda crescente de alimento, justificando o uso de grandes quantidades de agrotóxicos nas áreas agrícolas para compensar problemas do processo produtivo (SANCHES *et al.*, 2003; LARA e BATISTA, 1992). Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola – SINDAG, o produtor brasileiro despendeu cerca de R\$ 6,6 bilhões com defensivos agrícolas em 2010, o correspondente a 8% a mais que no ano de 2009.

Para obter maior produtividade no setor agrícola, o que não quer dizer necessariamente maior qualidade também, o uso de agrotóxicos, que são moléculas sintetizadas, afeta determinadas reações bioquímicas de insetos, microrganismos, animais e plantas a qual se quer controlar ou eliminar (SPADOTTO *et al.*, 2004). A utilização desses agrotóxicos causa danos à saúde humana e ao meio ambiente por estes poderem ser agentes mutagênicos, teratogênicos, carcinogênicos, e afetar a reprodução de mamíferos. Na atividade rural cerca de 12 milhões de trabalhadores seriam expostos diariamente aos agrotóxicos (VEIGA, 2007).

Se por um lado a utilização desses agrotóxicos visa gerar benefícios, por outro, é responsável pela contaminação do solo, da água e dos alimentos, representando grande ameaça ao meio ambiente e conseqüentemente aos seres vivos que se beneficiam da produção agrícola e fazem uso dos recursos hídricos.

No meio ambiente, o controle de pragas na agricultura pelo uso de agrotóxicos deve ser moderado e com cautela, pois o contrário pode causar contaminação e desertificação do solo. O uso desordenado de agrotóxicos pode causar impactos em recursos naturais irreversíveis, promovendo à ocorrência de desequilíbrios biológicos e ecológicos, entre eles a contaminação de lençóis freáticos e aquíferos (JARDIM, ANDRADE E QUEIROZ, 2009).

Muitos contaminantes orgânicos, neste caso, alguns agrotóxicos, apresentam baixa solubilidade em água e alta afinidade por matéria ou fase orgânica, classificando-os como contaminantes orgânicos hidrofóbicos (COHs), caracterizados principalmente por altos valores de constantes octanol-água (Kow) (CHI e AMY, 2004).

A adsorção é um processo importante que controla a distribuição, transporte e destino de compostos químicos no ambiente aquático (YOU, JIA E PAN, 2010).

5. METODOLOGIA

Em geral, os estudos relacionados à qualidade das águas, sejam superficiais ou subterrâneas, contemplam avaliar as concentrações relativas dos constituintes presentes e os respectivos padrões de variabilidade, no sentido de fazer prognósticos, reconhecer tendências de contaminações ou, ainda, de investigar danos.

A escolha dos parâmetros a serem analisados nas amostras de água, tanto superficiais quanto subterrâneas neste trabalho, está embasada em modelos de Índices de Qualidade de Água (IQA), demanda de uso e consumo e relações quanto à questão de intrusão salina e vulnerabilidade, principalmente por se tratar de uma região litorânea, embora ainda não tão explorada, mas que apresenta grandes perspectivas de exploração industrial e crescimento urbano.

5.1 Definição dos pontos de amostragem

A definição dos pontos de coleta desse trabalho foi realizada a partir do reconhecimento da área de estudo, considerando acesso, utilização de água e proximidade com lagoas e córregos.

Estando sujeitas a variações sazonais, as variáveis físico-químicas das águas foram estudadas em diferentes períodos, ao longo de dois anos, jul/2010 a jul/2012, para conhecer as possíveis alterações dos parâmetros observados e as causas dessas alterações.

As etapas de campo abrangeram períodos de seca e períodos de cheia, entre julho de 2010 a dezembro de 2013, num total de nove (9) campanhas de trabalho de campo: jul/2010, jan/2011, mai/2011, nov/2011, abr/2012, jul/2012, out/2012, dez/2013 e jun/2014. Entretanto, não foi possível manter a constância da coleta e análises das amostras em alguns pontos, devido a fatores que impediram o procedimento, tais como: o morador não se encontrava na residência durante os dias de trabalho de campo, bomba de poço avariada, presença de banhista dentro de

cacimba, presença de matéria orgânica e restos de animais na água, ou no caso das amostras de água superficial, dificuldade de acesso.

A Tabela 17 apresenta a relação das amostras em cada uma das campanhas de trabalho de campo:

Tabela 17 - Quantidade de amostras por campanhas de trabalho de campo.

CAMPO	AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUPERFICIAL	AMOSTRAGEM TOTAL POR CAMPANHA
1 (Jul/2010)	21	13	34
2 (Jan/2011)	26	15	41
3 (Mai/2011)	25	15	40
4 (Nov/2011)	25	14	39
5 (Jan/2012)	25	15	40
6 (Abr/2012)	21	-	21
7 (Jul/2012)	34	11	45
8 (Dez/2013)	6	-	6
9 (Jun/2014)	6	-	6

Fonte: A autora.

A sexta campanha teve como foco a pesquisa de novos pontos com objetivo de aumentar a cobertura da área estudada. Sendo coletadas amostras em 21 novos pontos de água subterrânea. Contudo, somente nove (9) pontos foram selecionados para dar continuidade à amostragem. Isso devido à proximidade geográfica com outros pontos já existentes e a ausência de variações significativas em relação aos demais pontos. A sétima campanha contou com os pontos de coleta já existentes desde o primeiro trabalho de campo acrescidos dos nove pontos da sexta campanha. E a oitava e a nona campanhas de trabalho de campo foram realizadas apenas para coleta de amostras para análises de elementos agrotóxicos, isso porque nas campanhas anteriores, os resultados das análises para alguns dos elementos traço apresentaram valores consideráveis a ponto de investigar se estes poderiam ser de origem antrópica devido o uso de agrotóxicos.

Os procedimentos dos métodos empregados nas análises estão descritos no *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2001). Quando não, seguem a descrição da referência.

5.2 Recarga do Aquífero

A recarga do aquífero é entendida como sendo o total de água que, ao ser aplicada na superfície do terreno, infiltra e chega ao aquífero. Considera-se a média anual de infiltração, sem levar em consideração elementos como distribuição, intensidade ou duração dos eventos de recarga (MENESES, 2007).

O balanço hídrico é um balanço de massa. A lâmina precipitada (P), pode ser dividida em três parcelas: o escoamento superficial (ES), a evapotranspiração real (ETR) e a infiltração total (recarga potencial – I_T), podendo a expressão geral do balanço hídrico médio ser escrita como segue a equação:

$$P = ES + ETR + I_T \quad (08)$$

De acordo com Castany (1975), a infiltração total (I_T) inclui a água retida no solo (I_r) e a água que percola no subsolo, denominada infiltração eficaz (I_e), que corresponde à parcela de precipitação que alimenta a reserva subterrânea. Esta parcela está diretamente relacionada com as flutuações da superfície potenciométrica, que refletem a variação das reservas de água subterrâneas.

Ainda de acordo com Castany (1975), no caso do balanço hídrico de aquíferos aluvionares, geralmente o escoamento superficial (ES) é insignificante por conta da morfologia do solo. No caso da área estudada, uma parte infiltra e a outra evapora. Estando estas contabilizadas no balanço e, portanto, pode-se omitir o escoamento superficial (ES) e escrever a Equação 09 para obtenção da infiltração eficaz:

$$I_e = PPT - ETR \quad (09)$$

Para se calcular a infiltração eficaz (I_e), é necessário conhecer a evapotranspiração potencial (ETP). A fórmula de Thornthwaite (1984) considera a altura pluviométrica e a temperatura, fornecendo a evapotranspiração potencial, por mês, em milímetros, através da Equação:

$$ETP = 16 K (10T / I)^a \quad (10)$$

Onde,

T = temperatura média mensal em °C

I = índice térmico anual (mm)

K = fator de correção (depende da latitude)

a = função do índice térmico

Considerou-se uma série histórica de precipitação de 25 anos (1989 -2013), obtida a partir de estações de observação e coleta de dados instalados na área, chamadas de postos, operadas pela FUNCEME (Posto Itarema, Posto Patos e Posto Carvoeiro). A temperatura, como não havia registros históricos, o valor médio foi obtido por regressão múltipla.

A variável “K” corresponde a um fator de correção da evapotranspiração potencial mensal, para ajustá-la ao número de dias do mês e à exposição ao brilho solar e, que varia para distintos valores de latitude (Villela; Mattos, 1975).

O termo \underline{a} é calculado a partir do índice térmico pela Equação:

$$a = 0,49239 + (0,01792 \times I_{\text{anual}}) - (771 \times 10^{-7} \times (I_{\text{anual}})^2) + (675 \times 10^{-9} \times (I_{\text{anual}})^3) \quad (11)$$

O índice térmico anual é calculado pela equação:

$$I = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad (12)$$

Onde $I_i = (T_i/5)^{1,5}$, índice térmico mensal é calculado pela equação:

$$I_m = (T/5)^{1,5} \quad (13)$$

Onde T é a temperatura média da série histórica utilizada.

A estimativa da evapotranspiração real (ETR) é determinada a partir do resíduo das perdas deduzidas da precipitação e da evapotranspiração potencial.

Segundo Vasconcelos (1999), a evapotranspiração real (ETR) é o termo mais importante, porém o menos conhecido, de um balanço hídrico.

De acordo com Vasconcelos (1996), para a determinação da evapotranspiração real, o método proposto por Thornthwaite (1948) é considerado o

que melhor se adapta para áreas com características climáticas que apresentam alternância de períodos secos e chuvosos bem diferenciados. No caso de aquíferos livres, especialmente em regiões de clima semiárido, constitui-se no principal termo de perda de água.

5.3 Estudo da Vulnerabilidade – DRASTIC

O estudo da vulnerabilidade realizou-se com base no método DRASTIC, segundo Aller *et al.* (1987), o qual leva em consideração, a soma ponderada de valores correspondentes aos fatores hidrogeológicos: profundidade do nível estático (D), taxa de recarga (R), material do aquífero (A), tipo de solo (S), topografia (T), impacto da zona vadosa (I) e condutividade (C).

● Profundidade do nível estático (D):

Obteve-se a profundidade do nível estático de 33 dos 38 poços estudados, utilizando-se um medidor de nível, com sinal sonoro, marca Altronic (Figura 14). Para os outros 5 poços o acesso para medida de nível estático estava bloqueado, por se tratarem de bombas manuais com aberturas em formatos curvos, impossibilitando a entrada do cabo.

Foram observadas medidas de nível estático nas 7 (sete) primeiras campanhas (de nove) de trabalho de campo.

Figura 14- Foto de medidor de nível estático utilizado em campo.



Fonte: A autora.

O mapa de profundidade do lençol freático foi gerado com base nos valores médios de profundidade do nível estático, interpolados no Programa SURFER, utilizando o método da Krigagem.

● **Taxa de recarga (R):**

Na área estudada, região de Itarema, a recarga se dá principalmente por conta da precipitação pluviométrica. Sendo assim, optou-se por utilizar equações que estimam a recarga através da relação entre a precipitação e a evapotranspiração, conforme descrito no item 5.2, equações 10, 11, 12, 13, 14 e 15.

● **Material do aquífero (A):**

O parâmetro material do aquífero levou em consideração a constituição litológica da região responsável pelo armazenamento de água subterrânea, com base nas informações do Mapa Geológico da CPRM, escala 1:500.000 (Cavalcante *et al.*, 2003).

● **Tipo de solo (S):**

Para a construção de mapa de Solos, foram consideradas informações dos Mapas de solos da Embrapa dos municípios de Itarema e Acaraú, extraídos do Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará, 1973 (Convênio: MA/DNPEA-SUDENE/DNR).

● **Topografia (T):**

Primeiramente foi obtido o mapa de declividade a partir do modelo digital de terreno (MDT) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) – NASA, disponíveis no Setor de imagens da CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Foram extraídas do MDT as informações XYZ que permitiram uma nova modelagem da área estudada no software SURFER e conseqüentemente o mapa de declividade associado.

A partir da declividade da área e da digitalização dos dados, foram obtidas as classes que indicaram a inclinação do terreno em percentuais (%) que evidenciam áreas com maiores riscos de erosão e perda de solos.

● **Impacto da zona vadosa (I):**

Na área de estudo, o material da zona vadosa foi definido com base na correlação entre a geologia de subsuperfície da zona de vadoza e os perfis geológicos de poços monitorados, obtidos no SIAGAS (CPRM). O mapa da geologia do município de Itarema foi obtido a partir do Mapa Geológico do Estado do Ceará da CPRM (Cavalcante *et al.*, 2003). Com relação às secções geológicas, as unidades foram codificadas de acordo com o sistema de avaliação do Índice DRASTIC.

● **Condutividade hidráulica (C):**

A condutividade hidráulica foi determinada a partir das informações contidas em FEITOSA *et al.*, (2008). Nesse foram observados os dados de condutividade hidráulica para área de sedimentos consolidados e sedimentos inconsolidados. Segundo o autor, áreas com sedimentos consolidados possuem condutividade hidráulica de 10^{-10} m/s.

No domínio dos sedimentos consolidados, as rochas mais importantes como aquíferos são aquelas que apresentam de regular a boa permeabilidade. As rochas pouco permeáveis como arenitos muito argiloso e siltitos, comportam-se como aquíferos, devido à sua baixa capacidade de transmissão de água. Esses arenitos normalmente apresentam porosidades mais baixas que as areias pouco consolidadas, devido à compactação e cimentação de parte dos vazios existentes entre os grãos (FEITOSA *et al.*, 2008. p. 64).

E áreas com sedimentos inconsolidados, o autor apresenta na Tabela 18 os seguintes valores de condutividade hidráulica. Dados esses que foram utilizados para os cálculos e caracterização do parâmetro.

TABELA 18 - Faixa de valores de condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados, (adaptado de Fetter, 1988).

Material	Condutividade Hidraulica (cm/s)
Argila	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte; Silte arenoso	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia argilosa	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa; Areia fina	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areia bem distribuída	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho bem distribuído	$10^{-2} - 10^0$

Fonte: Feitosa *et al.*, (2008). (Adaptado de Fetter, 1988).

5.4 Descrição dos parâmetros investigados

Os parâmetros investigados foram: temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), salinidade, nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), ferro total (Fe^{+3}), silicato (SiO_2), alcalinidade, nitrogênio amoniacal ($\text{N-NH}_{3,4}$), sódio (Na^+), potássio (K^+), dureza total (CaCO_3), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), cloreto (Cl^-), fluoreto (F^-), sulfato (SO_4^{-2}), fosfato (PO_4^{-3}), brometo (Br^-), fósforo total (PT), nitrogênio total (NT), turbidez, sólidos totais suspensos, coliformes totais e coliforme fecal, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), isótopos de oxigênio 18, e metais (elementos traços) - Cd, Pb, Al, Ba, Mn, Cu, Ni, Co, Sb e Cr.

A amostragem foi realizada através de coletores (tipo *bailer*), armazenadas em frascos de polietileno e vidros âmbar (para análise de nitrogênio amoniacal) e acondicionadas, a maioria, a 4°C para preservação das amostras.

As análises químicas foram realizadas no menor prazo possível de tempo, uma vez que, as concentrações dos constituintes, que fazem parte do objetivo desse estudo, estão sujeitas a diversas modificações. Entre essas modificações, pode-se citar as alterações no pH por perda de gases dissolvidos, ou absorção de gases da atmosfera e mudanças no estado de oxidação de elementos, como por exemplo Fe^{+2} . Por tais motivos, e outros mais, inclusive citados por Mestrinho (2006), parâmetros como temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido foram determinados ainda em campo.

5.5 Hidroquímica

Parâmetros observados “*in situ*”

As amostragens foram realizadas entre 07:00h e 17:00h. Primeiramente foram observados e registrados os seguintes parâmetros, “*in situ*”, obtidos pela sonda multiparamétrica, YSI INCORPORATED, MODELO 556 MPS: temperatura (°C), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (mS/cm), oxigênio dissolvido (mg/L e %) e salinidade. Contudo, o pH e a condutividade elétrica foram repetidos em laboratório, após atingirem a temperatura ambiente de 25°C.

pH e condutividade elétrica

Estes parâmetros também foram analisados em laboratório, empregando o método eletrométrico, utilizando um pHmetro de bancada de marca ANALYSER, modelo pH 300 e condutivímetro marca DIGIMED, modelo DM-3. Observou-se que foi possível manter as características observadas em campo, para esses dois parâmetros, seguindo corretamente a forma de acondicionamento.

Nitrato -N-NO₃⁻ e Nitrito -N-NO₂⁻

Método da coluna redutora de cádmio. Passando a amostra através de uma coluna redutora de cádmio/cobre, onde os íons nitrato foram reduzidos a nitrito, obtendo-se NO₃⁻ + NO₂⁻. Por subtração da concentração de nitrito, que foi determinada pelo método da diazotação, foi obtida a concentração em nitrato.

Nitrogênio Amoniacal - N-NH_{3,4}

Com base no método de Koroleff (1969) *apud* Niencheski (2006), que consiste na formação de um composto de cor azul formado pela reação da amônia com hipoclorito e fenol, sendo estável por mais de 24h. O hipoclorito foi substituído por dicloisocianurato de potássio, conforme Aminot e Chaussepied (1983). Os reagentes R1 (reagente de fenol) e R2 (reagente de citrato de sódio) foram

adicionados imediatamente após a coleta, em campo. Estas foram mantidas ao abrigo da luz até a chegada ao Laboratório de Geoquímica Ambiental, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, para leitura da absorvância a 630 nm.

Alcalinidade Total

Método volumétrico, por indicadores (fenolftaleína e metilorange). As medidas de alcalinidade foram utilizadas para observar as concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}).

Dureza do Cálcio – Ca^{+2}

Método volumétrico com EDTA, ácido etilendiamino tetra-acético, usando solução tampão de pH 12 e indicador Murexida. Os resultados das análises são usados na quantificação de Cálcio (Ca^{2+}).

Dureza Total

Método volumétrico com EDTA, usando solução tampão de pH 10 e indicador Eriocromo T. A partir das observações de dureza total e dureza do cálcio, obteve-se, por diferença, a concentração de magnésio (Mg^{2+}).

Cloreto – Cl^-

Método de Mohr, o qual consiste na precipitação quantitativa do íon cloreto pelo titulante nitrato de prata na presença de cromato de potássio 5% como indicador.

Sódio e Potássio – Na^+ e K^+

Determinados por fotometria de chama, através da emissão de radiação característica decorrente de excitação de seus átomos para o estado fundamental. O fotômetro usado foi o de marca Analyser, modelo 910.

Sulfato – SO_4^{2-}

Método turbidimétrico, o qual consiste na precipitação do íon sulfato em meio ácido com cloreto de bário. A absorbância da suspensão de sulfato de bário foi lida no espectrofotômetro de marca Thermo Scientific, modelo Evolution 300 UV-VIS, o qual foi também usado nas análises de ferro, nitrato, nitrito, sílica, fosfato, nitrogênio total, fósforo total.

Ferro Total – $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$

Método da ortofenantrolina, o qual se baseia na redução do ferro a íon ferroso (Fe^{2+}) por ebulição em meio ácido pela ação de um agente redutor, para determinação de ferro total ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$).

Sílica – SiO_2

A sílica solúvel (reativa) foi determinada pelo método molibdosilicato. O molibdato de amônio em meio ácido reage com a sílica e fosfatos produzindo heteropoliácidos. O ácido oxálico é adicionado para destruir o ácido molibdofosfórico.

Fluoreto - F^-

Empregado o método do eletrodo de íon seletivo. O eletrodo de fluoreto usado foi o de marca Thermo Orion, acoplado a um potenciômetro de marca Thermo Orion 4 Star.

Fosfato - P-PO_4^{3-}

Método colorimétrico, usando solução mix a partir das soluções de ácido sulfúrico, tartarato de antimônio de potássio, molibdato de amônia e ácido ascórbico. A solução de tartarato de antimônio de potássio reage em meio ácido com o ortofosfato para formar o ácido fosfomolibdico para intensificar a coloração do azul de molibdênio com o ácido ascórbico.

Brometo – Br

Método colorimétrico utilizando Vermelho de fenol, Cloramina T e tiosulfato de sódio.

A seguir o Quadro 03 com o resumo dos parâmetros analisados no estudo hidroquímico e o método aplicado.

Quadro 03 – Resumo dos parâmetros analisados no estudo hidroquímico e o método aplicado.

Medida / Análise	Método aplicado
Alcalinidade Total (CaCO ₃)	Titrimétrico (2320B)
Brometo (Br)	Colorimétrico com vermelho de fenol (4500B)
Cloreto (Cl ⁻)	Argentométrico (Mohr) (4500B)
Condutividade elétrica (corrente elétrica)	Eletrométrico (2510B)
Dureza do cálcio (Ca ⁺²)	Titrimétrico com EDTA (2340B)
Dureza do magnésio (Mg ⁺²)	Magnésio por cálculo (2340B)
Ferro Total (Fe ⁺² e Fe ⁺³)	Ortofenantrolina (45000B)
Fluoreto (F ⁻)	Eletrodo de íon seletivo (4500C)
Fosfato (P-PO ₄ ⁻³)	Colorimétrico com solução mix (4500E)
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	Coluna redutora de Cádmio (4500E)
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	Colorimétrico (4500B)
Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃ ,4)	Aminot, 1983 (417C)
pH (H ⁺)	Eletrométrico (4500B)
Sílica (SiO ₂)	Molibdosilicato (4500C)
Sódio (Na ⁺) e Potássio (K ⁺)	Fotometria de Chama (3500B)
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	Turbidimétrico (4500E)
T °C, Oxigênio Dissolvido e Salinidade	Sonda Multiparamétrica

Fonte: A autora.

5.5.1 Balanço Iônico

É de grande importância para os resultados da pesquisa hidroquímica uma verificação da acuracidade das análises físico-químicas, uma vez que os solutos maiores na água subterrânea são espécies carregadas positivamente e negativamente, devendo, portanto, a água ser eletricamente balanceada.

Para isto foi utilizada uma fórmula empírica para cálculo do balanço iônico, onde os valores dos íons dados em mg.L⁻¹ foram convertidos em meq.L⁻¹.

O balanço iônico consiste na comparação da soma das cargas positivas com a soma das cargas negativas dos íons, portanto é utilizado para avaliar a qualidade das análises químicas realizadas em laboratório, a partir daí selecionam-se as melhores. Entretanto, além dos erros cometidos no laboratório, existe a possibilidade também de ocorrer precipitações de minerais no recipiente da amostra coletada, causando um desequilíbrio iônico.

A equação 14 foi aplicada para calcular o erro, atribuindo-se um erro máximo aceitável de 10%.

$$\text{Erro (\%)} = \frac{\Sigma(\text{Cátions}, \frac{\text{meq}}{\text{L}}) - \Sigma(\text{Ânions}, \frac{\text{meq}}{\text{L}})}{\Sigma(\text{Cátions}, \frac{\text{meq}}{\text{L}}) + \Sigma(\text{Ânions}, \frac{\text{meq}}{\text{L}})} \times 100 \quad (14)$$

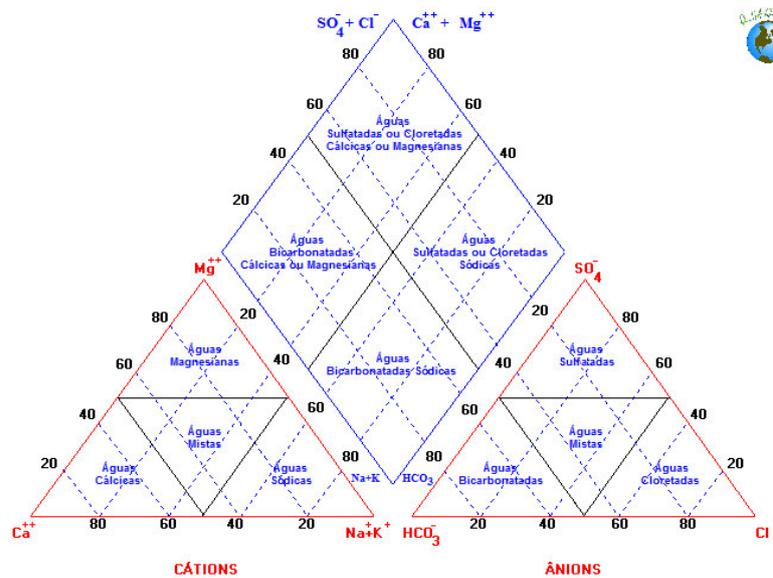
O Programa Qualigraf foi utilizado para classificação das águas a partir dos dados das análises das amostras no Diagrama de Piper.

5.5.2 Diagrama de Piper

Com base nos cátions e ânions dominantes, os íons maiores nessas águas foram usados para classificá-las, podendo ser cloretadas sódicas, bicarbonatadas cálcicas, etc. Além da classificação, foram comparados os distintos tipos de água subterrânea com os de água superficial estudados nesse trabalho.

Para a classificação das águas, foi usado o método Diagrama de *Piper*. Neste método, transformam-se as concentrações de cada íon, expressos em meq/L, em percentagem do total de ânions e do total de cátions, separadamente. A Figura 15 a seguir apresenta o Diagrama de *Piper*.

Figura 15 – Diagrama de Piper.



Fonte: Programa QUALIGRAF (MÖBUS, 2003).

5.6 Índice de Qualidade de Águas – IQA

A amostragem e armazenamento para os parâmetros nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduos totais foram realizados utilizando frascos de polietileno de 500 mL e acondicionadas a 04 °C para preservação das amostras; a amostragem e armazenamento para o parâmetro DBO foram realizados utilizando frascos de polietileno de 5.000 mL e também acondicionadas a 04 °C para preservação das amostras; a amostragem e armazenamento para o parâmetro coliformes fecais foram realizadas utilizando frascos de polietileno de 100 mL e acondicionadas a 20 °C para preservação das amostras.

Entre as formulações existentes para a agregação dos dados, talvez a mais simples e comum seja a média ponderada da qualidade individual de cada parâmetro associada ao peso relativo desse parâmetro, refletindo sua importância na variabilidade total. E é desta forma que o IQA proposto pela CETESB é calculado. Logo, o IQA será calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice, de acordo com a Equação 15 a seguir descrita.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (15)$$

Em que:

IQA: índice de qualidade de água, um número adimensional entre 0 e 100;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, atribuído em função da sua importância para a explicação da variabilidade global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (16)$$

sendo, n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, representado no Quadro 04.

Quadro 04 – Classificação do Índice de Qualidade de Água.

Categoria	Ponderação
Ótima	$80 \leq IQA \leq 100$
Boa	$52 \leq IQA < 79$
Regular	$37 \leq IQA < 51$
Ruim	$20 \leq IQA < 36$
Péssima	$IQA < 19$

Fonte: CETESB (2012).

As análises foram realizadas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia da UFC. Os procedimentos dos métodos empregados nas

análises também estão descritos no *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2001), quando não, segue a descrição da referencia usada.

Fósforo total – PT

Método colorimétrico. A oxidação de compostos fosforados para determinação de fósforo total ocorre em meio ácido. O tratamento inicia-se com a digestão em meio ácido, em bloco digestor. Após a digestão, segue procedimento para determinação de fósforo. (GRASSHOFF *et al.*, 1983).

Nitrogênio total – NT

Método colorimétrico. A oxidação de compostos nitrogenados para determinação de nitrogênio total corre em meio alcalino, com uso de persulfato de hidróxido de sódio. Após a digestão, segue procedimento para nitrato. (GRASSHOFF *et al.*, 1983).

Turbidez

A turbidez das amostras de água foi medida com Turbidímetro de marca Thermo Orion, modelo AQ2010. Os resultados são expressos em UNT (unidade nefelométrica de turbidez).

Resíduos totais

Método de secagem de sólidos totais. Amostras de água adicionadas a cápsulas de porcelana previamente taradas. Evaporadas em banho-maria (103 – 105 °C). A diferença da tara pelo peso da amostra seca é o teor de material suspenso, expresso em g.

Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

Determinada pelo método iodométrico, a DBO foi realizada medindo o oxigênio inicial (primeiro dia de análise) e final (após 05 dias de incubação a 20 °C) de amostras puras e diluídas a 50 %.

Coliformes Totais e Fecais

Para estudo bacteriológico, seguiram-se as metodologias da contagem em cartela descrita por FUNASA (2006) e Colikit (www.kitlabor.com.br), sendo este último, validado frente a APHA/AWWA/WEF. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental, na Universidade de Fortaleza, UNIFOR e no Laboratório de Geoquímica Ambiental, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, respectivamente.

Adaptando o método descrito por FUNASA (2006), ao iniciar os trabalhos de laboratório, as amostras destinadas ao estudo de coliformes totais e fecais foram encaminhadas ao Laboratório de Engenharia Ambiental da Universidade de Fortaleza, UNIFOR. Das amostras coletadas, foram transferidas para as cartelas estéreis 100 mL e adicionados 1 (um) frasconete, contendo substrato cromogênico, em cada amostra. Fechada a cartela, levemente agitada para dissolução do substrato. Incubada a 35 °C em estufa. Após período de incubação, observadas as que apresentaram coloração amarela, a qual indica presença de coliformes totais, estas foram submetidas à luz ultravioleta (365 nm), caso haja fluorescência azul, confirmada a presença de coliformes fecais. O resultado pode ser expresso como presença ou ausência de coliformes totais e fecais ou ainda por NMP – número mais provável.

O método de contagem de UFC (unidades formadoras de colônias) utilizando material do tipo Colikit, em laboratório, inicia-se filtrando 100 mL das amostras de água utilizando membranas filtrantes, de éster de celulose, com 0,45 µm de porosidade e 47 mm de diâmetro. As bactérias presentes ficam retidas na superfície da membrana. Esta membrana é transferida para um meio de cultura nutritivo, seletivo e diferencial e incubada a 36 °C por 24 horas. Após o período de incubação, faz-se a contagem de coliformes totais (presença de UFCs – unidades formadoras de colônias, representadas por pontos de coloração verdes à azul), com

auxílio de uma lupa. Logo em seguida, submete-se a placa contendo a membrana à fluorescência ultravioleta para contagem de UFCs de coliformes fecais. As que apresentarem fluorescência, representam resultado positivo para coliformes fecais. Procedimento realizado no Laboratório de Geoquímica Ambiental.

5.7 Elementos traço

Logo após o registro dos parâmetros da sonda multiparamétrica em planilha de campo, deu-se início o processo de coleta de amostras. As amostras destinadas às análises de metais (elementos traço) foram armazenadas em frascos de polipropileno e em campo, após a coleta, foram acidificadas com HNO_3 até $\text{pH} < 2$ e refrigeradas. Em laboratório foram filtradas sobre membrana de $0,45 \mu\text{m}$ e mantida sob refrigeração até o momento da análise.

A concentração dos elementos traço Ba, Al, Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, Cr e Sb foi determinada pelo método da espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite (EAA-AET), o qual por apresentar alta sensibilidade e baixo limite de detecção é apropriado para medir baixas concentrações de metais ($0,01 - 10 \mu\text{g/L}$).

O espectrômetro usado foi o de marca Thermo Scientific S Series com forno de grafite integrado, modelo GFS 97, software Solaar e trocador de calor (Recirculating Chillers). As soluções padrão foram preparadas a partir de padrões comerciais, de marca Specsol, por meio de diluição em água purificada por osmose reversa, assim como as amostras e branco. O material utilizado foi descontaminado com $\text{HNO}_3(1:1)$. No amostrador automático foram colocadas as amostras, branco e solução padrão, sendo preparadas automaticamente as soluções de calibração, diluição da amostra ou reconcentração.

No teste de recuperação do analito ($R_{ec} = \text{Conc. determinada} / \text{Conc. esperada}$) para verificar a interferência da matriz salobra (amostras com salinidade entre 1 e 3 g/L), o intervalo de recuperação foi entre 90 e 115 % quando trabalhou-se com

amostras previamente diluídas 10 vezes. Segundo Motta (2012), recuperação de 80 a 120 % é considerada satisfatória.

O Quadro 05 mostra as condições de operação do espectrômetro e a Tabela 19 os limites de detecção e de quantificação, os quais ficaram abaixo dos valores máximos permitidos (VMP) tanto para os padrões de classificação de águas naturais estabelecidos pela Resolução nº 357 do CONAMA como para os padrões de potabilidade da Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde.

Quadro 05 - Condições de operação do espectrofotômetro de absorção atômica - EAA-FG – empregando tubo de grafite como atomizador e argônio como gás de arrasto.

Elemento	Temperatura de Pirólise (°C)	Temperatura de Atomização (°C)	Gás	Cubeta
Al	1.500	2.300	Argônio 5.0	Tubo de grafite revestido com plataforma integrada
Ba	1.600	2.750		
Cd	300	900		
Cu	850	2.100		
PB	800	1.200		
Mn	900	1.800		
Ni	1.000	2.500		
Co	1.100	2.100		
Cr	1.200	2.500		
Sb	800	2.300		

Fonte: A autora.

Tabela 19 – Curvas analíticas e limites de detecção e quantificação de elementos-traço.

Analito	Equação da Curva Analítica	Faixa Linear (µg/L)	Limite de Detecção (LD)	Limite de Quantificação (LQ)	VMP (µg/L)	
					Portaria 2914/11	CONAMA 357/05
Al	$Y = 0,0048x + 0,129$ $R^2 = 0,9999$	0 - 200	23,5	78,2	200	200
Ba	$y = 0,0013x + 0,007$ $R^2 = 0,9998$	0 - 150	4,1	13,7	700	700
Cd	$Y = 0,0096x + 0,0007$ $R^2 = 0,9972$	0 - 10	1,3	4,2	5	1
Cu	$y = 0,0052x - 0,0066$ $R^2 = 0,9985$	0 - 100	9,3	31,1	2000	9

Continuação Tabela 19.

Pb	$y = 0,0263x + 0,1904$ $R^2 = 0,9823$	0 - 50	1,4	4,5	10	10
Mn	$y = 0,0363x + 0,0404$ $R^2 = 0,9949$	0 - 20	1,0	3,3	100	100
Ni	$y = 0,0035x + 0,013$ $R^2 = 0,9999$	0 - 100	0,9	2,9	70	25
Co	$y = 0,0061x + 0,0036$ $R^2 = 0,9999$	0 - 30	0,87	2,93	-	50
Cr	$y = 0,0134x + 0,0212$ $R^2 = 0,9958$	0 - 50	0,24	0,82	50	50
Sb	$y = 0,0046x + 0,0351$ $R^2 = 0,9827$	0 - 100	1,23	4,1	5	5

Fonte: A autora.

5.8 Isótopos

As amostras destinadas às análises de isótopos foram coletadas em frascos com eficaz vedação para evitar evaporação e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba - SP. Foi utilizado o método *Cavity Ring-Down Spectroscopy* (CRDS). Os valores de δ (‰) foram obtidos em relação ao padrão VSMOW (*Vienna Standard Mean Ocean Water*), fornecido pela IAEA/Vienna, com um erro de aproximadamente $\pm 0,2$ ‰ para δD e $\pm 0,07$ ‰ para $\delta^{18}O$.

5.9 Resíduos agrotóxicos

As amostras destinadas às análises de resíduos agrotóxicos foram coletadas em frascos de vidro escuro, conforme orientação do método de coleta, para preservar as características destinadas a esta análise. Após coleta, as amostras foram encaminhadas para o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), Laboratório de análises e resíduos de agrotóxicos e bebidas alcoólicas (LABTOX). O método aplicado consta nos documentos do Sistema de Gestão da Qualidade do LabTox, POP TC 014, ver 07. O escopo de Acreditação (Cgcre/inmetro CRL 153) está disponível em www.inmetro.gov.br.

6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Hidroquímica

6.1.1 Águas subterrâneas

pH

As águas dos poços em Itarema apresentam pH entre 5,2 e 8,0 (julho/2010), 5,8 e 8,7 (janeiro/2011), 5,3 e 8,1 (maio/2011), 4,5 e 8,9 (novembro/2011), 4,2 e 8,4 (janeiro/2012) e 4,4 e 7,7 (julho/2012). As médias mensais foram de 6,6, 7,3, 6,7, 6,7, 6,4 e 5,9 para os respectivos períodos (Tabela 20).

Tabela 20 – pH nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Amostra	pH						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
PT01	7,2	7,4	7,6	7,6	7,9	6,3	7,5	0,5
PT 02	6,5	7,4	6,4	8,4	7,7	NC	7,4	0,8
PT04	7,3	7,2	NC	NC	NC	NC	7,3	0,1
PT05	6,9	8,1	7,5	7,7	8,0	NC	7,7	0,5
PT06	6,0	6,1	6,0	4,6	4,2	5,4	5,7	0,8
PT07	7,0	6,9	5,7	5,3	6,2	5,5	6,0	0,7
PT08	6,5	6,3	6,1	4,6	4,3	5,4	5,8	0,9
PT09	6,0	6,3	6,3	4,7	6,0	5,3	6,0	0,6
PT10	6,6	6,8	6,5	4,8	5,9	6,1	6,3	0,7
PT11	5,2	5,9	5,8	5,1	5,5	4,5	5,4	0,5
PT12	5,7	6,1	5,8	5,2	6,2	4,6	5,7	0,6
PT13	6,7	7,8	6,3	8,7	6,5	6,4	6,6	1,0
PT14	6,6	6,9	6,5	6,1	6,9	6,3	6,5	0,3
PT16	6,8	7,5	7,1	5,8	6,1	5,4	6,4	0,8
PT17	5,7	7,6	5,9	5,5	5,4	5,2	5,6	0,9
PT18	8,0	NC	7,9	8,9	7,2	7,8	7,9	0,6
PT19	7,5	8,7	8,1	8,7	7,9	7,5	8,0	0,5
PT20	6,6	7,8	7,4	8,8	7,6	6,8	7,5	0,8
PT21	7,6	8,5	7,6	8,1	7,7	7,1	7,7	0,5
PT22	7,0	8,6	7,8	8,4	8,5	7,4	8,1	0,6
PT23	5,8	7,4	5,8	7,2	5,7	5,2	5,8	0,9
PT24	NC	8,0	7,6	7,3	5,8	5,8	7,3	1,0
PT25	NC	7,8	6,5	6,2	6,0	5,4	6,2	0,9
PT26	NC	7,6	5,3	5,4	5,8	4,9	5,4	1,1
PT27	NC	NC	6,1	8,2	5,9	NC	6,1	1,2
PT28	NC	NC	7,8	8,7	6,3	7,8	7,8	1,0
Média Mensal	6,6	7,3	6,7	6,8	6,5	6,0	6,7	0,4

Fonte: A autora.

Legenda. NC: Não Coletada.

O Gráfico 01 ilustra a variação do pH nas amostras de água de poços em Itarema.

Gráfico 01 – Média mensal do pH das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Observou-se uma pequena variação nos valores de pH para estas águas durante o período de estudo, podendo associá-los não só às variações nas precipitações (APENDICE 04, 05 e 06), mas principalmente ao efeito que o arraste dos constituintes da superfície do terreno que essas chuvas podem causar. Pois nos períodos de coleta de amostras em que houve registro de precipitação, considerados como períodos chuvosos, o pH, ao invés de manter-se menor, devido a um possível efeito de “recarga direta” de águas das chuvas, houve, pelo contrário, um suave aumento destes valores de pH. O que evidencia o poder da lixiviação do terreno mais que o efeito recarga direta.

O maior valor médio de pH (7,3) foi observado durante o mês de janeiro de 2011, onde a precipitação para este mês foi de 366 mm. Contudo, a precipitação de 245 mm durante o período de maio de 2011 não foi suficiente para manter esse valor de pH, onde observa-se que a partir da diminuição da precipitação, os valores de pH também começam a diminuir, até o valor mínimo de 6,0.

Condutividade elétrica

Ao valores médios de condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) das águas dos poços em Itarema durante o período de estudo variou de 69 a $737 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (julho/2010), de 59 a $1.916 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (janeiro/2011), de 69 a $1.402 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (maio/2011), de 82 a $2.556 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (novembro/2011), de 90 a $989 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (janeiro/2012) e de 95 a $1.504 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

¹ (julho/2012). As médias mensais foram de 330 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, 434 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, 402 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, 532 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, 397 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 417 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ para os respectivos períodos (Tabela 21).

Tabela 21 – Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) nas águas de poços em Itarema durante o período de coleta.

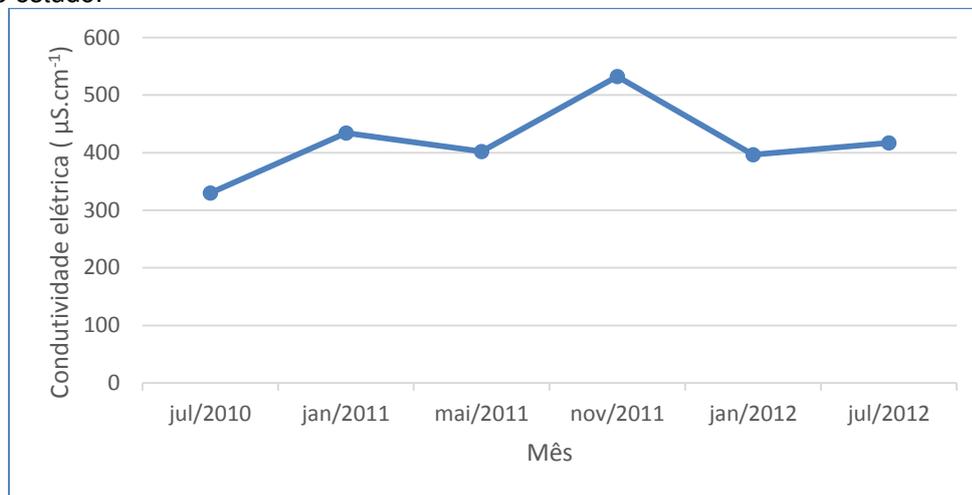
Amostra	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
PT01	461	572	515	840	689	561	567	137,2
PT 02	544	736	622	767	648	NC	648	89,9
PT04	537	630	NC	NC	NC	NC	584	65,8
PT05	167	431	593	576	379	NC	431	173,1
PT06	110	146	173	122	114	124	123	23,9
PT07	365	246	110	215	208	128	212	91,7
PT08	119	125	123	151	141	102	124	17,2
PT09	69	117	189	200	291	151	170	76,6
PT10	342	224	275	405	346	173	309	86,3
PT11	231	273	178	200	127	124	189	58,5
PT12	40	59	69	87	90	104	78	23,2
PT13	613	649	751	1.120	693	663	678	188,0
PT14	448	643	444	541	484	505	495	74,2
PT16	89	169	161	181	168	159	165	33,1
PT17	121	127	118	122	137	95	121	13,9
PT18	413	NC	493	679	695	912	679	194,7
PT19	581	798	809	935	989	974	872	154,2
PT20	737	553	734	1.101	770	701	735	181,0
PT21	385	448	330	542	746	593	495	151,9
PT22	448	1916	722	2.556	372	1504	1113	883,9
PT23	107	107	119	120	106	123	113	7,8
PT24	NC	152	162	82	199	149	152	42,3
PT25	NC	751	1.402	701	565	534	701	353,6
PT26	NC	587	525	539	524	507	525	30,5
PT27	NC	157	145	173	103	NC	151	29,9
PT28	NC	242	283	348	333	293	293	42,1
Média Mensal	330	434	402	532	397	417	410	66,0

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Observa-se que os meses em que a condutividade elétrica esteve mais elevada foram em novembro/2011 e julho/2012, considerados períodos de maior estiagem. Por outro lado, nos meses em que o efeito de recarga com água de chuva foi possível, por conta das precipitações, esses valores apresentaram-se em menor concentração. O que caracteriza o efeito da sazonalidade para este parâmetro. Havendo, portanto, diluição na concentração dos sais presentes no aquífero. A variação de 722 observado em maio de 2011 para 2.556 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ em novembro de 2011 pode ter sido devido a localização do ponto, o qual se encontra muito próximo à praia. Como novembro foi característico de estiagem, a água desse poço pode ter tido influência da água do mar. O mesmo raciocínio se aplica aos demais pontos com

saltos elevados observados em período de estiagem. A seguir, o gráfico ilustrativo com as variações de condutividade elétrica durante o período de estudo.

Gráfico 02 – Média mensal da Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Salinidade

Mantendo-se relativamente baixos, os valores de salinidade não apresentaram alterações significativas, durante o período de estudo, como observado em 80 % das amostras, com desvio padrão inferior a 1,0. Observa-se que em períodos de precipitação, como os meses de janeiro de 2011, maio de 2011 e janeiro de 2012, esses valores tendem a ser menores. A Tabela 22 apresenta os valores de salinidade nas águas de poços em Itarema.

Tabela 22 – Salinidade nas águas de poços em Itarema durante o período de coleta.

Amostra	Salinidade					Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12		
PT01	0,08	0,31	0,32	0,4	0,33	0,32	0,12
PT 02	0,37	0,4	0,33	0,36	0,52	0,40	0,07
PT04	0,46	4,5	NC	NC	NC	2,48	2,86
PT05	0,16	0,22	0,34	0,28	0,18	0,22	0,07
PT06	0,06	0,13	0,08	0,05	0,04	0,07	0,04
PT07	0,2	0,07	0,08	0,1	0,1	0,10	0,05
PT08	0,1	0,05	0,06	0,07	0,03	0,06	0,03
PT09	0,08	0,07	0,06	0,09	0,12	0,08	0,02
PT10	0,18	5,5	0,15	0,19	0,16	0,18	2,38
PT11	0,11	0,13	0,09	0,06	0,03	0,09	0,04
PT12	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	0,01
PT13	0,35	0,35	0,35	0,52	0,34	0,35	0,08
PT14	0,28	0,35	0,24	0,25	0,23	0,25	0,05

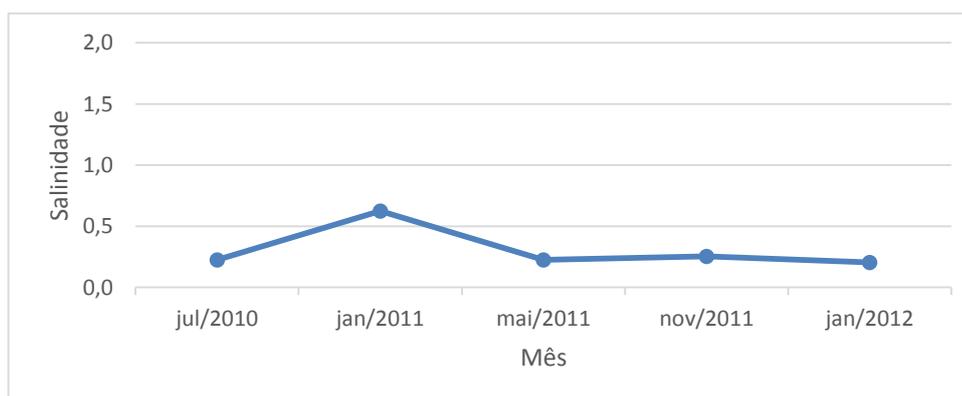
Continuação Tabela 22							
PT16	0,08	0,08	ANR	0,08	0,09	0,08	0,01
PT17	0,06	0,07	0,06	0,05	0,13	0,06	0,03
PT18	0,3	NC	0,29	0,31	0,34	0,31	14,38
PT19	0,44	0,47	0,45	0,43	0,47	0,47	19,47
PT20	0,27	0,28	0,38	0,52	0,38	0,38	0,10
PT21	0,38	0,31	0,2	0,26	0,56	0,31	0,14
PT22	0,51	1,26	0,49	1,27	0,18	0,51	0,50
PT23	0,05	0,03	0,03	0,11	0,05	0,05	0,03
PT24	NC	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,01
PT25	NC	0,39	0,79	0,34	0,27	0,37	0,23
PT26	NC	0,29	0,27	0,26	0,25	0,27	0,02
PT27	NC	0,07	0,07	0,08	0,05	0,07	0,01
PT28	NC	0,15	0,18	0,16	0,16	0,16	0,01
Média Mensal	0,22	0,62	0,23	0,26	0,21	0,23	0,18

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. ANR: Análise Não Realizada.

Percebe-se a correlação entre condutividade elétrica e salinidade nos meses ainda afastados pela ausência de chuva, janeiro de 2011 (início de chuvas) e novembro de 2011, os quais apresentaram maiores valores de salinidade. E valores tendendo a caírem nos períodos de chuva como nos meses de maio de 2011 (término de chuvas) e janeiro de 2012 (quando já haviam iniciado as chuvas, nesse ano).

A seguir, o gráfico 03 o qual ilustra as variações da salinidade ao longo do período de estudo.

Gráfico 03 – Média mensal da Salinidade das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Avaliando o comportamento dos teores de condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos, percebe-se sutil aumento dos valores médios dos teores desses parâmetros no período de novembro de 2011, seguido de caimento no período seguinte (obs.; salinidade não registrada em julho de 2012). Contudo, a

salinidade, embora tenha apresentado suave elevação de teor em novembro de 2011 (grande estiagem), esta não foi superior ao valor médio janeiro de 2011, considerado como período seco e de início de chuvas.

Brometo

Os valores das concentrações de brometo também mantiveram-se relativamente baixos, não excedendo o valor de 1,00 mg/L Br, salvo algumas amostras pontuais.

Durante o período de janeiro de 2011, período sob efeito de precipitação, as amostras analisadas apresentaram valores variando de 0,2 mg/L (PT11, 16 e 23) a 2,4 mg/L (PT22). Amostras PT08 e 17 com valores inferiores ao limite de detecção. Para o período de maio de 2011 a variação se deu entre 0,1 mg/L (PT07 e 24) a 1,8 (PT05). Em novembro de 2011 entre 0,1 mg/L (PT07 e PT10) a 3,1 mg/L (PT22). Janeiro de 2012 com variação de 0,2 mg/L (PT16 e PT18) a 1,4 mg/L (PT01). E em Julho de 2012 variando de 0,2 mg/L (PT11 e PT24) a 1,2 mg/L (PT22). (Tabela 23).

Tabela 23 – Concentração de brometo nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Brometo (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	NC	1,3	1,0	1,0	1,4	0,6	1,03	0,33
PT 02	NC	1,3	1,0	0,8	0,8	NC	0,91	0,23
PT04	NC	1,0	NC	NC	NC	NC	1,03	-
PT05	NC	3,4	1,8	1,0	0,7	NC	1,38	1,24
PT06	NC	0,4	0,3	LD	LD	LD	0,37	0,03
PT07	NC	0,5	0,1	0,1	LD	LD	0,10	0,26
PT08	NC	LD	0,3	LD	0,3	LD	0,30	0,02
PT09	NC	1,0	0,6	0,3	0,6	0,4	0,60	0,25
PT10	NC	0,7	0,7	0,1	0,4	LD	0,53	0,28
PT11	NC	0,2	0,2	LD	LD	0,2	0,21	0,04
PT12	NC	0,6	0,5	LD	LD	LD	0,53	0,05
PT13	NC	0,9	0,8	0,6	0,6	LD	0,67	0,18
PT14	NC	0,4	LD	0,7	LD	0,3	0,45	0,24
PT16	NC	0,2	0,3	0,2	0,2	LD	0,19	0,03
PT17	NC	LD	0,3	LD	0,4	LD	0,35	0,00
PT18	NC	NC	0,5	0,6	0,2	0,8	0,59	0,24
PT19	NC	1,3	1,1	0,9	0,8	LD	1,00	0,21
PT20	NC	0,8	0,7	0,7	0,6	0,3	0,74	0,19
PT21	NC	0,8	0,6	0,5	0,9	LD	0,71	0,19
PT22	NC	2,4	1,1	3,1	LD	1,2	1,79	0,97

Continuação Tabela 23

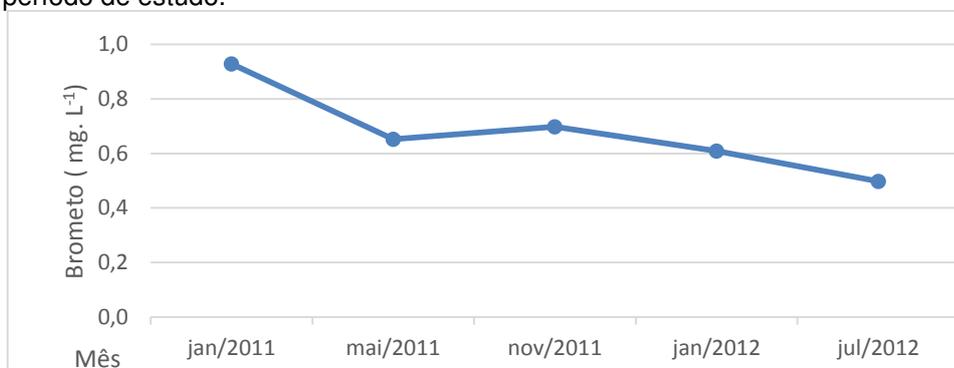
PT23	NC	0,2	0,2	LD	LD	LD	0,18	0,04
PT24	NC	0,8	0,1	0,3	LD	0,2	0,25	0,34
PT25	NC	1,0	1,5	0,9	0,6	LD	0,98	0,35
PT26	NC	1,2	0,9	0,9	0,7	LD	0,90	0,19
PT27	NC	0,3	0,3	0,2	LD	ANC	0,26	0,06
PT28	NC	0,6	0,8	0,3	0,6	LD	0,57	0,21
Média Mensal	-	0,93	0,65	0,70	0,61	0,50	0,65	0,16

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. LD: Limite de detecção.

As maiores médias mensais foram observadas nos meses que mais sofrem (entre os estudados) os efeitos da estiagem. Janeiro de 2011 (0,93 mg/L) e novembro de 2011 (0,70 mg/L). Mesmo assim, não diferenciando-se tanto dos demais, os quais apresentaram 0,65 mg/L para maio de 2011, 0,61 mg/L para janeiro de 2012 e 0,50 mg/L para julho de 2012.

A relação das maiores médias de concentração para brometo apresentadas nos meses de janeiro de 2011 e novembro de 2011 coincide com a de cloreto, o qual também apresentou o mesmo comportamento. Sendo observados 73,80 mg/L Cl⁻ em janeiro de 2011 e 76,64 mg/L Cl⁻ em novembro de 2011. A diferença entre as relações das médias desses dois íons se dá na campanha de julho de 2012, a qual a concentração de cloreto manteve-se mais elevada comparada a dos demais períodos, enquanto que para brometo neste período houve uma diminuição. O Gráfico 04 ilustra a variação das médias mensais de brometo nas águas dos poços em Itarema durante o período de estudo.

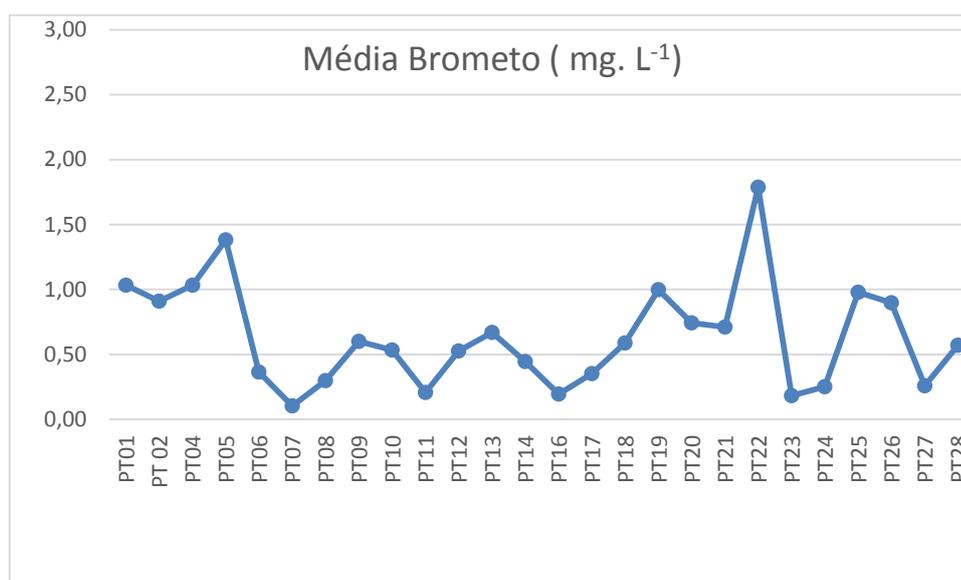
Gráfico 04 – Média mensal da concentração de Brometo (mg/L) das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Obseva-se no Gráfico 05 que as amostras que apresentaram as maiores médias de concentrações de brometo foram PT01 e PT04 (1,03 mg/L), PT05 (1,38 mg/L), PT19 (1,00) e PT22 (1,79 mg/L). Apesar disso, os resultados de brometo não apresentam indicação de intrusão marinha, uma vez que estes mantiveram-se, segundo as médias por pontos de coleta, na sua maioria, abaixo de 1,00 mg/L. Ressalva para a amostra de PT22 coletada em janeiro e novembro de 2011, considerados períodos ainda sob influência da estiagem. Podendo sim nesse ponto, durante estes períodos ter havido interferência marinha, uma vez que também foram nesses períodos observados os maiores valores de concentração de brometo para esta amostra.

Gráfico 05 – Média da concentração de Brometo (mg/L), por amostras, das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Nitrato

As amostras com concentrações de nitrato abaixo do limite de detecção (< 0,1mg/L) foram consideradas como se estas fossem “zero” para que se pudesse

quantificar valor específico para confecção de gráfico ilustrativo e cálculo de média e desvio padrão.

A interpretação para os dados de nitrato mostra que tanto o efeito das chuvas ou a ausência dessas, interferiram nos resultados. Em algumas amostras, o efeito das chuvas contribuiu para a presença de nitrato (PT01, PT06, PT08, PT10, PT13, PT14, PT18, PT19, PT20 e PT22), isso provavelmente ao efeito de lixiviação do terreno e de infiltração da água das chuvas carregando constituintes que favoreceram a possível contaminação do aquífero. Vale salientar que mesmo com o efeito das chuvas carregando material para o aquífero, foram os meses de precipitação pluviométrica que apresentaram o maior número de amostras com concentrações de nitrato abaixo do limite de detecção ($LD = 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$). Sendo 5 amostras em julho de 2010, 11 em janeiro de 2011, 12 em maio de 2011 e 16 em janeiro de 2012. Contudo, o período de julho de 2012, considerado o mais seco, devido a pouquíssima precipitação que o antecedeu, apresentou 13 amostras com concentrações abaixo do LD. O que torna possível acreditar que esses teores de nitrato, apesar de baixos, quando presentes, são originados a partir de fontes pontuais. Não seguindo uma correlação de efeito sazonal para uma maior ou menor concentração deste no terreno a ponto de interferir no aquífero. A Tabela 24 e o Gráfico 06 apresentam esses valores e ilustram essa relação.

Tabela 24 – Concentração de nitrato nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Amostra	Nitrato (N-NO_3^-) (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
PT01	1,6	0,6	0,5	0,3	1,3	0,4	0,55	0,53
PT 02	0,1	LD	LD	0,3	LD	NC	0,00	0,13
PT04	LD	LD	NC	NC	NC	NC	0,00	0,00
PT05	0,2	0,3	LD	0,3	LD	NC	0,20	0,15
PT06	1,2	LD	LD	0,2	LD	LD	0,00	0,48
PT07	LD	LD	0,7	0,2	LD	LD	0,00	0,28
PT08	3,5	1,3	LD	0,2	LD	LD	0,10	1,40
PT09	0,1	LD	2,6	0,3	LD	LD	0,05	1,04
PT10	5,6	1,5	LD	3,2	3,7	LD	2,35	2,23
PT11	LD	0,2	LD	0,3	LD	LD	0,00	0,13
PT12	<0,1	0,2	0,4	0,2	LD	1,2	0,20	0,45
PT13	1,2	0,8	15	1,0	0,6	0,8	0,90	5,77
PT14	3,3	0,3	LD	0,5	0,9	0,7	0,60	1,19
PT16	0,02	0,2	LD	0,2	LD	LD	0,01	0,10
PT17	0,07	LD	1,6	0,2	LD	LD	0,04	0,64
PT18	3,57	NC	<0,5	2,9	3,4	0,2	2,90	1,77
PT19	5,4	5	0,6	5,9	5,6	1,3	5,20	2,37
PT20	0,9	0,4	1,7	0,8	0,3	LD	0,60	0,60
PT21	LD	LD	2,8	0,3	LD	LD	0,00	1,13

Continuação Tabela 25

PT17	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0,00
PT18	LD	NC	LD	LD	LD	0,00	LD	0,00
PT19	LD	LD	LD	0,008	LD	0,006	LD	0,00
PT20	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0,00
PT21	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0,00
PT22	LD	LD	LD	0,021	0,035	0,019	0,01	0,01
PT23	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0,00
PT24	NC	LD	LD	LD	LD	0,005	LD	0,00
PT25	NC	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0,00
PT26	NC	LD	0,13	LD	LD	LD	LD	0,06
PT27	NC	LD	LD	LD	LD	NC	LD	0,00
PT28	NC	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0,00
Média Mensal	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	<LD	0,00	0,00

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. LD: Limite de detecção.

Nitrogênio Amoniacal Total

Percebe-se a presença de nitrogênio amoniacal em todas as amostras analisadas referentes aos meses de julho de 2010, janeiro de 2011 e julho de 2012. Sendo os meses de maio de 2011 e novembro de 2011 os que apresentaram concentrações tão baixas a ponto ficarem inferiores ao limite de detecção. Quando quantificado, estes mantiveram-se abaixo de 1,5 mg/L (padrão organoléptico de potabilidade/MS, 2914).

Tabela 26 – Concentração de nitrogênio amoniacal total nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Amostra	Nitrogênio Amoniacal Total (N-NH ₄ ⁺) (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
PT01	0,05	0,06	0,02	LD	LD	0,10	0,05	0,03
PT 02	0,03	0,07	LD	LD	LD	NC	0,05	0,03
PT04	0,05	0,06	LD	NC	NC	NC	0,05	0,01
PT05	0,03	0,07	LD	LD	LD	NC	0,05	0,03
PT06	0,15	0,07	LD	0,1	0,1	0,20	0,10	0,05
PT07	0,09	0,06	LD	0,07	0,07	0,20	0,07	0,06
PT08	0,08	0,06	LD	0,07	0,07	0,10	0,07	0,02
PT09	0,09	0,07	LD	LD	LD	0,10	0,09	0,02
PT10	0,15	0,08	0,34	0,07	0,07	0,10	0,09	0,10
PT11	0,07	0,06	LD	LD	LD	0,10	0,07	0,02
PT12	0,05	0,06	LD	0,14	0,14	0,20	0,14	0,06
PT13	0,03	0,06	LD	LD	LD	0,10	0,06	0,03
PT14	0,18	0,06	0,34	0,11	-0,11	0,30	0,14	0,17
PT16	0,04	0,06	0,02	<LD	LD	0,10	0,05	0,03
PT17	0,30	0,06	0,22	0,23	0,23	0,30	0,23	0,09
PT18	0,03	ANC	LD	LD	LD	0,10	0,06	0,05
PT19	0,03	0,06	LD	LD	LD	0,10	0,06	0,04
PT20	0,03	0,06	LD	LD	LD	0,10	0,06	0,04

Continuação Tabela 26								
PT21	0,03	0,06	LD	LD	LD	0,10	0,06	0,04
PT22	0,06	0,06	LD	LD	0,01	0,10	0,06	0,04
PT23	0,07	0,07	LD	LD	0,02	0,20	0,07	0,08
PT24	NC	0,07	LD	LD	0,02	0,10	0,07	0,04
PT25	NC	0,07	LD	0,050	0,05	0,10	0,06	0,02
PT26	NC	0,06	LD	LD	0,01	0,10	0,06	0,05
PT27	NC	0,06	LD	0,04	0,04		0,04	0,01
PT28	NC	0,06	LD	LD	LD	0,10	0,10	
Média Mensal	0,08	0,06	0,19	0,10	0,06	0,14	0,09	0,05

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. LD: Limite de detecção.

Cálcio, Magnésio e Dureza total

De acordo com as médias mensais observadas para cálcio, magnésio e dureza total, percebe-se maiores valores de cálcio durante o período de maio de 2011. Para magnésio em novembro de 2011. E dureza total em julho de 2012.

Avaliando individualmente cada um, percebe-se, para o cálcio, segundo as médias mensais, valor máximo de 18,8 mg/L para o período de maio de 2011. Seguido 16,4 mg/L em julho de 2012 e 15,5 mg/L em janeiro de 2012. O mês de novembro apresentou a menor média mensal, 7,8 mg/L. Os meses de julho de 2010 e janeiro de 2011 apresentaram médias mensais semelhantes, 13,6 e 13,1 mg/L respectivamente. O Gráfico 07 ilustra as médias mensais de cálcio nas águas de poços em Itarema.

Tabela 27 – Concentração de cálcio nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

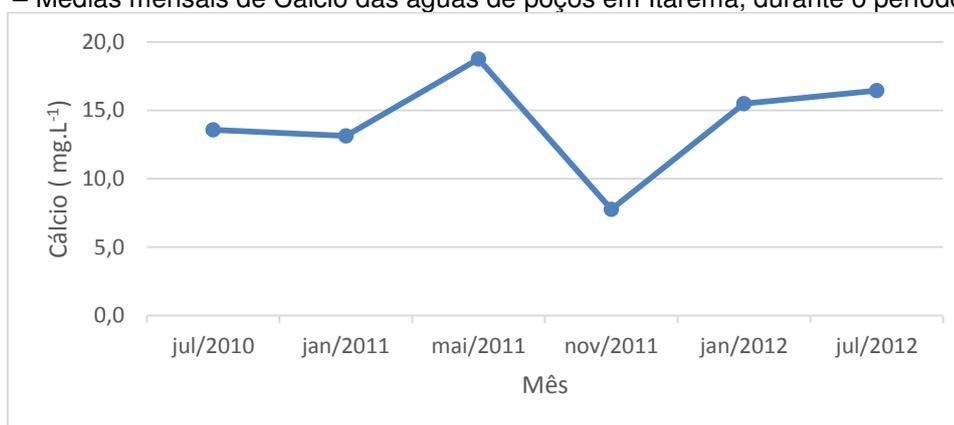
Amostra	Cálcio (Ca ⁺²) (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
PT01	19,0	30,0	34,0	18,0	30,0	28,8	29,4	6,5
PT 02	38,0	51,0	48,0	26,0	50,0	NC	48,0	10,6
PT04	14,0	22,0	NC	NC	NC	NC	18,0	5,7
PT05	11,0	21,0	70,0	19,0	32,0	NC	21,0	23,3
PT06	4,0	3,0	13,0	2,0	6,0	3,2	3,6	4,0
PT07	40,0	34,0	5,0	8,0	16,0	8,0	12,0	14,9
PT08	10,0	2,0	8,0	2,0	11,0	6,4	7,2	3,9
PT09	8,0	8,0	11,0	2,0	11,0	9,6	8,8	3,4
PT10	21,0	14,0	14,0	18,0	24,0	6,4	16,0	6,2
PT11	6,0	5,0	2,0	2,0	5,0	4,8	4,9	1,7
PT12	4,0	2,0	13,0	2,0	5,0	9,6	4,5	4,4
PT13	3,0	3,0	10,0	3,0	6,0	6,4	4,5	2,8
PT14	5,0	2,0	14,0	2,0	5,0	6,4	5,0	4,4
PT16	2,0	2,0	8,0	2,0	6,0	1,6	2,0	2,7
PT17	2,0	1,0	6,0	2,0	3,0	6,4	2,5	2,3
PT18	9,0	NC	24,0	14,0	26,0	35,2	24,0	10,3
PT19	33,0	24,0	38,0	10,0	27,0	28,8	27,9	9,6

Continuação Tabela 27

PT20	6,0	5,0	6,0	2,0	6,0	6,4	6,0	1,7
PT21	7,0	24,0	24,0	13,0	42,0	40,0	24,0	14,0
PT22	40,0	22,0	16,0	21,0	24,0	96,0	23,0	30,3
PT23	3,0	1,0	6,0	2,0	3,0	6,4	3,0	2,2
PT24	NC	24,0	32,0	2,0	6,0	11,2	11,2	12,6
PT25	NC	5,0	35,0	5,0	10,0	8,0	8,0	12,7
PT26	NC	2,0	0,0	2,0	2,0	6,4	2,0	2,4
PT27	NC	3,0	0,0	2,0	5,0		2,5	2,1
PT28	ANC	18,0	32,0	13,0	26,0	25,6	25,6	7,4
Média Mensal	13,6	13,1	18,8	7,8	15,5	16,4	14,5	3,8

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Gráfico 07 – Médias mensais de Cálcio das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Para o magnésio, diferentemente do cálcio, o mês de novembro foi o que apresentou maior média de concentração observada, 19,2 mg/L. Seguido por julho de 2012, 17,7 mg/L. E os meses de Julho de 2010, janeiro de 2011 e janeiro de 2012 apresentando comportamento semelhante, com concentrações de 15,8, 15,8 e 15,7 respectivamente. O Gráfico 08 ilustra as médias mensais de magnésio nas águas de poços em Itarema.

Tabela 28 – Concentração de magnésio das águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

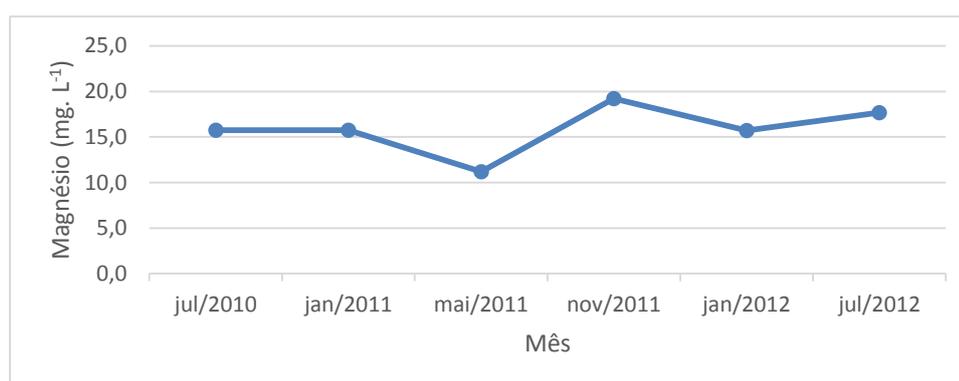
Magnésio (Mg ⁺²) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	14,0	24,0	16,0	28,0	26,0	30,7	25,0	6,7
PT 02	21,0	24,0	7,0	25,0	29,0	NC	24,0	8,4
PT04	50,0	49,0	NC	NC	NC	NC	49,5	0,7
PT05	15,0	24,0	14,0	28,0	18,0	NC	18,0	6,0
PT06	1,0	3,0	3,0	3,0	3,0	5,8	3,0	1,5
PT07	12,0	5,0	1,0	12,0	9,0	8,6	8,8	4,3
PT08	2,0	4,0	1,0	10,0	5,0	5,8	4,5	3,2
PT09	1,0	4,0	1,0	8,0	10,0	6,7	5,4	3,7
PT10	1,0	3,0	1,0	12,0	8,0	5,8	4,4	4,3

Continuação Tabela 28

PT11	5,0	4,0	5,0	3,0	5,0	3,8	4,5	0,8
PT12	1,0	1,0	3,0	2,0	5,0	4,8	2,5	1,8
PT13	10,0	14,0	4,0	10,0	10,0	12,5	10,0	3,4
PT14	5,0	12,0	4,0	9,0	9,0	9,6	9,0	3,0
PT16	5,0	4,0	1,0	5,0	6,0	8,6	5,0	2,5
PT17	3,0	1,0	1,0	2,0	5,0	2,9	2,5	1,5
PT18	53,0	NC	36,0	46,0	49,0	49,9	49,0	6,5
PT19	48,0	44,0	43,0	54,0	49,0	59,5	48,5	6,2
PT20	6,0	9,0	5,0	11,0	11,0	11,5	10,0	2,8
PT21	35,0	21,0	11,0	33,0	42,0	22,1	27,6	11,3
PT22	38,0	84,0	47,0	117,0	9,0	85,4	65,5	39,1
PT23	5,0	4,0	1,0	3,0	7,0	4,8	4,4	2,0
PT24	NC	3,0	3,0	6,0	16,0	2,9	3,0	5,6
PT25	NC	12,0	36,0	12,0	13,0	10,6	12,0	10,8
PT26	NC	10,0	9,0	7,0	13,0	9,6	9,6	2,2
PT27	NC	7,0	6,0	6,0	8,0	NC	6,5	1,0
PT28	NC	24,0	21,0	28,0	28,0	26,9	26,9	3,0
Média Mensal	15,8	15,8	11,2	19,2	15,7	17,7	15,8	2,7

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Gráfico 08 – Médias mensais de Magnésio das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

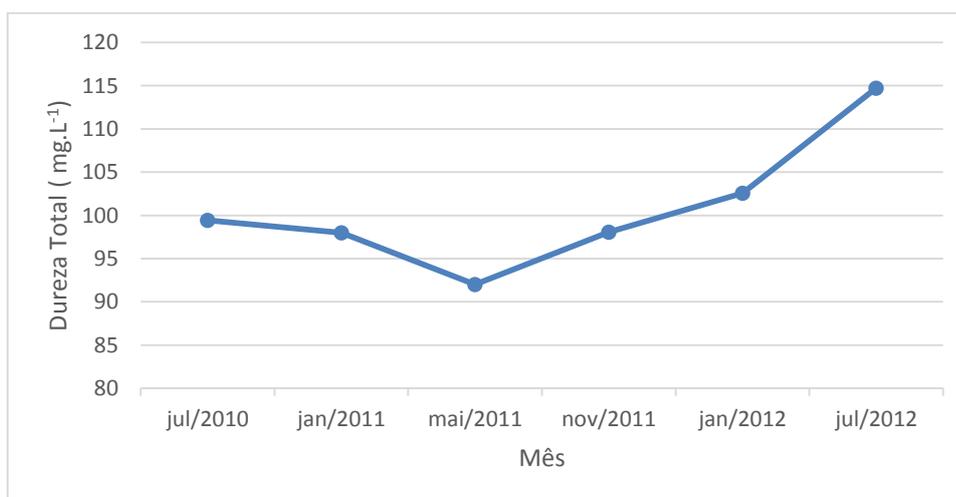
Avaliando os resultados de dureza total, a relação cálcio/magnésio favoreceu maior valor de média mensal para o período de julho de 2012, considerado como seco, poucas precipitações, com valor de 115 mg/L. Os demais períodos apresentaram valores médios semelhantes, variando entre 92 a 103 mg/L. O que mostra que hora o cálcio foi mais significativo para a dureza nessas águas, ora o magnésio. O Gráfico 09 ilustra as médias mensais de dureza total nas águas de poços em Itarema.

Tabela 29 – Concentração de dureza total nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Dureza Total (Ca ⁺² e Mg ⁺²) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	108	176	152	160	184	200	168	32,0
PT 02	180	228	148	168	244	NC	180	40,8
PT04	246	260	NC	NC	NC	NC	253	9,9
PT05	92	152	236	164	156	NC	156	51,2
PT06	14	22	44	16	28	32	25	11,2
PT07	150	104	16	68	48	56	62	47,1
PT08	34	20	24	44	48	40	37	11,2
PT09	20	36	32	36	68	52	36	16,9
PT10	50	48	36	96	92	40	49	26,6
PT11	34	28	28	16	32	28	28	6,3
PT12	16	8	16	12	32	44	16	13,8
PT13	48	68	40	48	56	68	52	11,5
PT14	34	52	52	40	48	56	50	8,4
PT16	26	20	24	24	40	40	25	8,7
PT17	16	8	16	12	28	28	16	8,3
PT18	244	NC	212	228	268	296	244	33,2
PT19	284	244	276	248	272	320	274	27,6
PT20	40	48	36	48	60	64	48	10,9
PT21	164	148	104	168	280	192	166	58,7
PT22	260	408	236	540	96	596	334	192,5
PT23	28	16	16	16	36	36	22	9,9
PT24	NC	72	92	28	84	40	72	27,9
PT25	NC	60	236	60	80	64	64	76,5
PT26	NC	44	36	36	60	56	44	11,2
PT27	NC	36	24	28	44	NC	32	8,9
PT28	NC	144	168	148	180	176	168	16,3
Média Mensal	99	98	92	98	103	115	99	7,6

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Gráfico 09 – Médias mensais de Dureza total das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Segundo o padrão organoléptico de potabilidade (MS, Portaria 2914), o VMP para dureza total é de 500,0 mg/L. Todas as amostras analisadas apresentam resultados inferiores a esse VMP.

Bicarbonato e Alcalinidade Total

Os períodos de janeiro de 2011 e maio de 2011, chuvosos, foram os que apresentaram os maiores valores de bicarbonato e alcalinidade, embora o comportamento seja semelhante entre estes dois e os demais meses que compõem o período de estudo, não há uma influência significativa quanto à sazonalidade. O Gráfico 10 ilustra as médias mensais de bicarbonato águas de poços em Itarema, e o Gráfico 11 as médias mensais de alcalinidade.

Tabela 30 – Concentração de bicarbonato nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Amostra	Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
PT01	118	283	182	177	192	212	187,00	53,77
PT 02	81	138	74	94	133	NC	94,00	29,69
PT04	293	251	NC	NC	NC	NC	272,00	29,70
PT05	71	150	315	173	165	NC	165,00	88,24
PT06	25	15	25	25	17	15	21,00	5,16
PT07	113	104	10	54	59	20	56,50	42,15
PT08	39	79	25	15	30	64	34,50	24,59
PT09	30	44	15	20	25	30	27,50	10,03
PT10	59	64	49	59	69	35	59,00	12,17
PT11	12	5	20	15	10	25	13,50	7,18
PT12	2	12	5	15	5	10	7,50	4,96
PT13	44	49	35	39	59	44	44,00	8,37
PT14	17	44	15	25	39	35	30,00	11,97
PT16	10	12	5	15	22	15	13,50	5,71
PT17	12	20	17	10	15	15	15,00	3,54
PT18	173	NC	187	212	237	276	212,00	41,05
PT19	160	207	242	217	237	256	227,00	34,20
PT20	15	17	35	39	54	49	37,00	16,10
PT21	131	128	153	158	182	177	155,50	22,50
PT22	128	212	246	251	49	20	170,00	100,84
PT23	15	10	22	20	5	15	15,00	6,28
PT24	NC	47	49	15	62	20	47,00	20,18
PT25	NC	20	64	25	25	25	25,00	18,13
PT26	NC	7	15	5	5	5	5,00	4,34
PT27	NC	15	20	10	10	NC	12,50	4,79
PT28	NC	113	153	143	187	187	153,00	31,41
Média Mensal	73,71	81,84	79,12	73,24	75,72	70,45	74,72	4,17

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

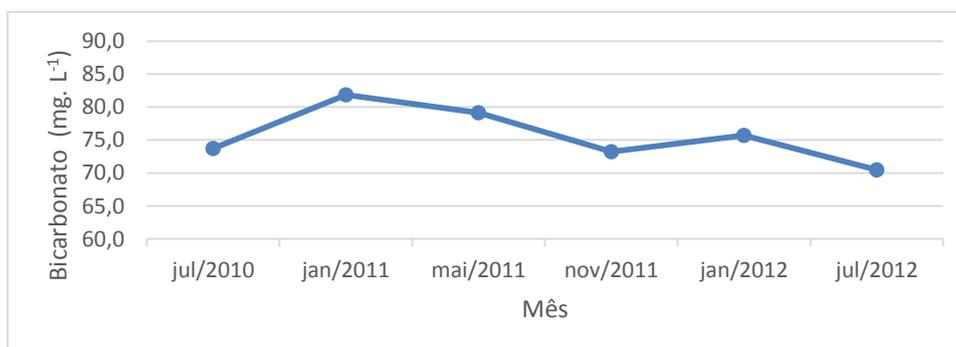
Tabela 31 – Concentração de alcalinidade total nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Alcalinidade Total (CaCO ₃) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	97	232	149	145	158	174	153,3	44,0
PT 02	67	113	61	77	109	ANC	77,0	24,1
PT04	240	206	ANC	ANC	ANC	ANC	223,0	24,0
PT05	59	123	259	141	135	ANC	135,3	72,4
PT06	20	12	20	20	14	12	17,1	4,1
PT07	93	85	8	44	49	16	46,3	34,7
PT08	32	65	20	12	24	53	28,1	20,5
PT09	24	36	12	16	20	24	22,1	8,3
PT10	48	53	40	48	57	28	48,0	10,3
PT11	10	4	16	12	8	20	11,0	5,7
PT12	2	10	4	12	4	8	6,0	3,9
PT13	36	40	28	32	49	36	36,0	7,1
PT14	14	36	12	20	32	28	24,0	9,9
PT16	8	10	4	12	18	12	11,0	4,7
PT17	10	16	14	8	12	12	12,1	2,8
PT18	141	ANC	154	174	194	226	174,0	33,6
PT19	131	170	198	178	194	210	186,0	28,0
PT20	12	14	28	32	44	40	30,0	13,3
PT21	107	105	125	129	150	145	127,0	18,6
PT22	105	174	202	206	40	16	139,5	82,9
PT23	12	8	18	16	4	12	12,0	5,1
PT24	ANC	38	40	12	51	16	38,0	16,6
PT25	ANC	16	53	20	20	20	20,0	15,3
PT26	ANC	6	12	4	4	4	4,0	3,5
PT27	ANC	12	16	8	8	ANC	10,1	3,8
PT28	ANC	93	125	117	154	154	125,0	25,9
Média Mensal	60,38	67,08	64,72	59,80	62	57,55	61,2	3,5

Fonte: A autora. Legenda. ANC: Amostra Não Coletada.

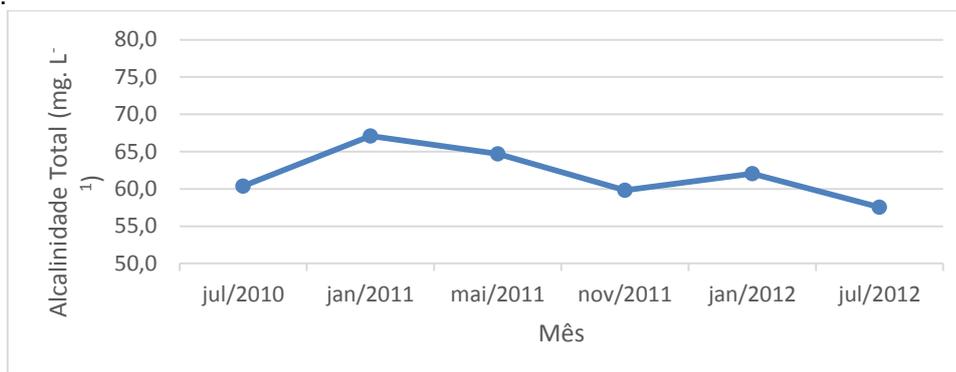
As ilustrações gráficas a seguir mostram esse comportamento. Gráfico 10 e Gráfico 11.

Gráfico 10 – Médias mensais de bicarbonato nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Gráfico 11 – Médias mensais de Alcalinidade total das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Sódio e Potássio

As maiores médias mensais para sódio foram observadas em maio de 2011 (50,0 mg/L) e julho de 2012 (57,0 mg/L). E a menor média mensal em janeiro de 2011 (38,0 mg/L). Destaque para as amostras PT 13, 20, 22 e 25 com valores acima de 100mg/L, embora o VMP para este seja de 200,0 mg/L para consumo humano, segundo MS, portaria 2914 e Resolução CONAMA nº 396). Para os demais períodos, comportamento semelhante entre estes.

Tabela 32 – Concentração de sódio nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Amostra	Sódio (Na ⁺) (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
PT01	64	51	85	66	81	61	65	12,8
PT 02	76	61	85	66	84	NC	76	10,7
PT04	NR	39	NC	NC	NC	NC	39	-
PT05	30	33	54	10	21	NC	32	18,0
PT06	21	13	11	18	18	20	18	4,0
PT07	22	13	28	7	12	17	15	7,6
PT08	20	14	11	7	13	18	14	4,7
PT09	8	9	11	21	32	32	16	11,2
PT10	44	25	28	16	28	31	28	9,1
PT11	44	32	33	9	17	22	27	12,6
PT12	4	9	6	8	7	16	8	4,1
PT13	91	72	116	95	108	108	102	15,9
PT14	76	64	76	70	68	89	73	8,8
PT16	8	22	24	29	21	26	23	7,3
PT17	26	17	15	16	16	19	17	4,1
PT18	48	NC	54	17	50	93	50	27,1
PT19	74	58	59	50	80	92	67	15,9
PT20	83	65	124	112	119	119	116	24,0
PT21	51	33	41	11	52	55	46	16,6
PT22	88	124	81	205	22	184	106	68,5
PT23	10	7	15	9	14	19	12	4,5
PT24	NC	12	6	6	15	18	12	5,4

Continuação Tabela 32									
PT25	NC	79	190	132	83	90	90	47,1	
PT26	NC	66	85	90	86	93	86	10,6	
PT27	NC	14	15	19	15	NC	15	2,2	
PT28	NC	7	6	8	10	24	8	7,4	
Média Mensal		44	38	50	44	44	57	44	6,6

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. ANR: Análise não realizada.

Coincidindo com sódio, os valores médios das concentrações de potássio, por período e estudo, teve como destaque o mês de maio de 2011 (10,28 mg/L), porém sendo a segunda média mensal observada em julho de 2010 (8,50 mg/L) e não julho de 2012 (6,55 mg/L). Também foi o mês de janeiro de 2011 o de menor média mensal observada (5,48 mg/L). E os demais períodos com semelhança entre os seus resultados.

Tabela 33 – Concentração de potássio nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Amostra	Potássio (K ⁺) (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
PT01	6	7	7	5	8	7	7,0	1,0
PT 02	14	9	14	12	14	NC	14,0	2,1
PT04	ANR	5	NC	NC	NC	NC	5,0	-
PT05	7	9	16	7	8	NC	8,0	3,7
PT06	3	3	3	3	3	3	3,0	0,0
PT07	3	3	3	2	5	2	3,0	1,1
PT08	1	3	3	2	3	2	2,5	0,8
PT09	2	3	3	3	4	3	3,0	0,6
PT10	37	12	33	26	24	5	25,0	12,2
PT11	5	3	25	3	1	2	3,0	9,1
PT12	1	2	3	3	2	2	2,0	0,7
PT13	13	7	12	10	12	12	12,0	2,1
PT14	11	7	12	9	10	11	10,5	1,7
PT16	1	3	3	2	3	3	3,0	0,8
PT17	2	3	3	1	2	5	2,5	1,3
PT18	4	NC	5	4	6	7	5,0	1,3
PT19	27	15	53	21	19	26	23,5	13,5
PT20	12	8	12	8	13	12	12,0	2,2
PT21	4	4	5	3	5	5	4,5	0,8
PT22	16	9	5	16	6	16	12,5	5,2
PT23	1	2	3	3	1	2	2,0	0,8
PT24	NC	3	7	1	6	3	3,0	2,4
PT25	NC	6	14	14	8	7	8,0	3,9
PT26	NC	6	7	8	7	8	7,0	0,8
PT27	NC	3	3	3	3	NC	3,0	0,0
PT28	NC	2	3	3	1	1	2,0	1,0
Média Mensal	8,50	5,48	10,28	6,88	6,96	6,55	6,9	1,7

Fonte: A autora.

Legenda. NC: Não Coletada. ANR: Análise não realizada.

Os gráficos a seguir ilustram os comportamentos das médias mensais para sódio e potássio. Gráfico 12 e Gráfico 13.

Gráfico 12 – Médias mensais de Sódio das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo



Fonte: A autora.

Gráfico 13 – Médias mensais de Potássio das águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Cloreto

A legislação (CONAMA nº 396 e Portaria 2914, MS) determina que para o consumo humano o VMP de cloreto é de 250,0 mg/L. No estudo, as amostras PT 14, 19, 20, 22, 25 e 26 se destacam por seus maiores valores de concentração de cloreto. Onde somente PT22 e PT25 ultrapassam ao VMP. Embora com comportamento semelhante para todo o período de estudo, as maiores médias mensais foram observadas nos meses de julho de 2012 (78,18 mg/L), seguido de novembro de 2012 (76,64 mg/L), ambos períodos de estiagem, e janeiro de 2011 (73,80 mg/L), período de início da quadra chuvosa.

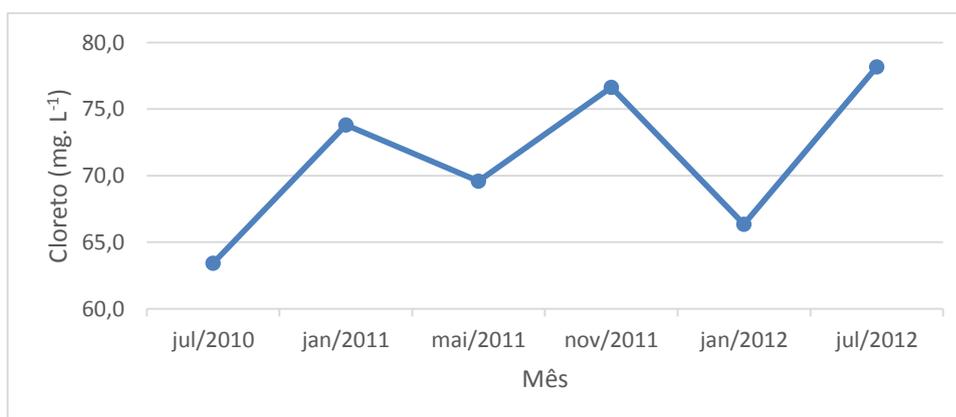
Tabela 34 – Concentração de cloreto nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Cloreto (Cl ⁻) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	44	36	56	58	60	56	56,0	9,5
PT 02	80	80	81	79	83	ANC	80,0	1,5
PT04	59	38	ANC	ANC	ANC	ANC	48,5	14,8
PT05	40	48	42	24	26	ANC	40,0	10,5
PT06	17	24	26	24	28	32	25,0	5,0
PT07	31	24	18	26	34	28	27,0	5,6
PT08	19	18	24	32	26	24	24,0	5,1
PT09	5	8	20	32	66	32	26,0	22,2
PT10	37	16	38	79	56	46	42,0	21,1
PT11	57	66	38	16	14	32	35,0	21,2
PT12	4	8	14	18	24	32	16,0	10,3
PT13	143	114	143	131	151	159	143,0	15,9
PT14	117	122	101	111	103	147	114,0	16,8
PT16	20	30	42	42	48	48	42,0	11,1
PT17	32	24	32	28	34	34	32,0	3,9
PT18	90	ANC	60	56	79	175	79,0	48,4
PT19	102	104	105	93	117	139	104,5	16,1
PT20	157	142	22	147	159	167	152,0	54,8
PT21	75	58	89	38	125	111	82,0	32,5
PT22	180	448	97	528	30	40	138,5	215,4
PT23	23	11	38	20	28	34	25,5	9,8
PT24	ANC	13	18	10	30	26	18,0	8,5
PT25	ANC	206	433	159	149	173	173,0	118,8
PT26	ANC	168	171	127	145	169	168,0	19,4
PT27	ANC	28	29	26	34	ANC	28,5	3,4
PT28	ANC	11	3	12	10	16	11,0	4,7
Média Mensal	63,43	73,80	69,60	76,64	66,36	78,18	71,7	5,9

Fonte: A autora. Legenda. ANC: Amostra Não Coletada.

O Gráfico 14 ilustra a variação da média mensal de cloreto nas águas subterrâneas estudadas em Itarema.

Gráfico 14 – Médias mensais de Cloreto nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Fluoreto

Segundo a Resolução CONAMA nº 396, O VMP de fluoreto para consumo é de 2,0 mg/L. Todas as amostras analisadas apresentaram fluoreto em sua composição. Porém em nenhuma chegando ao VMP. Mantendo-se em média valores abaixo de 1,0 mg/L.

Tabela 35 – Concentração de Fluoreto nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Amostra	Fluoreto (F ⁻) (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
PT01	0,09	0,20	0,10	0,10	0,30	0,09	0,10	0,09
PT 02	0,07	0,10	0,06	0,06	0,20	NC	0,07	0,06
PT04	0,30	0,50	NC	NC	NC	NC	0,40	0,14
PT05	0,09	0,30	0,50	0,30	0,30	NC	0,30	0,14
PT06	0,05	0,03	0,04	0,02	0,20	0,06	0,05	0,07
PT07	0,03	0,04	0,04	0,02	0,20	0,06	0,04	0,07
PT08	0,04	0,50	0,04	0,02	0,20	0,04	0,04	0,19
PT09	0,04	0,40	0,03	0,01	0,10	0,04	0,04	0,15
PT10	0,03	0,40	0,03	0,01	0,10	0,04	0,04	0,15
PT11	0,03	0,70	0,02	0,01	0,10	0,04	0,04	0,27
PT12	0,04	0,50	0,03	0,01	0,10	0,03	0,04	0,19
PT13	0,30	0,30	0,40	0,20	0,30	0,10	0,30	0,10
PT14	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,10	0,15	0,05
PT16	0,05	0,05	0,04	0,02	0,10	0,03	0,05	0,03
PT17	0,04	0,05	0,03	0,02	0,10	0,03	0,04	0,03
PT18	0,80	NC	1,00	0,60	0,30	0,40	0,60	0,29
PT19	0,65	0,80	0,80	0,50	0,70	0,40	0,68	0,16
PT20	0,10	0,10	0,40	0,30	0,50	0,20	0,25	0,16
PT21	0,40	0,60	0,60	0,30	0,40	0,20	0,40	0,16
PT22	0,50	0,60	0,50	0,50	0,30	0,30	0,50	0,12
PT23	0,05	0,04	0,04	0,03	0,20	0,06	0,05	0,06
PT24	NC	0,20	0,20	0,03	0,20	0,06	0,20	0,09
PT25	NC	0,04	0,08	0,03	0,20	0,10	0,08	0,07
PT26	NC	0,04	0,04	0,03	0,20	0,06	0,04	0,07
PT27	NC	0,06	0,02	0,02	0,20	ANC	0,04	0,09
PT28	NC	0,50	0,50	0,40	0,60	0,20	0,50	0,15
Média Mensal	0,18	0,29	0,23	0,15	0,25	0,12	0,21	0,07

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Sulfato

Conforme CONAMA nº 396 e Portaria 2914, MS, o VMP de sulfato em águas destinadas ao consumo humano é de 250 mg/L. Os resultados das análises apresentaram sulfato em todas amostras. Embora o comportamento entre as amostras seja bem diferente, onde algumas apresentaram ao longo do período de estudo, valores maiores que outras. Destaque para as amostras PT02, PT19, PT20 e PT22 que chegaram a apresentar valores acima de 100,0 mg/L. As maiores médias

mensais foram observadas nos períodos de novembro de 2011 (42,6 mg/L) e julho de 2012 (33,0 mg/L), considerados secos. O período de janeiro de 2012, início de chuvas também esteve entre os mais elevados (32,9 mg/L), o que mostra que as chuvas iniciais deste período ainda não tinham afetado as concentrações de sulfato no aquífero a ponto de causar diluição, baixando os valores.

Tabela 36 – Concentração de sulfato nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Sulfato (SO ₄ ⁻²) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	68	56	73	124	98	82	77,5	24,3
PT 02	32	93	110	179	179	NC	110,0	62,3
PT04	32	23	NC	NC	NC	NC	27,5	6,4
PT05	6	11	9	9	6	NC	9,0	2,2
PT06	3	4	3	22	14	4	4,0	7,9
PT07	10	6	2	8	5	4	5,5	2,9
PT08	3	0,5	1	4	4	3	3,0	1,5
PT09	1	3	1	11	8	22	5,5	8,1
PT10	46	10	8	10	22	3	10,0	15,7
PT11	38	8	20	19	26	1	19,5	13,1
PT12	1	1	1	2	0	1	1,0	0,6
PT13	78	64	75	115	101	98	88,0	19,2
PT14	20	29	21	41	28	38	28,5	8,6
PT16	1	2	1	7	5	4	3,0	2,4
PT17	1	1	1	1	10	1	1,0	3,7
PT18	26	NC	22	31	34	73	31,0	20,5
PT19	86	60	63	91	94	130	88,5	25,4
PT20	7	8	55	107	106	88	71,5	46,1
PT21	10	8	1	19	14	15	12,0	6,3
PT22	56	70	32	190	12	123	63,0	65,7
PT23	5	2	2	9	4	8	4,5	3,0
PT24	NC	5	5	5	8	8	5,0	1,6
PT25	NC	8	66	31	30	14	30,0	22,6
PT26	NC	9	4	15	7	1	7,0	5,3
PT27	NC	2	1	8	4	NC	3,0	3,1
PT28	NC	1	1	7	3	5	3,0	2,6
Média Mensal	25,2	19,4	23,1	42,6	32,9	33,0	29,1	8,4

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Fosfato

As análises mostraram baixas concentrações de fosfato nas amostras de água subterrâneas em Itarema. Quando presentes, estas não ultrapassaram 0,2 mg/L. O mês de novembro, embora em baixas concentrações, foi o único em que todas as amostras foram quantificadas, sendo o valor médio de 0,06 mg/L.

Tabela 37 – Concentração de fosfato nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Fosfato (P-PO ₄ ⁻³) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	LD	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT 02	0,01	LD	LD	0,06	LD	NC	0,0	0,0
PT04	LD	LD	NC	ANC	NC	NC	0,0	0,0
PT05	0,02	LD	LD	0,06	LD	NC	0,0	0,0
PT06	0,03	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT07	LD	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT08	LD	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT09	LD	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT10	0,01	LD	LD	0,06	0,003	LD	0,0	0,0
PT11	0,01	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT12	0,03	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT13	LD	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT14	0,18	LD	LD	0,07	LD	LD	0,0	0,1
PT16	0,01	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT17	LD	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT18	0,09	NC	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT19	0,05	LD	LD	0,07	LD	LD	0,0	0,0
PT20	0,02	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT21	LD	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT22	0,14	LD	LD	0,07	0,068	LD	0,0	0,1
PT23	LD	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT24	NC	0,07	0,05	0,12	0,008	0,02	0,1	0,0
PT25	NC	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT26	NC	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
PT27	NC	LD	LD	0,06	LD	NC	0,0	0,0
PT28	NC	LD	LD	0,06	LD	LD	0,0	0,0
Média Mensal	0,03	0,00	0,00	0,06	,00	0,00	0,0	0,0

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. LD: Limite de detecção.

Sílica

As amostras PT 01, 02, 13, 14, 16 e 20 destacam-se pelos maiores valores observados de concentração de sílica. O período seco de novembro de 2011 contribuiu para a observação da maior média mensal observada (17,36 mg/L), em contrapartida com o período que o antecedeu, maio de 2011 (5,52 mg/L), menor média mensal.

Tabela 38 – Concentração de sílica nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Sílica (SiO ₂) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	34,0	25,0	24,0	50,4	30,9	27,0	29,0	9,8
PT 02	23,0	23,0	9,0	26,2	22,6	NC	23,0	6,7
PT04	17,0	23,0	NC	NC	NC	NC	20,0	4,2
PT05	1,0	13,0	14,0	15,3	10,7	NC	13,0	5,7
PT06	0,3	4,0	LD	12,3	11,5	9,0	6,5	5,5

Continuação Tabela 38

PT07	8,3	8,0	LD	12,1	8,0	8,0	8,0	4,0
PT08	1,3	3,0	LD	14,8	10,6	9,0	6,0	5,9
PT09	0,6	2,0	1,0	8,2	7,0	5,0	3,5	3,2
PT10	5,7	3,0	2,0	6,0	6,9	3,0	4,4	2,0
PT11	1,2	1,0	LD	9,1	7,5	4,0	2,6	3,8
PT12	0,2	1,0	LD	5,4	3,5	2,0	1,5	2,1
PT13	27,5	31,0	6,0	41,9	26,2	48,0	29,3	14,6
PT14	7,6	13,0	3,0	38,0	23,5	21,0	17,0	12,6
PT16	2,1	13,0	4,0	25,9	21,3	13,0	13,0	9,3
PT17	6,0	10,0	10,0	15,0	9,4	19,0	10,0	4,6
PT18	7,3	ANC	6,0	8,1	4,1	6,0	6,0	1,5
PT19	20,2	12,0	10,0	16,8	11,3	13,0	12,5	3,9
PT20	35,1	18,0	11,0	35,4	26,6	23,0	24,8	9,6
PT21	12,8	11,0	11,0	18,7	15,3	11,0	11,9	3,1
PT22	12,0	11,0	9,0	9,1	2,9	7,0	9,1	3,2
PT23	LD	1,0	LD	7,0	7,6	5,0	5,0	3,5
PT24	NC	9,0	8,0	7,8	8,8	6,0	8,0	1,2
PT25	NC	7,0	3,0	16,7	17,3	10,0	10,0	6,2
PT26	NC	12,0	LD	14,4	12,7	10,0	12,0	5,7
PT27	NC	1,0	LD	10,1	11,0	NC	5,6	5,8
PT28	NC	25,0	7,0	9,3	7,8	5,0	7,8	8,1
Média Mensal	11,5	11,2	5,5	17,3	13,0	12,0	11,6	3,8

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. LD: Limite de detecção.

Ferro total

Conforme a legislação, Portaria 2914, MS e Resolução CONAMA 396, o VMP de ferro para águas destinadas ao consumo humano é de 0,3 mg/L. Esse mesmo valor se destinadas também à recreação e 5,0 mg/L se destinada à irrigação.

A menor média mensal foi observada no mês de novembro de 2011, período seco (0,1 mg/L) e a maior em janeiro de 2012, referente à campanha de coleta de amostras seguinte a novembro de 2011, período já afetado pelas chuvas, com concentração média de 1,6 mg/L. Somente o período de novembro de 2011 apresentou média de valores abaixo de 0,3 mg/L. E mesmo assim, durante este período as amostras PT06, PT09, PT23 e PT24 apresentaram concentrações acima do VMP. Para todos os demais períodos, as médias mensais observadas mantiveram-se acima do VMP.

Segundo CONAMA nº 396, esse elemento, que pode ter sua origem natural, em virtude das características geológicas da área, pertence à classe 1 quando em quantidades abaixo de 0,3 mg/L e classe 2 quando acima.

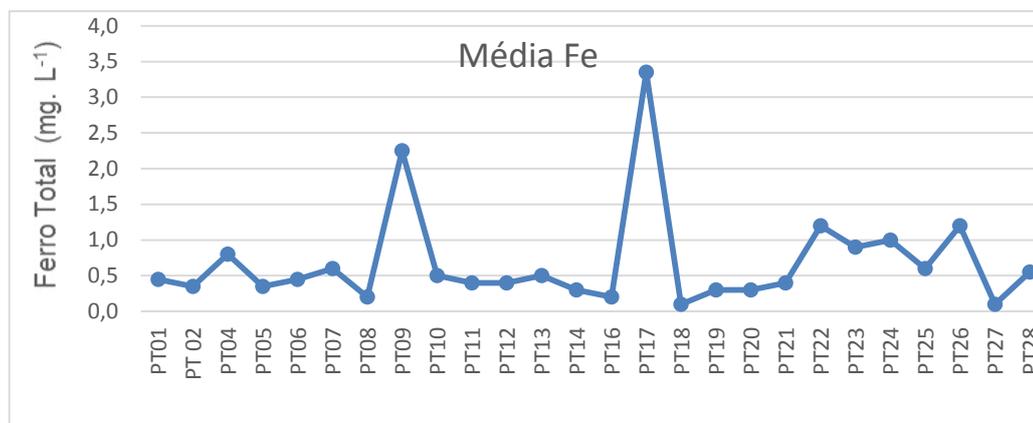
Tabela 39 – Concentração de ferro total nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Ferro Total (Fe ²⁺ + Fe ³⁺) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	0,2	LD	0,9	LD	1,0	LD	0,1	0,5
PT 02	0,8	LD	0,7	LD	LD	NC	0,0	0,4
PT04	0,9	0,7	NC	NC	NC	NC	0,8	0,1
PT05	0,3	LD	0,4	LD	1,0	NC	0,3	0,4
PT06	0,5	0,3	0,8	0,3	0,4	0,7	0,5	0,2
PT07	0,5	0,4	0,7	0,2	1,4	1,0	0,6	0,4
PT08	0,2	LD	0,1	0,1	1,0	0,5	0,2	0,4
PT09	1,8	2,2	2,3	0,9	3,4	3,3	2,3	0,9
PT10	0,8	0,3	0,7	0,1	0,9	0,1	0,5	0,4
PT11	0,6	0,5	0,4	0,2	0,3	0,4	0,4	0,1
PT12	0,6	0,3	0,1	0,2	1,6	0,5	0,4	0,5
PT13	0,2	LD	0,0	LD	0,8	1,8	0,1	0,7
PT14	0,3	LD	0,0	LD	0,3	0,5	0,2	0,2
PT16	0,2	LD	0,3	LD	1,1	LD	0,1	0,4
PT17	3,6	3,1	3,7	0,1	3,6	2,5	3,4	1,4
PT18	0,1	NC	0,1	LD	3,3	LD	0,1	1,5
PT19	0,3	LD	0,8	0,2	2,0	0,3	0,3	0,7
PT20	0,3	LD	1,0	LD	0,6	LD	0,2	0,4
PT21	0,3	LD	0,4	0,1	2,3	0,6	0,4	0,9
PT22	3,6	LD	1,2	0,1	2,7	LD	0,7	1,6
PT23	0,3	1,0	0,8	0,4	2,2	3,6	0,9	1,3
PT24	NC	0,5	1,5	0,4	2,6	1,0	1,0	0,9
PT25	NC	0,4	0,6	0,1	3,3	1,1	0,6	1,3
PT26	NC	0,2	1,2	0,2	1,4	1,3	1,2	0,6
PT27	NC	LD	2,8	0,1	LD	NC	0,1	1,4
PT28	NC	LD	1,1	LD	2,6	LD	0,0	1,1
Média Mensal	0,8	0,4	0,9	0,1	1,6	0,9	0,8	0,5

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. LD: Limite de detecção.

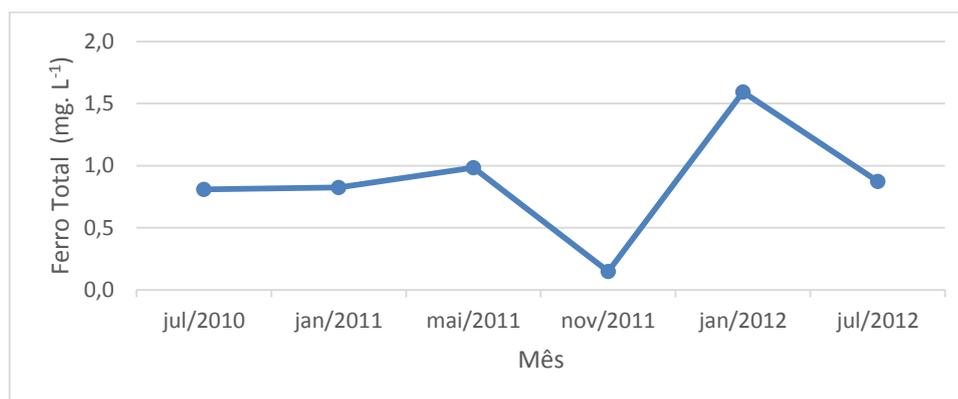
Os gráficos 15 e 16 a seguir, ilustram o comportamento dos teores de ferro observados tanto por amostragem ao longo do período de estudo como os valores médios mensais, comparando-os em função da sazonalidade. Destacam-se as amostras PT09, PT17, PT22, PT23, PT24, PT25, PT26 e PT27 por suas elevadas concentrações de ferro total.

Gráfico 15 – Médias por amostragem de Ferro total nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Gráfico 16 – Médias mensais de Ferro total nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Sólidos totais dissolvidos

Em concordância com os demais elementos que compõem estas águas, observa-se as maiores médias mensais nos meses mais secos, como novembro de 2011 (291,04 mg/L) e julho de 2012 (290,91 mg/L). A legislação (CONAMA 396 e Portaria 2914, MS) determina que o VMP para águas destinadas ao consumo humano seja de 1.000,00 mg/L. Das amostras analisadas, com exceção da amostra PT22, todas mantiveram-se abaixo do VMP.

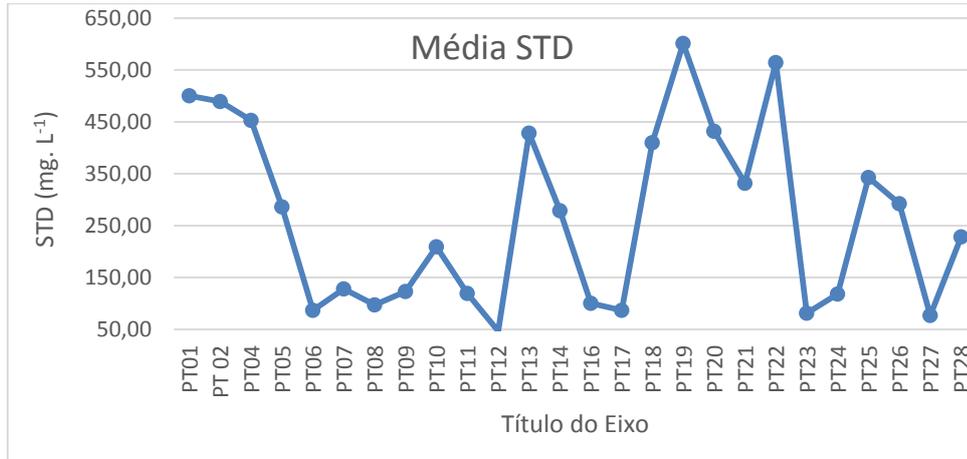
Tabela 40 – Concentração de sólidos totais dissolvidos nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Sólidos totais dissolvidos (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	367	527	478	527	495	505	500,0	60,0
PT 02	489	481	430	509	572	ANR	489,0	51,4
PT04	ANR	453	ANR	ANR	ANR	ANR	453,0	-
PT05	181	316	535	286	256	ANR	286,0	132,9
PT06	74	72	85	110	89	92	87,0	13,8
PT07	242	199	68	130	126	96	128,0	65,2
PT08	102	127	74	87	92	132	97,0	22,9
PT09	58	154	64	106	155	140	123,0	43,9
PT10	251	154	187	240	231	135	209,0	48,3
PT11	168	166	144	77	77	95	119,5	43,2
PT12	17	37	46	56	48	77	47,0	19,9
PT13	409	381	405	449	447	488	428,0	38,7
PT14	259	295	248	307	262	357	278,5	40,7
PT16	62	90	89	128	110	119	100,0	24,1
PT17	87	93	86	76	85	102	86,5	8,7
PT18	410	ANR	406	400	481	715	410,0	134,1
PT19	551	528	639	579	623	744	601,0	77,6
PT20	399	321	273	465	467	476	432,0	85,9
PT21	326	289	337	295	462	436	331,5	73,6
PT22	558	981	539	1343	152	571	564,5	413,5
PT23	152	38	88	74	62	94	81,0	38,6
PT24	ANR	118	129	54	144	95	118,0	35,1
PT25	ANR	343	844	398	318	338	343,0	223,2
PT26	ANR	328	292	270	265	302	292,0	25,5
PT27	ANR	73	75	85	79	ANR	77,0	5,3
PT28	ANR	201	228	225	264	291	228,0	35,5
Média Mensal	258,10	270,60	271,56	291,04	254,48	290,91	271,1	15,6

Fonte: A autora. Legenda. ANR: Análise Não Realizada.

Os resultados apontam não haver homogeneidade no comportamento entre as amostras estudadas. Algumas apresentando valores maiores que outras dentro da área estudada. Isso provavelmente por conta da localização destas, do tipo de construção de cada poço e profundidade desses, conforme podemos observar no gráfico 17:

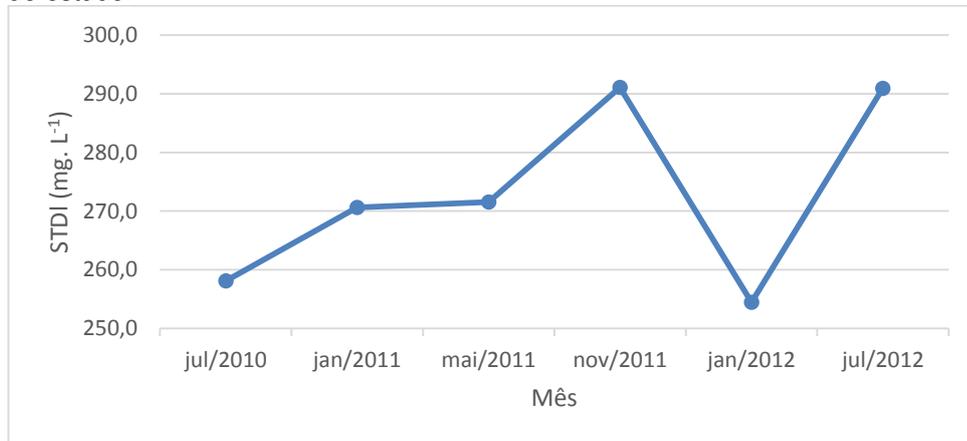
Gráfico 17 – Médias por amostragem de STD nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

O gráfico 18 ilustra a variação dos STD de acordo com os valores médios observados ao longo do período de estudo e a semelhança deste como os gráficos de condutividade elétrica e salinidade (Gráficos 02 e 03).

Gráfico 18 – Médias mensais de Sólidos Totais Dissolvidos nas águas de poços em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Turbidez

Para este parâmetro a Portaria 2914, MS, determina VMP de 5,0 mg/L para água destinada ao consumo humano. Observa-se pelos valores médios mensais que estas amostras apresentam turbidez acima do VMP.

Tabela 41 – Turbidez nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Turbidez								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
PT01	10	15	11	6	1	6	8,0	4,9
PT 02	18	40	7	7	5	NC	7,0	14,6
PT04	24	27	NC	NC	NC	NC	25,4	2,0
PT05	24	18	6	12	5	NC	11,5	7,9
PT06	12	19	10	10	5	5	9,6	5,4
PT07	10	11	8	8	5	5	7,7	2,5
PT08	8	6	7	7	5	6	6,5	0,8
PT09	29	18	11	9	6	10	10,6	8,7
PT10	72	66	51	8	13	8	31,8	30,1
PT11	10	12	12	12	14	5	11,9	2,9
PT12	8	7	6	7	6	5	6,4	1,2
PT13	5	6	5	5	5	5	5,1	0,4
PT14	4	7	6	60	7	6	6,4	22,0
PT16	7	7	6	10	6	10	7,0	1,9
PT17	41	24	60	11	35	5	29,5	20,3
PT18	39	NC	20	8	6	10	10,2	13,7
PT19	14	11	9	12	5	9	10,2	3,0
PT20	8	6	6	6	5	6	5,8	1,1
PT21	23	37	6	32	14	72	27,3	23,1
PT22	117	8	12	10	7	55	10,8	44,3
PT23	10	10	6	14	7	14	9,9	3,3
PT24	NC	37	12	10	17	8	12,4	11,8
PT25	NC	13	8	15	14	8	12,7	3,2
PT26	NC	10	8	5	6	5	5,9	2,0
PT27	NC	7	7	6	6	NC	6,1	0,7
PT28	NC	17	5	12	7	14	12,3	5,0
Média Mensal	23	18	12	12	8	13	12,4	5,3

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

6.1.2 Águas superficiais

pH

As águas superficiais em Itarema apresentam pH entre 6,3 e 8,5 (jul/2010), 6,6 e 8,8 (jan/2011), 6,2 e 8,7 (mai/2011), 5,1 e 9,6 (nov/2011), 5,4 e 8,2 (jan/2012) e 6,6 e 8,9 (jul/2012). As médias mensais foram de 7,8, 7,9, 7,8, 7,5, 6,9, e 7,9 para os respectivos períodos (Tabela 42).

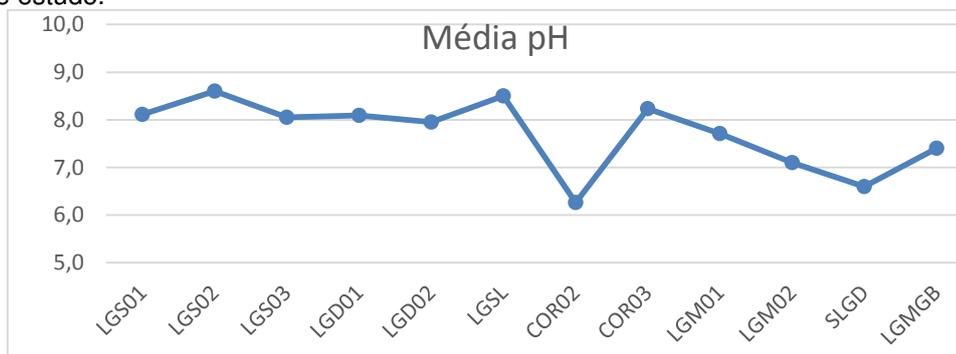
Tabela 42 – pH nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

pH								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	8,1	8,8	8,2	7,2	7,0	NC	8,1	0,8
LGS02	7,9	8,6	8,7	8,6	7,5	8,9	8,6	0,5
LGS03	8,5	7,8	8,3		5,4	NC	8,1	1,4
LGD01	7,8	8,4	8,2	7,9	8,0	8,3	8,1	0,2
LGD02	7,8	8,4	8,4	7,0	7,0	8,1	8,0	0,6
LGSL	8,5	8,4	8,5	9,6	8,2	8,9	8,5	0,5
COR02	6,3	6,4	6,2	5,1	5,7	6,6	6,3	0,6
COR03	8,0	8,3	8,2	8,7	7,8	8,6	8,2	0,3
LGM01	8,0	8,1	7,7	6,4	6,9	NC	7,7	0,7
LGM02	7,2	7,0	7,5	6,2	6,9	7,3	7,1	0,5
SLGD	NC	6,6	7,1	7,4	5,3	6,6	6,6	0,8
LGMGB	NC	7,5	7,3	8,2	7,2	7,4	7,4	0,4
Média Mensal	7,8	7,9	7,8	7,5	6,9	7,9	7,8	0,4

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

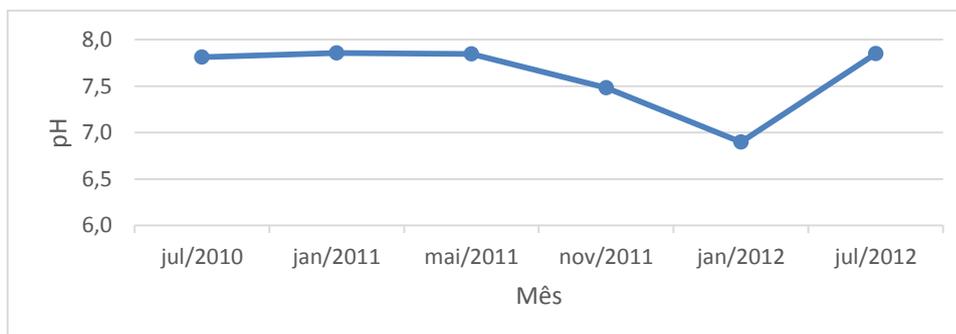
Os gráficos 19 e 20 ilustram a variação do pH nas amostras de água superficiais em Itarema.

Gráfico 19- Médias de pH por ponto de amostragem, das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Gráfico 20 - Médias mensais de pH nas águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Observa-se uma pequena variação de pH para as águas superficiais. Sendo as mais significativas para as amostras correspondentes a COR02 e SLGD. Já com relação aos períodos de coletas de amostras, observou-se maior variação de pH durante o período de jan/2012, considerado período chuvoso.

Comparando o pH das águas superficiais com os de água subterrânea, percebe-se uma pequena diferença entre essas. Sendo o pH das águas superficiais um pouco mais elevados que os de água subterrânea.

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica média das águas superficiais em Itarema durante o período de estudo variaram de 165 a 16.530 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (julho/2010), de 152 a 19.690 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (janeiro/2011), de 110 a 929 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (maio/2011), de 16,27 a 20.090 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (julho/2012). As médias mensais foram de 2.280 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, 5.043 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, 490 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 5.212 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ para os respectivos períodos (Tabela 43).

Tabela 43 - Condutividade elétrica nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

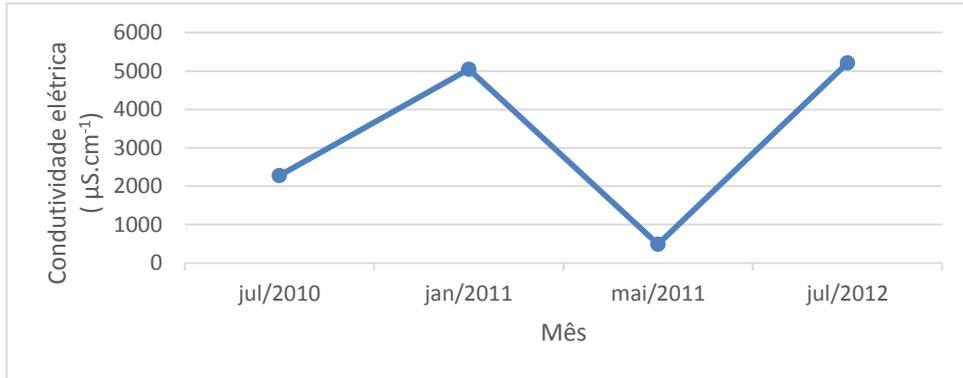
Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)					
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	jul/12	Média
LGS01	1107	18124	591	NC	1107
LGS02	1164	19690	564	20090	10427
LGS03	1071	405	508	NC	508
LGD01	1128	1376	925	2070	1252
LGD02	823	1388	929	16,27	876
LGSL	503	809	405	2500	656
COR02	117	152,9	110	254	135
COR03	16530	17190	882	20410	16860
LGM01	189	326	164	414	258
LGM02	165	255	158	NC	165
SLGD	NC	152	250	404	250
LGMGB	NC	653	394	749	653
Média Mensal	2280	5043	490	5212	3662

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Observa-se que nos meses em que a condutividade elétrica esteve mais elevada foram em jul/2010, jan/2011 e julho/2012, considerados períodos de estiagem. Jan/2011 fica aqui representado ainda como período de seca, devido as fracas precipitações que o antecederam e não sendo estas suficientes para caracterizar as alterações que marcam as diferenças entre os períodos chuvosos e secos. Essas diferenças nas precipitações podem ser observadas pelos Anexos 1

(Precipitação Posto Itarema) e Anexo 3 (Precipitação Posto Carvoeiro). No Anexo 1, observamos que em dez/2010 a precipitação registrada foi de 31 mm, em jan/2011 foi de 366 mm, em fev/2011 foi de 230 mm, em mar/2011 foi de 334 mm e em abr/2011 de 457 mm. E no Anexo 3 observamos que a precipitação em jan/2011 foi de 178 mm, em mar/2011 foi de 354 mm e em abr/2011 de 316 mm.

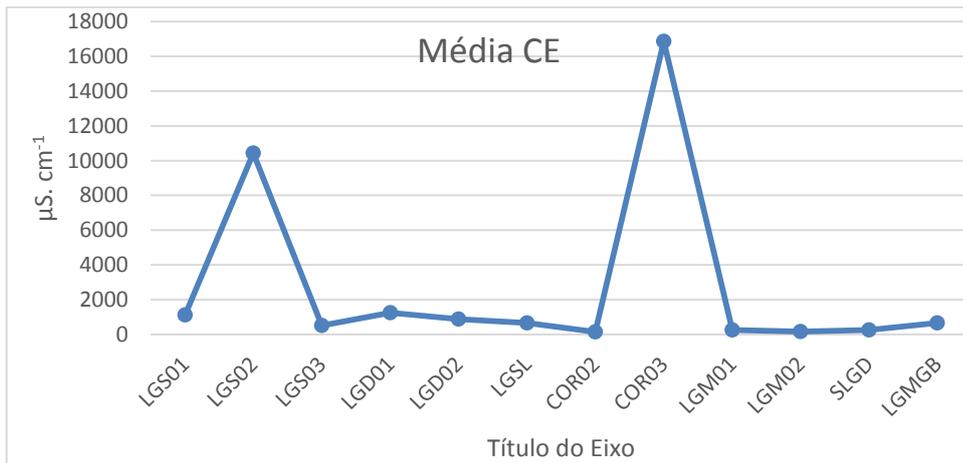
Gráfico 21 - Médias mensais de Condutividade elétrica das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

A seguir, o gráfico 22 o qual ilustra com as variações de condutividade elétrica durante o período de estudo, por ponto de amostragem.

Gráfico 22 - Médias de condutividade elétrica por ponto de amostragem, das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Observa-se os maiores valores de condutividade elétrica nos pontos de amostragem LGS02 e COR03. Contudo, o ponto LGS03 também poderia se encaixar entre esses pontos devido à sua localização muito próxima à linha de costa. Porém, o manancial representado por este ponto é intermitente, inviabilizando a sua coleta, este não pôde ter sua condutividade quantificada em todas as etapas do estudo.

Salinidade

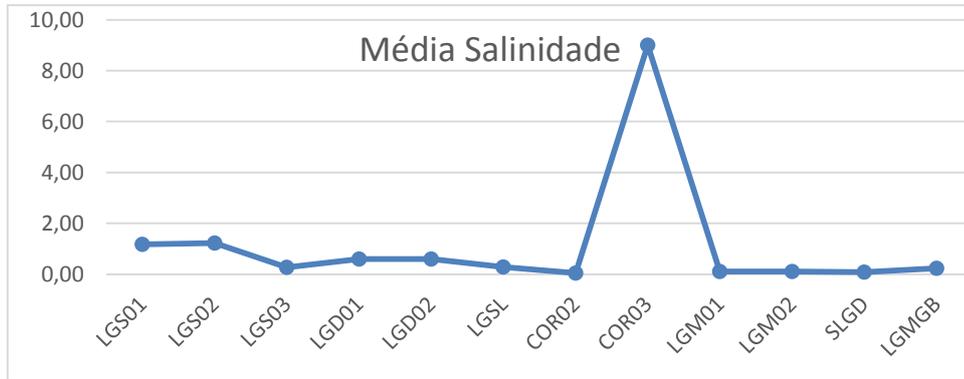
Assim como observados no estudo de condutividade elétrica, os pontos de amostragem LGS02 e COR03 apresentaram as maiores salinidades entre os demais. E a mesma observação com relação ao ponto de amostragem LGS03 se aplica, já que este durante os períodos de estiagem manteve-se seco, inviabilizando a coleta de água e a quantificação de salinidade deste. Observa-se ainda que as águas superficiais mais distantes da linha de costa, como LGM01, LGM02, SLGD e LGMGB, apresentaram baixa salinidade, conforme podemos observar pelos dados da Tabela 44 e Gráfico 23. Destaque para a elevada salinidade do ponto COR 03, o qual se localiza muito próximo ao mar.

Tabela 44 - Salinidade nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Salinidade							
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	0,69	18,4	0,36	75,8	1,18	1,18	32,51
LGS02	0,7	19,1	0,37	67,8	1,23	1,23	29,04
LGS03	0,58	0,28	0,26	NC	0,15	0,27	0,18
LGD01	0,58	0,76	0,52	0,6	0,62	0,60	0,09
LGD02	0,58	0,73	0,50	0,6	0,61	0,60	0,08
LGSL	0,29	0,73	0,2	0,46	0,28	0,29	0,21
COR02	0,05	0,07	0,05	0,05	0,04	0,05	0,01
COR03	9,01	26,9	0,46	41,2	4,45	9,01	17,15
LGM01	0,08	0,12	0,07	0,11	0,11	0,11	0,02
LGM02	0,08	0,12	0,08	0,11	0,11	0,11	0,02
SLGD	NC	0,07	0,12	0,10	0,07	0,09	0,02
LGMGB	NC	0,32	0,17	0,23	0,25	0,24	0,06
Média Mensal	1,26	5,63	0,26	17,01	0,76	1,26	7,05

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

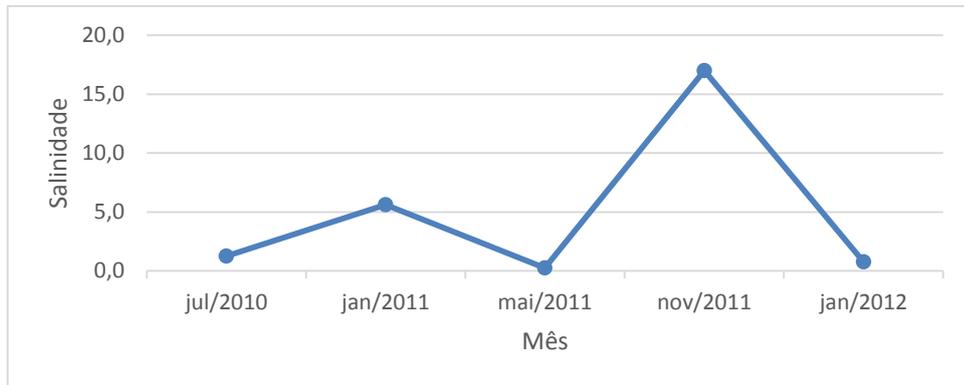
Gráfico 23 - Médias de salinidade por ponto de amostragem, das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

As maiores salinidades foram observadas durante os períodos de maior estiagem. Períodos esses caracterizados pela forte incidência solar o que contribui para evaporação dessas águas e concentração dos sais nessas presentes.

Gráfico 24 - Médias mensais de Salinidade das águas superficiais em Itarema, durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

A seguir as Tabelas de números 45 a 64 apresentam os valores dos demais parâmetros analisados para as águas superficiais estudadas em Itarema. Entre estes os parâmetros DBO, Fósforo Total, Nitrogênio Total, Turbidez, Sólidos totais suspensos e saturação de oxigênio dissolvido serão aplicados na classificação quanto ao IQA (Item 6.4).

Nitrato

Tabela 45 - Nitrato nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Nitrato (N-NO ₃) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	0	0	0	0	0	NC	0,00	0,00
LGS02	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
LGS03	0	0	0,50		0,00	NC	0,00	0,25
LGD01	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
LGD02	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
LGSL	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
COR02	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
COR03	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
LGM01	0	0	0	0	0	NC	0,00	0,00
LGM02	0,3	0	0	0	0	0	0,00	0,12
SLGD	NC	0	1	0	0	0	0,00	0,45
LGMGB	NC	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Média Mensal	0,03	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Nitrogênio Total

Tabela 46 – Nitrogênio total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Nitrogênio total (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01		0,2	0,04	1,1	0,1	NC	0,15	0,50
LGS02	0,58	0,19	0,14	0,8	0,1	0,76	0,39	0,32
LGS03	0,59	0,46	0,02		0,20		0,33	0,26
LGD01		0,33	0,2	0,7	0,4	1,55	0,40	0,54
LGD02		0,62	0,23	0,6	0,3	1,76	0,60	0,62
LGSL	0,1	0,12	0,16	0,6	0,3		0,16	0,21
COR02	ANR	0,15	0,01	0,1	0	0,25	0,10	0,10
COR03	ANR	0,25	0,02	0,1	0,1	0,85	0,10	0,34
LGM01	0,68	0,56	0,18	0,3	0,2		0,30	0,22
LGM02	0,27	0,27	0,39	0,3	0,3	1,7	0,30	0,57
SLGD	NC	0,17	0,01	0,7	0,2	0,46	0,20	0,27
LGMGB	NC	0,15	0,02	0,2	0	0,54	0,15	0,22
Média Mensal	0,44	0,29	0,12	0,50	0,18	0,98	0,37	0,31

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Cálcio

Tabela 47 - Cálcio nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Amostra	Cálcio (Ca ²⁺) (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
LGS01	26,0	224,0	19,0	11,0	48,0	NC	26,0	89,6
LGS02	27,0	352,0	19,0	8,0	42,0	864,0	34,5	342,5
LGS03	22,0	21,0	22,0		10,0	NC	21,5	5,9
LGD01	15,0	24,0	18,0	18,0	30,0	27,0	21,0	5,9
LGD02	15,0	27,0	19,0	18,0	19,0	22,0	19,0	4,1
LGSL	21,0	32,0	26,0	24,0	16,0	112,0	25,0	36,4
COR02	5,0	8,0	3,0	2,0	1,0	3,0	3,0	2,5
COR03	74,0	640,0	18,0	3,0	74,0	752,0	74,0	340,7
LGM01	6,0	10,0	6,0	5,0	1,0	ANC	6,0	3,2
LGM02	6,0	6,0	5,0	5,0	1,0	5,0	5,0	1,9
SLGD	NC	10,0	5,0	2,0	2,0	6,0	5,0	3,3
LGMGB	NC	13,0	3,0	5,0	26,0	13,0	13,0	9,1
Média Mensal	21,7	113,9	13,6	9,2	22,5	200,4	22,1	77,7

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Magnésio

Tabela 48 - Magnésio nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Amostra	Magnésio (Mg ²⁺) (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
LGS01	24,0	826,0	4,0	4409,0	47,0	NC	47,0	1903,0
LGS02	23,0	749,0	3,0	4795,0	52,0	2189,0	400,5	1906,8
LGS03	23,0	12,0	1,0		13,0	NC	12,5	9,0
LGD01	17,0	27,0	12,0	22,0	19,0	24,0	20,5	5,3
LGD02	12,0	25,0	9,0	22,0	24,0	27,0	23,0	7,5
LGSL	14,0	24,0	6,0	48,0	112,0	106,0	36,0	46,6
COR02	2,0	2,0	2,0	10,0	12,0	2,0	2,0	4,7
COR03	202,0	979,0	15,0	2782,0	158,0	2016,0	590,5	1142,0
LGM01	2,0	10,0	0,0	12,0	20,0		10,0	8,1
LGM02	4,0	7,0	3,0	5,0	16,0	27,0	6,0	9,4
SLGD		5,0	3,0	12,0	6,0	25,0	6,0	8,9
LGMGB		8,0	1,0	11,0	6,0	165,0	8,0	71,0
Média Mensal	32,3	222,8	4,9	1102,5	40,4	509,0	131,6	428,4

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Bicarbonato

Tabela 49 - Bicarbonato nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	59	74	44,4	197	59	NC	59,00	62,55
LGS02	64	49	39,4	217	54	187,00	59,00	78,65
LGS03	69	49	44,40	NC	39,00	NC	46,70	13,09
LGD01	67	610	268,4	390	425	173,00	329,20	194,05
LGD02	67	123	59,1	69	89	171	79,00	43,21
LGSL	94	89	78,9	197	79	64	84,00	48,47
COR02	12	10	4,9	15	25	325	13,50	127,39
COR03	52	163	64,1	158	84	35	74,05	54,93
LGM01	12	25	9,9	20	20	20	20,00	5,70
LGM02	15	35	19,7	35	30	202	32,50	71,93
SLGD	NC	20	4,9	15	20	35	20,00	10,87
LGMGB	NC	25	4,9	10	15	49	15,00	17,44
Média Mensal	51,10	106,00	53,58	120,27	78,25	126,10	92,13	33,01

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. ANR: Análise Não Realizada.

Dureza total

Tabela 50 - Dureza total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Dureza Total (Ca ⁺² e Mg ⁺²) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	164	4000	64	18400	316	NC	316	7896,3
LGS02	162	4000	60	20000	320	11280,0	2160	8117,9
LGS03	150	100	60,0	NC	80,0	NC	90	38,6
LGD01	108	172	92	136,0	156	168,0	146	32,9
LGD02	88	172	84	136	148	168	142	38,5
LGSL	112	180	88	260	508	720	220	251,1
COR02	20	28	16	44	48	16	24	14,2
COR03	1026	5680	108	11600	844	10280	3353	5076,7
LGM01	22	64	16	60	84	NC	60	29,1
LGM02	30	44	24	32	68	124	38	37,8
SLGD	NC	44	24	56	28	120	44	38,8
LGMGB	NC	64	12	56	88	720	64	298,7
Média Mensal	188	1212	54	4616	224	2622	718	1816,1

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Sódio

Tabela 51 - Sódio nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Sódio (Na ⁺) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	111	2250	89	31145	309	NC	309	13650,0
LGS02	134	1980	94	32009	307	ANR	307	14055,6
LGS03	101	5	81,0		50,0	NC	66	41,8
LGD01	96	48	142	210	179	243,0	161	72,7
LGD02	92	46	138	224	182	271	160	83,7
LGSL	52	25	59	183	79	49	56	55,9
COR02	19	5	28	26	19	ANR	19	9,0
COR03	816	1440	138	17999	1061	ANR	1061	7677,8
LGM01	3	5	33	43	41	NC	33	19,5
LGM02	11	5	33	35	39	73	34	24,1
SLGD	NC	5	50	10	27	ANR	19	20,3
LGMGB	NC	23	68	79	81	115	79	33,1
Média Mensal	144	486	79	7451	198	150	174	2959,0

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. ANR: Análise Não Realizada.

Potássio

Tabela 52 - Potássio nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Potássio (K ⁺) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	5	50	7	976	21	NC	21,00	427,58
LGS02	9	42	7	1082	21	ANR	21,00	475,26
LGS03	5	4	7		12,00	NC	6,00	3,56
LGD01	10	14	21	25	27	31	23,00	8,02
LGD02	10	13	18	26	28	32	22,00	8,82
LGSL	3	7	5	17	8	ANR	7,00	5,39
COR02	1	4	3	2	2	ANR	2,00	1,14
COR03	26	24	10	870	56	ANR	26,00	376,48
LGM01	1	4	3	4	4	NC	4,00	1,30
LGM02	1	4	3	4	3	8	3,50	2,32
SLGD	NC	4	5	0	8	ANR	4,50	3,30
LGMGB	NC	7	10	11	13	17	11,00	3,71
Média Mensal	7,10	14,75	8,25	274,27	16,92	22,00	15,83	106,48

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. ANR: Análise Não Realizada.

Cloreto

Tabela 53 - Cloreto nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Cloreto (Cl ⁻) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	268	12701	131	50000	2340	NC	2340,00	21274,41
LGS02	275	15878	129	33442	2732	27396	9305,00	14600,35
LGS03	268	393	110		1558	NC	330,50	660,73
LGD01	305	411	262	299	323	804	314,00	203,73
LGD02	212	407	207	309	311	256	282,50	75,34
LGSL	95	195	65	188	117	61	106,00	58,97
COR02	8	57	16	65	29	23	26,00	22,93
COR03	2929	15679	225	22504	31	43050	9304,00	16890,60
LGM01	42	50	27	78	63	NC	50,00	19,53
LGM02	110	40	25	78	57	ANR	57,00	33,31
SLGD	NC	34	53	98	31	53	53,00	26,77
LGMGB	NC	167	80	131	125	147	131,00	32,34
Média Mensal	451,20	3834,33	110,83	9744,73	643,08	8973,75	2238,71	4398,78

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. ANR: Análise Não Realizada.

Fluoreto

Tabela 54 - Fluoreto nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Fluoreto (F ⁻) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	0,20	0,50	0,08	0,60	0,40	NC	0,40	0,21
LGS02	0,20	0,50	0,08	0,70	0,30	0,30	0,30	0,22
LGS03	0,10	0,06	0,08	NC	0,40	NC	0,09	0,16
LGD01	0,06	0,08	0,05	0,06	0,30	0,06	0,06	0,10
LGD02	0,06	0,07	0,05	0,05	0,30	0,06	0,06	0,10
LGSL	0,10	0,10	0,05	0,20	0,30	0,20	0,15	0,09
COR02	0,05	0,05	0,05	0,03	0,30	0,06	0,05	0,10
COR03	0,30	0,90	0,10	0,80	0,40	0,30	0,35	0,31
LGM01	0,04	0,05	0,05	0,04	0,30	NC	0,05	0,11
LGM02	0,04	0,05	0,05	0,03	0,30	0,06	0,05	0,10
SLGD	NC	0,04	0,04	0,03	ANR	0,10	0,04	0,03
LGMGB	NC	0,05	0,06	0,03	0,20	0,05	0,05	0,07
Média Mensal	0,12	0,20	0,06	0,23	0,32	0,13	0,17	0,09

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. ANR: Análise Não Realizada.

Alcalinidade Total

Tabela 55 - Alcalinidade total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Alcalinidade Total (CaCO ₃) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	48	60	36	162	48	NC	48,00	51,68
LGS02	53	40	32	178	44	154	48,50	64,71
LGS03	57	40	36	NC	32	NC	38,00	11,00
LGD01	55	500	220	320	340	141	270,00	158,33
LGD02	55	101	48	57	73	140	65,00	35,39
LGSL	77	72	64	162	65	53	68,50	39,95
COR02	10	8	4	12	20	267	11,00	104,73
COR03	42	133	52	129	69	28	60,50	45,04
LGM01	10	20	8	16	16	NC	16,00	4,90
LGM02	12	28	16	28	24	166	26,00	59,31
SLGD	NC	16	4	12	16	28	16,00	8,67
LGMGB	NC	20	4	8	12	40	12,00	14,25
Média Mensal	41,90	86,50	43,67	98,55	63,25	113,00	74,88	29,48

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Sulfato

Tabela 56 - Sulfato total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Sulfato (SO ₄ ⁻²) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	62	1041	27	440	69	NC	69,00	432,83
LGS02	54	1049	24	418	79	42	248,50	391,43
LGS03	54	37	23		38	NC	37,50	12,68
LGD01	10	16	4	17	13	13	13,00	4,71
LGD02	7	16	6	15	10	19	12,50	5,27
LGSL	18	54	7	39	46	112	42,50	36,81
COR02	2	20	1	19	4	1	3,00	9,11
COR03	58	1191	34	449	127	399	263,00	435,93
LGM01	6	19	2	8	4	NC	6,00	6,65
LGM02	6	16	2	9	4	15	7,50	5,79
SLGD	NC	22	2	9	3	1	3,00	8,73
LGMGB	NC	28	12	35	28	38	28,00	10,06
Média Mensal	27,70	292,42	12,00	132,55	35,42	113,89	74,65	105,25

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Fósforo total

Tabela 57 - Fósforo total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Fósforo total (mg P/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	0,06	0,03	0,07	0,06	0,00	NC	0,06	0,03
LGS02	0,08	0,05	0,03	0,07	0,00	0,45	0,06	0,17
LGS03	0,10	0,63	0,09	NC	0,02	NC	0,10	0,28
LGD01	0,02	0,02	0,02	0,08	0,00	0,03	0,02	0,03
LGD02	0,03	0,01	0,04	0,08	0,00	0,05	0,04	0,03
LGSL	0,03	0,04	0,02	0,08	0,00	0,02	0,03	0,03
COR02	0,02	0,02	0,02	0,07	0,00	0,02	0,02	0,02
COR03	0,07	0,04	0,11	0,1	0,00	0,20	0,09	0,07
LGM01	0,05	0,1	0,03	0,07	0,00	NC	0,05	0,04
LGM02	0,04	0,07	0,03	0,07	0,00	0,05	0,05	0,03
SLGD	NC	0,07	0,01	0,02	0,00	0,05	0,02	0,03
LGMGB	NC	0,04	0,02	0,08	0,00	0,13	0,04	0,05
Média Mensal	0,05	0,09	0,04	0,07	0,00	0,11	0,06	0,04

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Sílica

Tabela 58 - Sílica nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Sílica (SiO ₂) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	9,2	1,5	7,0	5,3	15,7	NC	7,00	5,27
LGS02	4,6	1,6	7,2	6,1	14,2	1,00	5,35	4,79
LGS03	17,3	13,2	5,80	NC	12,8	NC	13,00	4,77
LGD01	8,1	45,7	19,1	39,3	26,1	16,00	22,60	14,37
LGD02	1,1	42,3	24,2	39,3	27	15,0	25,60	15,36
LGSL	4,6	19,8	12,2	21,9	13,3	34,0	16,55	10,09
COR02	4,6	1,0	1,0	10,9	8,9	7	5,80	4,10
COR03	17,3	2,0	7,7	4,7	7,2	3,0	5,95	5,53
LGM01	8,1	8,8	4,8	6,8	4,9	NC	6,80	1,82
LGM02	1,1	5,1	5,3	7,2	5,9	5	5,20	2,05
SLGD	NC	2,4	2,6	12,8	13,3	7,0	7,00	5,29
LGMGB	NC	21,1	7,5	28,2	15,2	13	15,20	7,93
Média Mensal	7,60	13,71	8,70	16,59	13,71	11,22	12,47	3,40

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Ferro total

Tabela 59 - Ferro total nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Ferro Total (Fe ⁺² + Fe ⁺³) (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	1,5	0	2,1	0,6	3,3	NC	1,5	1,3
LGS02	2,1	0	0,2	2,7	3,5	2,6	2,4	1,4
LGS03	1,4	1	0,0	NC	4,7	NC	1,2	2,0
LGD01	0,2	0	0	0	1,1	1,2	0,1	0,6
LGD02	0,3	0	0	0	2,3	1,7	0,2	1,0
LGSL	0,4	0,5	0,5	0,2	1,1	3,9	0,5	1,4
COR02	0,5	0,2	0	0	0,8	3,5	0,4	1,3
COR03	1,3	0,6	1,1	1,8	2,9	3,3	1,6	1,1
LGM01	0,4	0,6	0	0,2	1	NC	0,2	0,5
LGM02	0,3	0,3	0,1	0,1	1,3	2	0,3	0,8
SLGD	NC	1,1	1,1	3,8	1,3	3,3	1,3	1,3
LGMGB	NC	0	0	0,1	0,5	3,5	0,1	1,5
Média Mensal	0,8	0,4	0,4	0,9	2,0	2,8	0,8	1,0

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Sólidos totais dissolvidos

Tabela 60 - Sólidos totais dissolvidos nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Sólidos totais dissolvidos (mg/L)								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	9,5	12,7	0,1	90,7	0,7	NC	9,50	38,38
LGS02	1,1	12	0,1	42,7	12	1,00	6,55	16,26
LGS03	2,4	0,1	0,80	NC	3,00	NC	1,60	1,35
LGD01	0,3	0,9	1,8	0,5	5,8	2,00	1,35	2,04
LGD02	0,7	2,3	2,4	0,5	2,8	1,6	1,95	0,95
LGSL	0,5	0,1	6,7	0,1	3,2	1,9	1,20	2,57
COR02	0,2	0,2	NC	0,2	6	0,6	0,20	2,55
COR03	4,3	19,2	28,8	5,8	2,1	3,9	5,05	10,82
LGM01	1,7	2,2	0,1	1	2,1	NC	1,70	0,88
LGM02	0,7	1,1	0,1	1,3	2,5	0,7	0,90	0,81
SLGD	NC	1,5	0,1	1,4	0,6	1	1,00	0,58
LGMGB	NC	0,3	11,4	3,1	0,5	0,8	0,80	4,71
Média Mensal	2,14	4,38	4,76	13,39	3,44	1,50	3,91	4,33

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Saturação de Oxigênio Dissolvido

Tabela 61 - Saturação de Oxigênio Dissolvido nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Saturação de Oxigênio Dissolvido (%)							
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	40	57,7	36	57	46,7	46,70	9,79
LGS02	46	96,7	46,5	92,6	39,1	46,50	28,01
LGS03	41	44	31,30	NC	45,20	42,50	6,30
LGD01	42	53,3	33,7	56,9	47,0	47,00	9,20
LGD02	44	69,9	37,2	49,4	49,5	49,40	12,21
LGSL	46	40,6	51	94	49,2	49,20	21,52
COR02	43	35,4	19	34,4	67,0	35,40	17,54
COR03	67	47,9	25,7	94,4	56,0	56,00	25,27
LGM01	60	58,6	44,1	56,1	52,0	56,10	6,39
LGM02	49	51,9	35	52,8	50,0	50,00	7,28
SLGD	NC	51,6	23	32,1	45,0	38,55	12,83
LGMGB	NC	76,0	49,0	85,6	60,0	68,00	16,31
Média Mensal	47,80	56,97	35,96	64,12	50,56	50,56	10,54

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Turbidez

Tabela 62 - Turbidez nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Turbidez								
Amostra	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12	Média	DESVIO PADRÃO
LGS01	495,0	52,8	20,0	4,8	44,0	NC	44,00	208,65
LGS02	531,0	18,0	20,0	25,8	45,0	7,90	22,90	207,61
LGS03	219,0	41,0	60,00	NC	75,00	NC	67,50	81,36
LGD01	ANR	9,2	11,0	7,6	14,0	11,20	11,00	2,40
LGD02	9,9	8,0	11,0	7,9	10,0	11,5	9,95	1,50
LGSL	12,8	12,8	9,0	6,0	35,0	24,0	12,80	10,88
COR02	9,1	10,8	20,0	6,5	8,7	9,0	9,05	4,77
COR03	106,0	58,0	34,0	37,0	59,0	11	47,50	32,32
LGM01	15,0	7,4	9,0	5,9	11,0	NC	9,00	3,54
LGM02	12,0	16,5	14,0	5,9	11,5	16,0	13,00	3,88
SLGD	NC	7,2	15,0	12,0	11,7	9,6	11,70	2,91
LGMGB	NC	7,4	9,0	8,0	14,0	16,6	9,00	4,07
Média Mensal	156,64	20,76	19,33	11,58	28,24	12,98	20,05	56,68

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada. ANR: Análise Não Realizada.

DBO

Tabela 63 - DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Amostra	DBO (mg/L)			Média	DESVIO PADRÃO
	mai/11	nov/11	jan/12		
LGS01	4,0	7,0	8,22	6,41	2,17
LGS02	4,6	8,4	8,4	7,13	2,19
LGS03	3,10	NC	7,40	5,25	3,04
LGD01	5,6	3,8	6,7	5,37	1,46
LGD02	4,4	4,3	7,6	5,43	1,88
LGSL	2,7	3,6	8,0	4,77	2,84
COR02	3,8	4,7	5,8	4,77	1,00
COR03	2,2	6,6	8,3	5,70	3,15
LGM01	5,4	3,7	8,5	5,87	2,43
LGM02	5,4	2,0	5,9	4,43	2,12
SLGD	2,0	2,0	7,9	3,97	3,41
LGMGB	3,8	2,5	10,7	5,67	4,41
Média Mensal	3,92	4,42	7,79	4,42	2,10

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Sólidos totais suspensos

Tabela 64 - Sólidos totais suspensos nas águas superficiais em Itarema durante o período de coleta.

Amostra	Sólidos totais suspensos (mg/L)						Média	DESVIO PADRÃO
	jul/10	jan/11	mai/11	nov/11	jan/12	jul/12		
LGS01	555	12.747,33	0	92.725,33	667,33	NC	667,33	40263,16
LGS02	586	12.021,63	0	42.654,66	12.062,00	1.012,50	6517,07	16324,72
LGS03	543	NC	756	seco	3.028,00	NC	756,00	1377,42
LGD01	520	884,66	1.813,33	470	5.826,00	2.056	1349,00	2020,88
LGD02	414	2.298,00	2.421,33	487,3	2.830,00	1.577,80	1937,90	1028,57
LGSL	297	NC	6.782,00	143,33	3.266,00	1.897,18	1897,18	2724,47
COR02	38	206,66	NC	165,24	6.072,60	643	206,66	2608,00
COR03	3623	19.215,33	28.823,00	5.789,10	2.106,00	3.980,00	4884,55	10900,40
LGM01	NC	2.245,67	0	974,8	2.176,00	ANC	1575,40	1072,03
LGM02	147	1.133,00	0	1.293,33	2.538,60	688	910,50	926,18
SLGD	NC	1.525,33	0	1.380,66	608,6	966	966,00	616,70
LGMGB	NC	346,66	11.351,00	3.112,00	478	792	792,00	4684,94
Média Mensal	746,96	5262,43	4722,42	13563,25	3471,59	1512,50	4097,01	4603,82

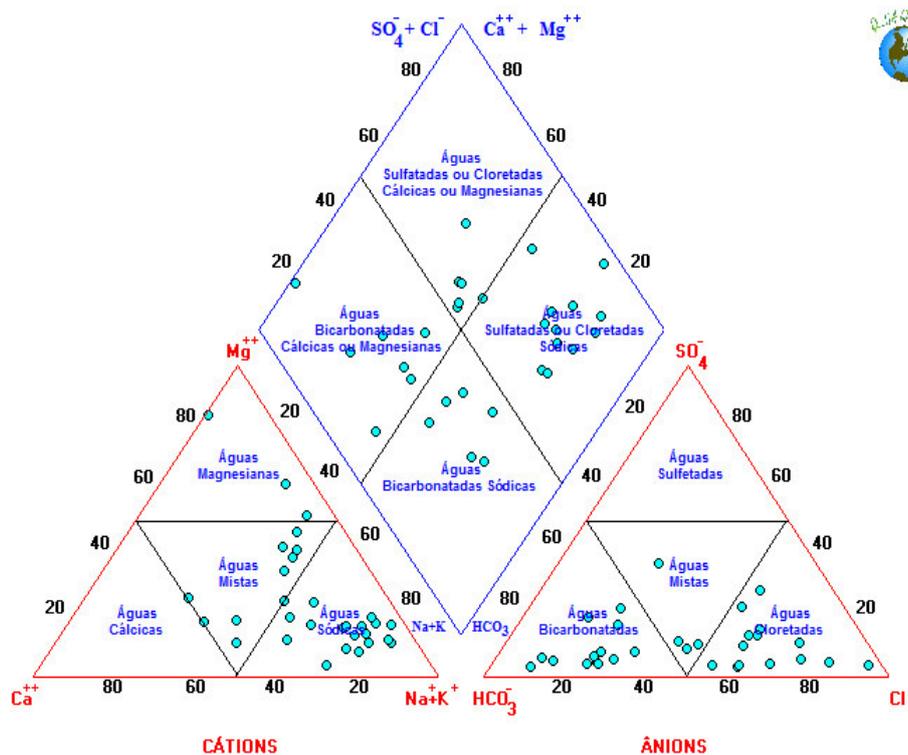
Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

6.2 Classificação e Interação entre as águas subterrâneas e superficiais.

6.2.1 Diagramas de Piper e Classificação quanto aos Sais Totais Dissolvidos (águas subterrâneas).

Primeira campanha (Julho de 2010 (seco)).

Figura 16 - Diagrama de Piper - Primeira Campanha (Julho de 2010). Águas Subterrâneas.

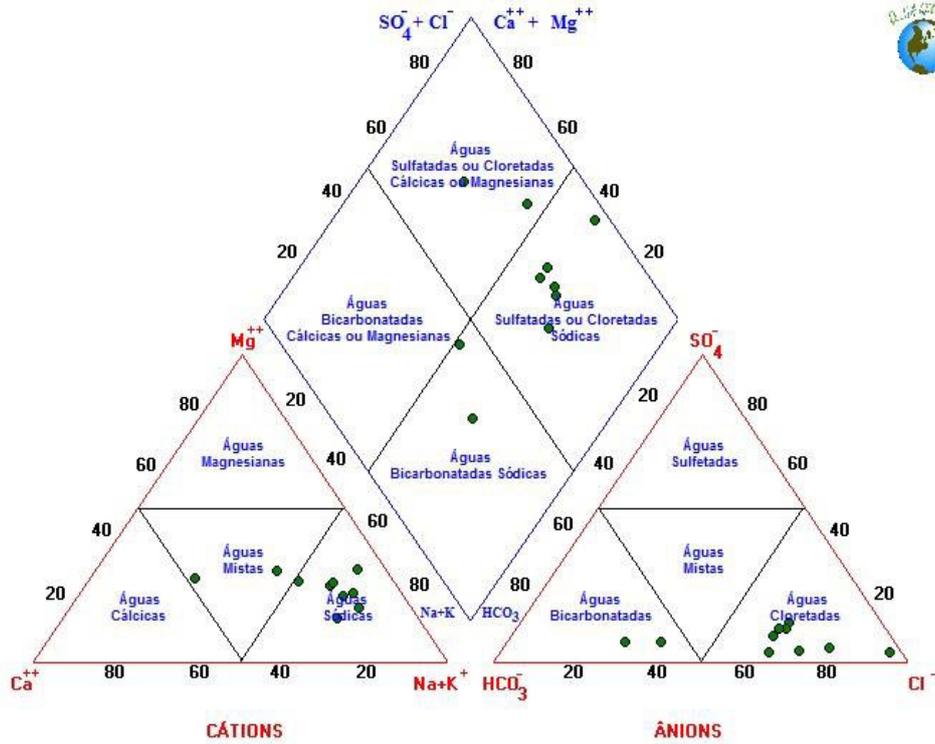


Fonte: A autora.

Em 61% das amostras de água subterrânea da primeira amostragem o cátion dominante foi o sódio. Águas cálcicas e águas magnesianas praticamente não foram encontradas. Quanto aos ânions, as águas foram predominantemente cloretadas e bicarbonatadas em proporção quase igual. Águas sulfatadas não foram encontradas. Considerando cátions e ânions, os tipos predominantes de água foram cloretada sódica e bicarbonatada sódica.

Já para as águas superficiais da primeira amostragem, assim como as subterrâneas, também são do tipo cloretada sódica e bicarbonatada sódica. Porém as do tipo cloretada sódica estão em porcentagem maior. Isso evidencia a influência marinha sobre os mananciais costeiros da região.

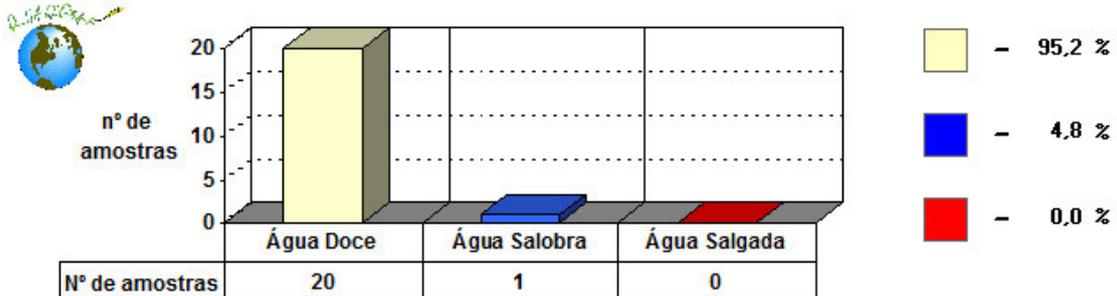
Figura 17 - Diagrama de Piper - Primeira Campanha (Julho de 2010). Águas Superficiais.



Fonte: A autora.

A seguir o gráfico ilustrativo da classificação das águas subterrâneas quanto à classificação dos sais dissolvidos. Percebe-se que 95,2% das amostras são classificadas como água doce.

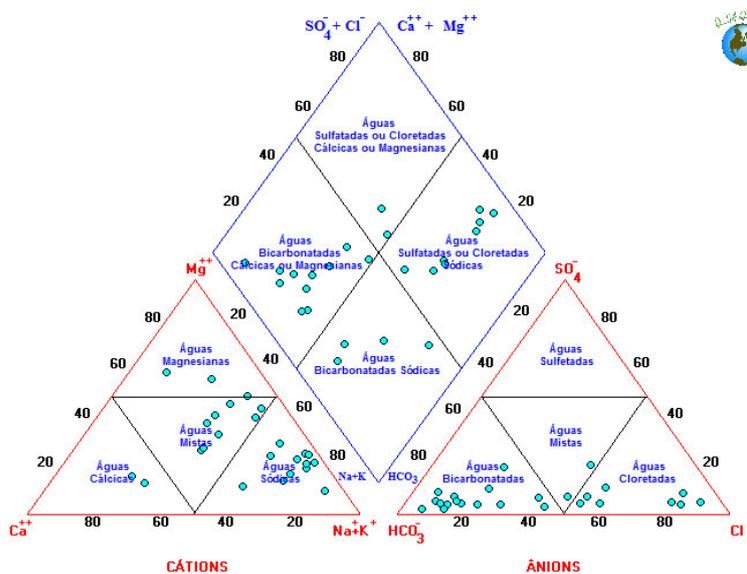
Gráfico 25 - Classificação quanto aos sais dissolvidos - Primeira Campanha (Julho de 2010). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

Segunda campanha (Janeiro de 2011 (chuvoso)).

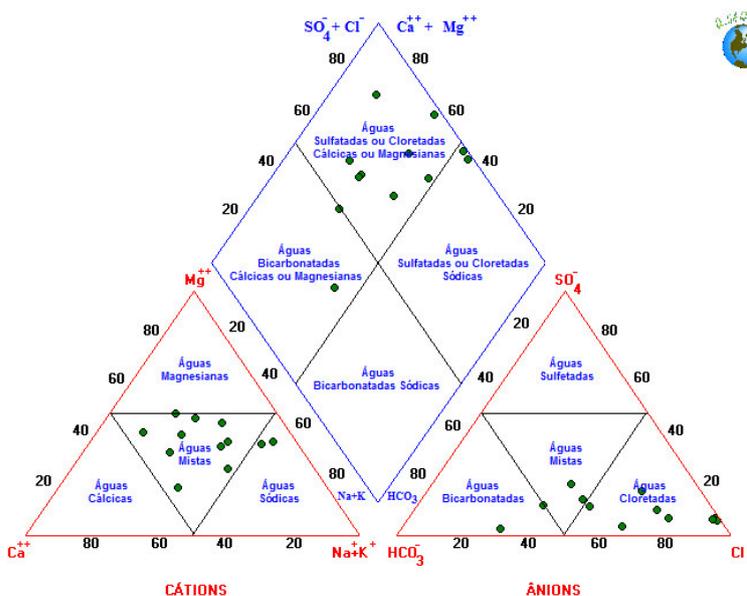
Figura 18 - Diagrama de Piper - Segunda Campanha (Janeiro de 2011). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

Assim como na primeira amostragem das águas subterrâneas, os ânions dominantes foram bicarbonato e cloreto. E quanto aos cátions dominam águas sódicas e mistas.

Figura 19 - Diagrama de Piper - Segunda Campanha (Janeiro de 2011). Águas Superficiais.

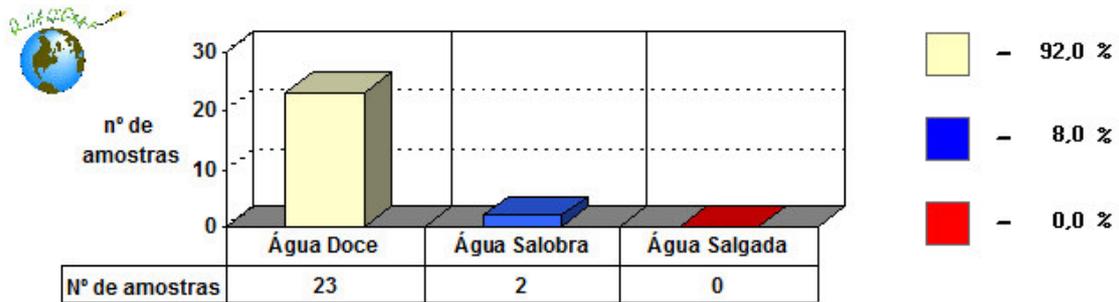


Fonte: A autora.

Com relação às águas superficiais, quanto aos cátions, os íons cálcio, e magnésio apresentaram-se praticamente nas mesmas proporções, resultando em águas mistas. E quanto aos ânions, na maioria das águas predominou o cloreto. Portanto, o tipo predominante de água foi cloretada mista.

A seguir o gráfico 26 que ilustra a classificação das águas subterrâneas quanto aos sais dissolvidos. Percebe-se que 92% das amostras são classificadas como água doce.

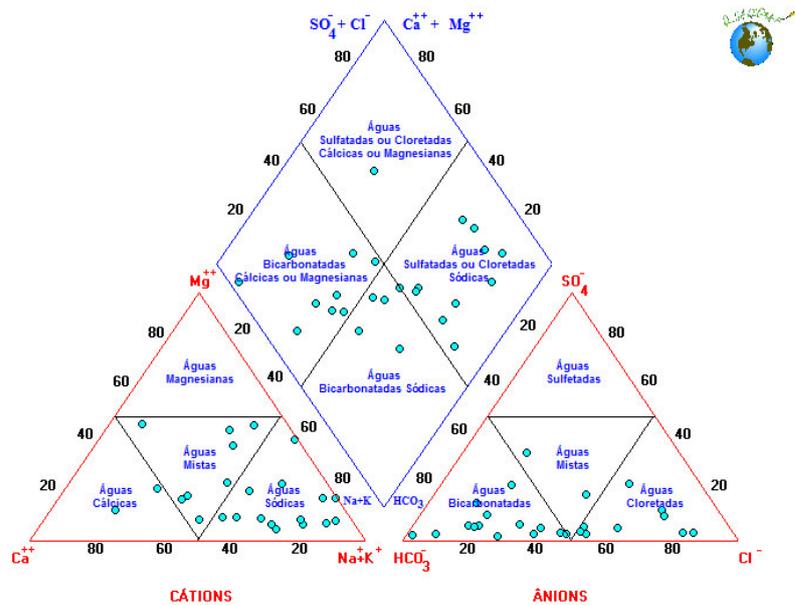
Gráfico 26 - Classificação quanto aos sais dissolvidos – Segunda Campanha (Janeiro de 2011). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

Terceira campanha (Maio de 2011 (término do período chuvoso)).

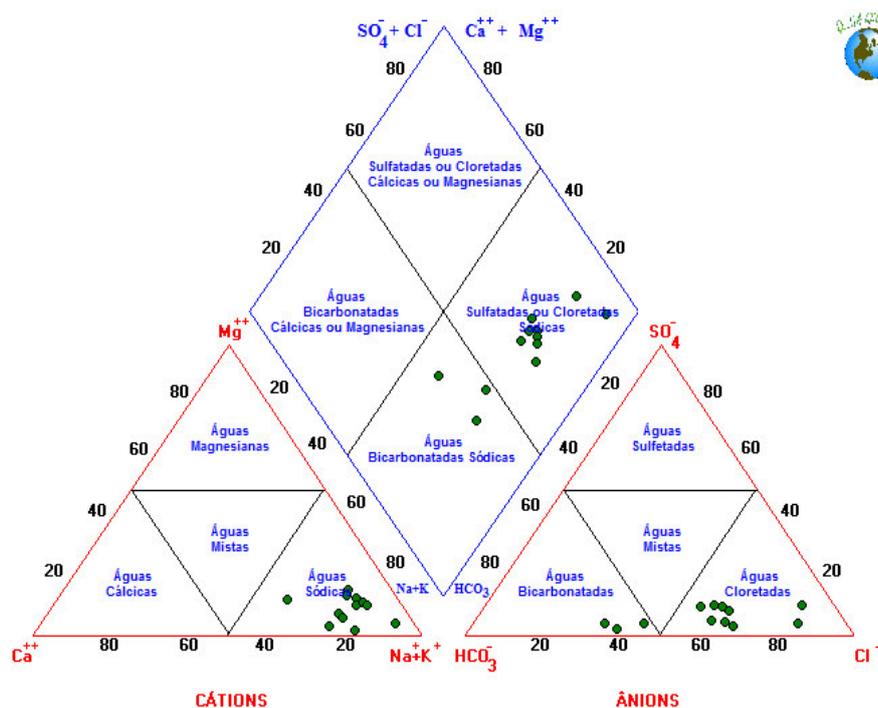
Figura 20 - Diagrama de Piper – Terceira Campanha (Maio de 2011). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

As amostras de água subterrânea dividem-se em bicarbonatadas (60%) e cloretadas, quanto aos cátions podem ser sódicas (56%), mistas e cálcicas. Os tipos de água com maior quantidade de amostras são cloretadas sódicas (40%), bicarbonatadas cálcio-magnesianas e bicarbonata sódica. Águas bicarbonatadas são águas jovens, o que indica que o aquífero costeiro é alimentado por chuvas atuais.

Figura 21 - Diagrama de Piper – Terceira Campanha (Maio de 2011). Águas Superficiais.

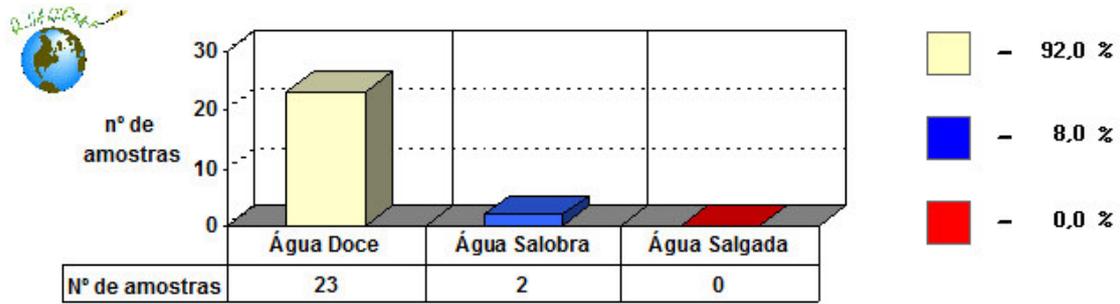


Fonte: A autora.

Observa-se durante a terceira campanha de amostragem para águas superficiais que 100% (12 amostras) apresentam-se como águas sódicas (cátions), 75% (9 amostras) como águas cloretadas (ânions), e 75% (9 amostras) como cloretadas sódicas (composição geral).

A seguir o gráfico 27 que ilustra a classificação das águas subterrâneas quanto aos sais dissolvidos para esta campanha de amostragem. Percebe-se que 92% das amostras são classificadas como água doce.

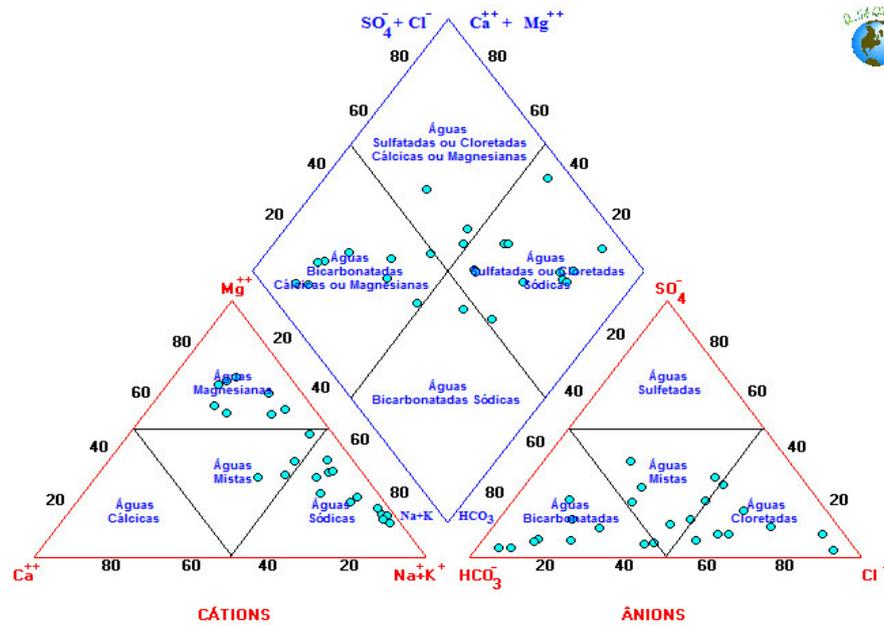
Gráfico 27 - Classificação quanto aos sais dissolvidos – Terceira Campanha (Maio de 2011). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

Quarta campanha (Novembro de 2011 (seco)).

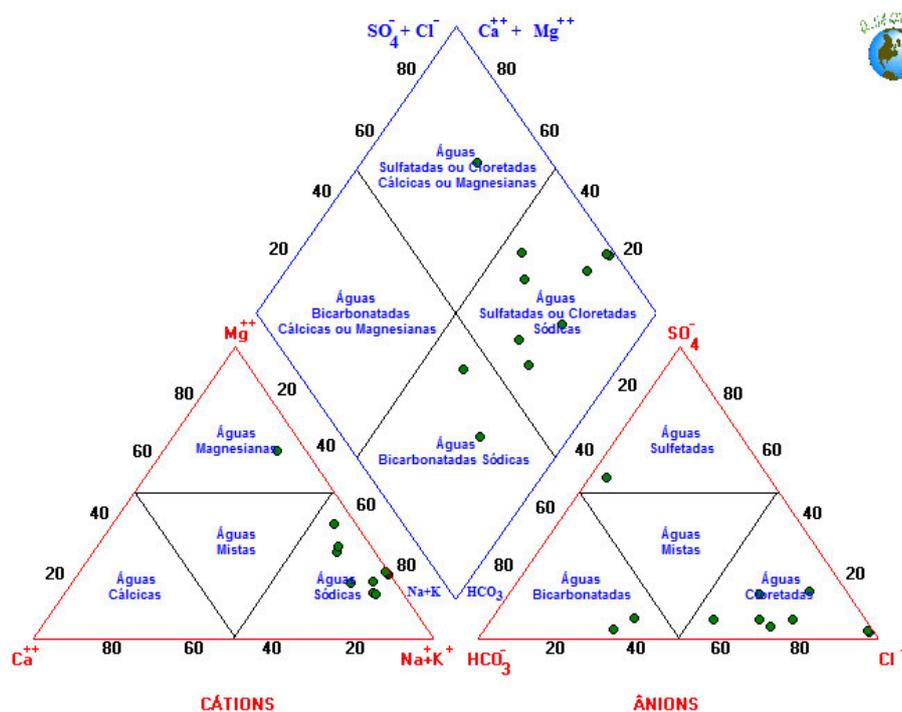
Figura 22 - Diagrama de Piper – Quarta Campanha (Novembro de 2011). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

Observa-se durante a quarta campanha de amostragem para águas subterrâneas que 52% (13 amostras) apresentam-se como águas sódicas (cátions). 40% (10 amostras) como águas bicarbonatadas (ânions). Desta forma, o tipo dominante de água é cloretada sódica. Os tipos bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas magnesianas e cloretada magnesianas também estão presentes.

Figura 23 - Diagrama de Piper – Quarta Campanha (Novembro de 2011). Águas Superficiais.



Fonte: A autora.

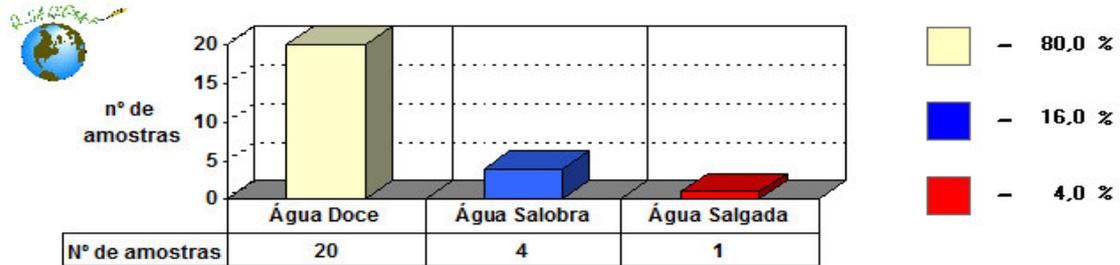
Observa-se durante a quarta campanha de amostragem para águas superficiais que 90,9% (10 amostras) apresentam-se como águas sódicas (cátions). 72,7% (8 amostras) como águas cloretadas (ânions). O tipo predominante (72,7%) é cloretada sódica. Ao contrário das águas subterrâneas da área, as quais apresentam vários tipos de água, os mananciais superficiais apresentam maior uniformidade na composição química, resultando em praticamente um tipo de água. Isso deve-se à mistura mais eficiente da água, provocada pelo vento.

Observando os dados de águas subterrâneas e superficiais para as amostras da quarta campanha de amostragem, observamos haver parcial interação entre essas águas. Uma vez que interpolando esses dados, temos 63,9% (23 amostras) apresentando-se como águas sódicas (cátions), 47,2% (17 amostras) prevalecendo como águas cloretadas (ânions) e 55,6% (20 amostras) como cloretadas sódicas.

A seguir o gráfico 28 o qual ilustra a classificação das águas subterrâneas quanto aos sais dissolvidos para esta campanha de amostragem. Percebe-se que

80% das amostras são classificadas como água doce, 16% como água salobra e 4% como água salgada.

Gráfico 28 - Classificação quanto aos sais dissolvidos – Quarta Campanha (Novembro de 2011). Águas Subterrâneas.

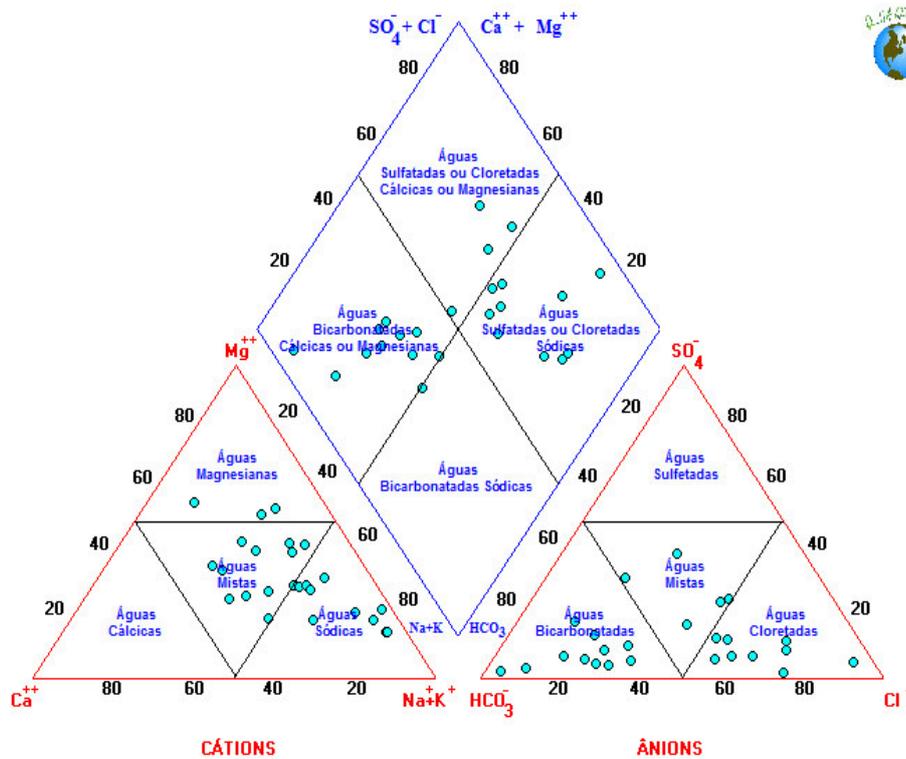


Fonte: A autora.

Essas alterações com relação ao aparecimento de amostras classificadas como salobras e salgada se deve ao fato de este ser o período, durante o estudo, de maior seca, maior estiagem observado durante todo o trabalho.

Quinta campanha (Janeiro de 2012 (chuvoso)).

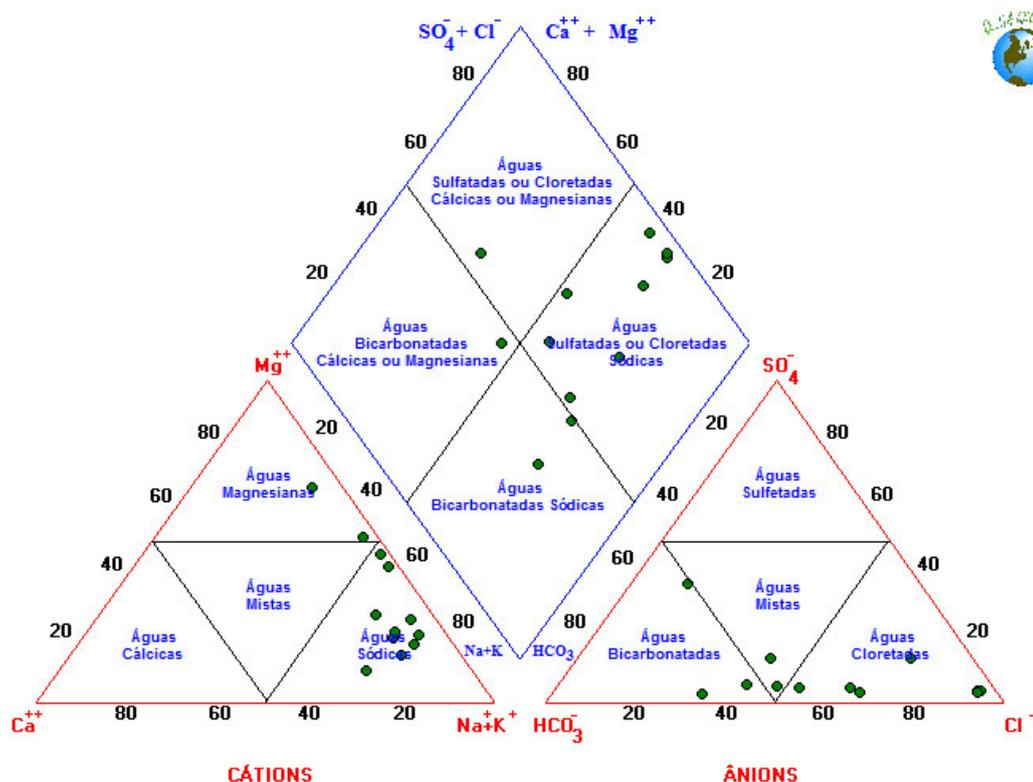
Figura 24 - Diagrama de Piper – Quinta Campanha (Janeiro de 2012). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

Observa-se durante a quinta campanha de amostragem para águas subterrâneas que 88% (22 amostras) apresentam-se como águas sódicas/mistas (cátions). 44% (11 amostras) como águas bicarbonatadas (ânions). Os tipos predominantes foram cloretadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, com praticamente a mesma quantidade de amostras.

Figura 25 - Diagrama de Piper – Quinta Campanha (Janeiro de 2012). Águas Superficiais.



Fonte: A autora.

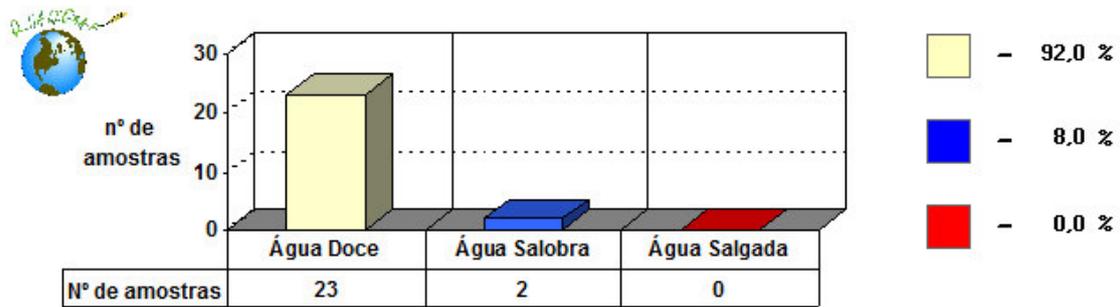
Em 83,3% das amostras de águas superficiais, ou seja, 10 amostras, apresentam-se como águas sódicas (cátions), 58,3% (7 amostras) como águas cloretadas (ânions), e 66,7% (8 amostras) como cloretadas sódicas (composição geral).

Observando os dados de águas subterrâneas e superficiais para as amostras da quinta campanha de amostragem, observamos não haver total interação entre essas águas. Uma vez que interpolando esses dados, temos 59,5% (22 amostras) apresentando-se como águas sódicas (cátions), 40,5% (15 amostras)

prevalecendo como águas cloretadas (ânions) e 48,6% (18 amostras) como cloretadas sódicas.

A seguir o gráfico 29 que ilustra a classificação das águas subterrâneas quanto aos sais dissolvidos para esta campanha de amostragem. Percebe-se que 92% das amostras são classificadas como água doce e 8% como água salobra.

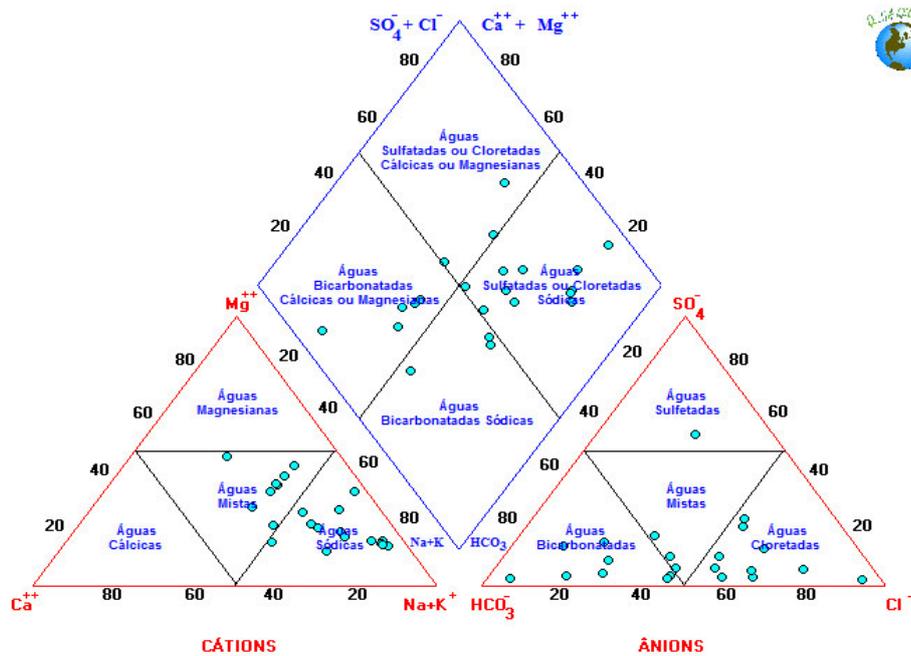
Gráfico 29 - Classificação quanto aos sais dissolvidos – Quinta campanha (Janeiro de 2012). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

Sexta campanha (Julho de 2012 (seco)).

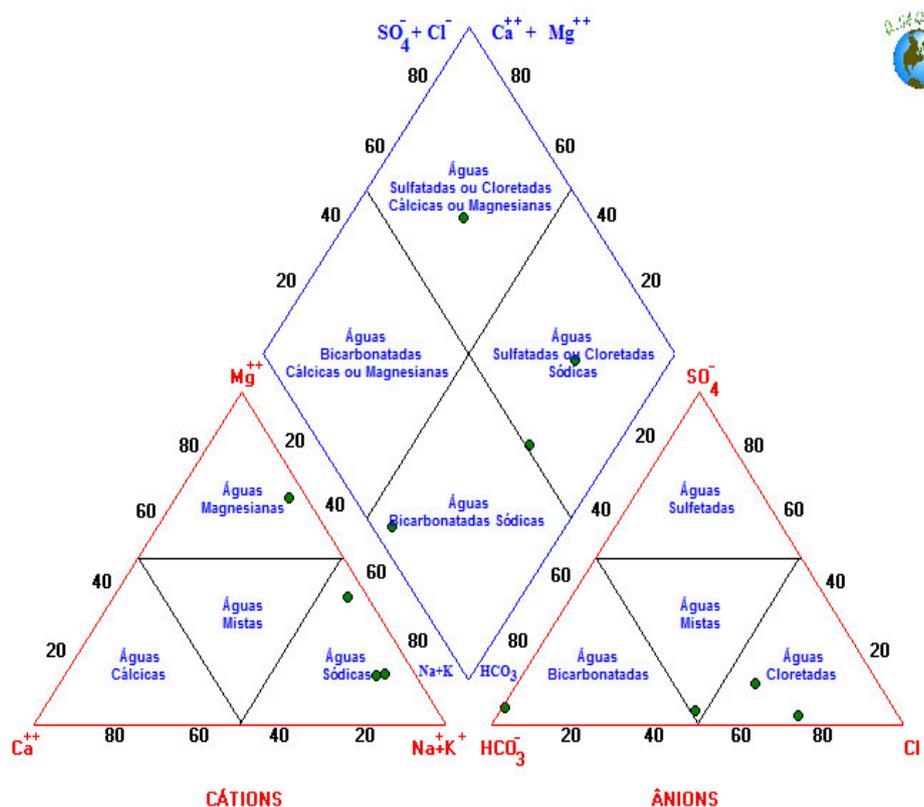
Figura 26 - Diagrama de Piper – Sexta Campanha (Julho de 2012). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

Observa-se durante a sexta campanha de amostragem para águas subterrâneas que 63% (14 amostras) apresentam-se como águas sódicas (cátions), 45,5% (10 amostras) como águas cloretadas (ânions) e 50% (11 amostras) como cloretadas sódicas. Estando também presentes os tipos bicarbonatadas.

Figura 27 - Diagrama de Piper – Sexta Campanha (Julho de 2012). Águas Superficiais.



Fonte: A autora.

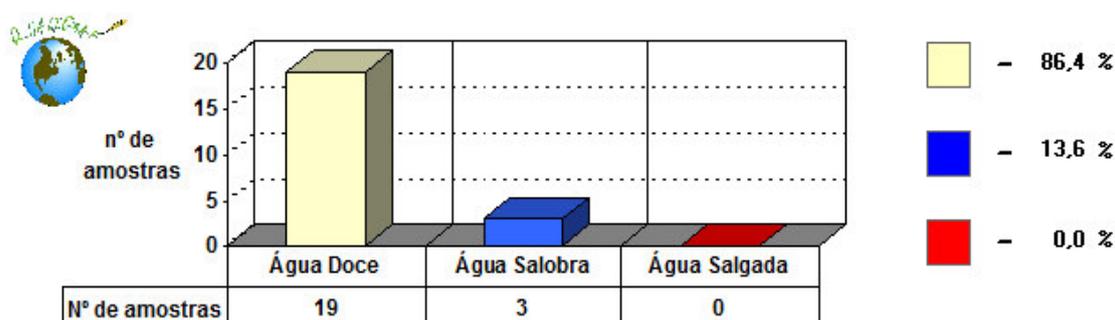
Durante a sexta campanha de amostragem para águas superficiais, 75% (3 amostras) apresentam-se como águas sódicas (cátions), 50% (2 amostras) como águas cloretadas (ânions) e 50% (2 amostras) cloretadas sódicas. Observa-se que as águas do tipo bicarbonatadas nem sempre estiveram presentes nas águas superficiais. Entretanto, nas águas subterrâneas, sempre estiveram presentes e como tipo dominante.

Analisando os dados de águas subterrâneas e superficiais para as amostras da sexta campanha de amostragem, observamos haver total interação entre essas águas. Uma vez que interpolando esses dados, temos 65,4% (17 amostras)

apresentando-se como águas sódicas (cátions), 46,2% (12 amostras) prevalecendo como águas cloretadas (ânions) e 46,2% (12 amostras) cloretadas sódicas.

A seguir o gráfico 30 que ilustra a classificação das águas subterrâneas quanto aos sais dissolvidos para esta campanha de amostragem. Percebe-se que 86,4% das amostras são classificadas como água doce e 13,6% como água salobra.

Gráfico 30 - Classificação quanto aos sais dissolvidos – Sexta Campanha (Julho de 2012). Águas Subterrâneas.



Fonte: A autora.

6.3 Microbiologia

6.3.1 Águas Subterrâneas - Coliformes Totais e Fecais

A Tabela 65 apresenta os resultados das três campanhas realizadas para análises quanto ao padrão microbiológico qualificando e quantificando Coliformes totais e Coliformes Fecais nas amostras de água subterrânea em Itarema.

Tabela 65 - Coliformes Totais e Fecais nas águas de poços em Itarema durante o período de estudo.

Amostra	Coliformes Totais e Fecal							
	Mai/2011		Nov/2011		Jan/2012		Média	
	CT	CF	CT	CF	CT	CF	CT	CF
PT01	0	0	29	10	57	23	29	10
PT 02	0	0	2419	5	1092	0	1092	0
PT05	25	0	275	0	26	0	26	0
PT06	2	0	1	0	324	0	2	0
PT07	2	0	275	0	0	0	2	0
PT08	48	0	52	0	62	0	52	0
PT09	2	0	13	0	19	0	13	0
PT10	7	0	574	1	779	0	574	0
PT11	2	0	816	10	51	0	51	0
PT12	13	0	549	7	7	0	13	0
PT13	0	0	9	1	49	0	9	0

Continuação Tabela 65								
PT14	0	0	2	2	41	0	2	0
PT16	0	0	258	117	92	0	92	0
PT17	0	0	0	0	0	0	0	0
PT18	0	0	71	5	1	0	1	0
PT19	0	0	437	41	6	0	6	0
PT20	0	0	167	0	1710	0	167	0
PT21	0	0	3	0	4	0	3	0
PT22	44	0	106	0	1456	0	106	0
PT23	0	0	344	0	210	0	210	0
PT24	0	0	143	3	926	0	143	0
PT25	687	0	275	31	179	0	275	0
PT26	2	0	6	0	0	0	2	0
PT27	0	0	24	0	0	0	0	0
PT28	0	0	160	40	4	0	4	0
Média Mensal	32	0	270	11	273	1	270	1

Fonte: A autora. Legenda. CT: Coliformes Totais. CF: Coliformes Fecais.

Observa-se na campanha de coleta de amostras realizada em maio de 2011, a presença de coliformes totais em 11 das 26 amostras (PT 05,06, 07, 08, 09, 10, 11,12, 22, 25, 26). Destas, nenhuma identificada presença de coliforme fecal (*Escherichia coli*).

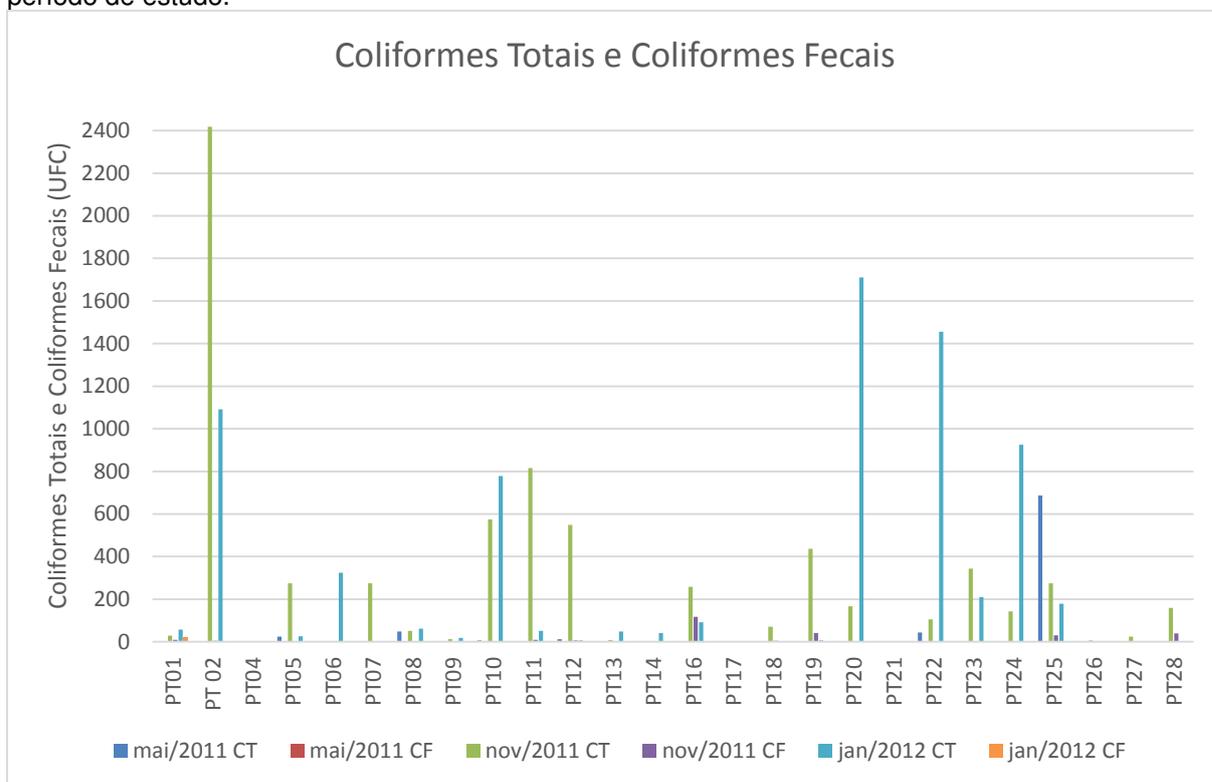
Já para a campanha realizada durante o período de maior estiagem, novembro de 2011, com exceção da amostra PT17, as demais amostras apresentaram coliformes totais. E dessas, 13 amostras apresentaram coliformes fecais (PT 01, 02, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 24, 25 e 28). Essa, das três campanhas realizadas para análises microbiológicas, foi a que apresentou em suas amostras, o maior número de amostras com presença de coliformes totais e fecais.

A campanha de janeiro de 2012 também apresentou um grande número de amostras com presença de coliformes totais. Contudo, apenas as amostras 07, 17, 26 e 27 apresentaram coliformes fecais.

Na maioria das amostras que apresentaram contaminação por coliformes, estas localizam-se em vilarejos habitados e sem rede de esgoto. O que justifica a presença desses microorganismos, uma vez que o terreno propicia infiltração, por ser em sua maior parte arenoso e as instalações sépticas não contarem com os cuidados ideais a serem aplicados, devido a precariedade dessas localidades. Acabando por fim a atingir o aquífero.

A seguir o gráfico 31 apresentando as quantidades de UFC (unidades formadoras de colônias) para coliformes totais e fecais presentes nas amostras de água coletadas.

Gráfico 31 - Quantificação de coliformes totais e fecais presentes nas águas subterrâneas durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Os resultados das análises para identificação de possível contaminação por organismos microbiológicos apontam que estas águas estão sofrendo interferência por contaminantes que comprometem a qualidade quanto ao consumo humano. Isso torna a situação preocupante por ser este o principal destino dado a quase todas as amostras de água subterrânea em estudo. A presença de coliformes totais classifica a água como imprópria para consumo humano, segundo a Portaria 2914 do Ministério da Saúde.

6.3.2 Águas Superficiais - Coliformes Totais e Fecais

A Tabela 66 apresenta os resultados das quatro campanhas realizadas para análises quanto ao padrão microbiológico qualificando e quantificando Coliformes totais e Coliformes Fecais nas amostras de água superficiais em Itarema.

Tabela 66 - Coliformes Totais e Fecais nas águas superficiais em Itarema durante o período de estudo.

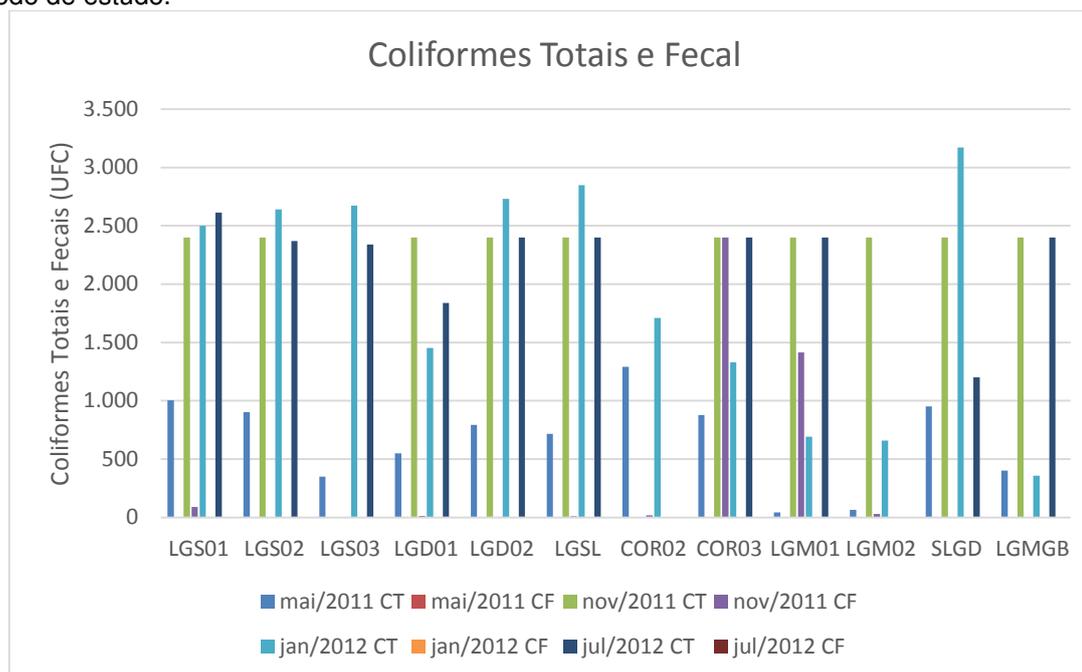
Amostra	Coliformes Totais e Fecais									
	Mai/2011		Nov/2011		Jan/2012		Jul/2012		Média	
	CT	CF	CT	CF	CT	CF	CT	CF	CT	CF
LGS01	1.004	0	2.400	91	2.501	0	2.612	0	2451	23
LGS02	902	0	2.400	0	2.641	0	2.370	0	2385	0
LGS03	349	0	NC	NC	2.673	0	2.340	0	1345	0
LGD01	551	0	2.400	13	1.452	0	1.840	0	1646	3
LGD02	792	0	2.400	5	2.731	0	2.400	0	2400	1
LGSL	717	0	2.400	10	2.850	0	2.400	0	2400	3
COR02	1.291	0	NC	NC	1.710	0	NC	NC	1291	5
COR03	879	0	2.400	2.400	1.330	0	2.400	0	1865	600
LGM01	43	0	2.400	1.414	692	0	2.400	0	1546	353
LGM02	64	0	2.400	29	660	0	NC	NC	660	7
SLGD	952	0	2.400	0	3.173	0	1.200	0	1800	0
LGMGB	403	0	2.400	1	357	0	2.400	0	1402	0
Média Mensal	662	0	2.000	332	1.898	0	2.236	0	1949	83

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Percebe-se pelos dados da Tabela 66 que, assim como para as amostras de água subterrânea, as amostras de água superficial tiveram um maior número de UFC presentes tanto para coliformes totais como fecais durante a campanha de novembro de 2011, período de maior estiagem. Sendo que todas as amostras de água superficial, neste período apresentaram mais de 2.400 UFC. E destas 12 amostras, apenas duas não apresentaram coliforme fecal.

A seguir o gráfico 32 apresentando as quantidades de UFC (unidades formadoras de colônias) para coliformes totais e fecais presentes nas amostras de água superficiais coletadas.

Gráfico 32 - Quantificação de coliformes totais e fecais presentes nas águas superficiais durante o período de estudo.



Fonte: A autora.

Os resultados das análises mostram que quanto mais seco maior a concentração de microorganismos presentes nas amostras de água da área estudada. Isso porque o fator de diluição diminui, uma vez que o volume de água também diminui. Pois os mesmos apresentaram maiores números de UFCs, principalmente em períodos considerados mais secos, ou pelos menos sem interferência significativa de chuvas pontuais. Isso provavelmente devido ao uso contínuo, no caso das águas superficiais, por animais diversos para dessedentação, assim como por banhistas, mesmo com baixos volumes de água.

6.4 Índice de Qualidade das Águas - Águas Superficiais

Os valores médios observados para os parâmetros que compõem o IQA, referentes a cada ponto de coleta de amostra de água superficial, estão representados na Tabela 68.

Tabela 67 – Média dos valores observados de cada parâmetro avaliado para classificação IQA referentes a cada ponto de coleta da amostra de água.

PONTOS DE COLETA DE AMOSTRA	PARÂMETROS AVALIADOS PARA CLASSIFICAÇÃO IQA								
	CF (UFC)	pH	DBO (mg/L)	NT (mg/L)	FT (mg/L)	T°C	T	RT (mg/L)	O (%)
LGS 01	23,75	8,1	6,41	0,15	0,06	22,9	44	667	46
LGS 02	0	8,6	7,13	0,39	0,06	23,3	23	6517	46
LGS 03	0	8,1	5,25	0,33	0,10	22,3	68	756	42
LGD 01	3	8,1	5,37	0,40	0,02	25,3	11	1349	47
LGD 02	1	8,0	5,43	0,60	0,04	25,9	10	1937	49
LGSL	3	8,5	4,77	0,16	0,03	28,4	13	1897	49
COR 02	5	6,3	4,77	0,10	0,02	25,5	9	206	35
COR 03	600	8,2	5,7	0,10	0,09	25,7	48	4884	65
LGM 01	353	7,7	5,87	0,30	0,05	23,7	9	1575	65
LGM 02	7	7,1	4,43	0,30	0,05	23,7	43	910	60
SLGD	0	6,6	3,97	0,20	0,02	22,9	12	966	38
LGMGB	0	7,4	5,97	0,15	0,04	23,8	9	792	68

Fonte: a autora. Legenda: C.F. (coliformes totais), pH (potencial hidrogeniônico), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), NT (nitrogênio total), FT (fósforo total), T°C (temperatura), T (turbidez), RT (resíduos totais), O% (saturação de oxigênio dissolvido).

Mesmo os parâmetros possuindo uma classificação individual ruim na microbiologia, as águas superficiais foram consideradas boas. Sendo assim, os pontos de águas superficiais estudados em Itarema foram classificados como tendo os seguintes níveis de qualidade (Tabela 68):

Tabela 68 – Classificação das Águas superficiais em Itarema, segundo IQA.

PONTO DE AMOSTRAGEM	NÍVEL DE QUALIDADE	CLASSIFICAÇÃO
LGS	60	Boa
LGD	76	Boa
LGSL	73	Boa
COR	62	Boa
LGM	63	Boa
SLGD	70	Boa
LGMGB	83	Ótima

Fonte: a autora.

6.5 Elementos traço

Chumbo

Para quantificação do elemento chumbo foram analisadas as amostras referentes aos períodos seco (julho de 2010) e chuvoso (maio de 2011). O limite máximo para classificá-las como apropriadas para consumo humano, segundo Portaria 2914, ANVISA (2011) e Resolução CONAMA 396 (2008) é de 10,0 µg/L.

A Tabela 69 apresenta os valores de chumbo observados nas amostras de água de poços, referente ao período de julho de 2010 (seco).

Tabela 69 - Teores de chumbo observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).

CHUMBO (Pb) µg/L.									
AMOSTRA	PT01	PT02	PT04	PT05	PT06	PT07	PT08	PT09	PT10
Jul/2010	19,0	LD	LD	19,0	17,0	NC	43,0	20,0	4,0
Mai/2011	8,6	4,4	6,9	LD	4,7	LD	LD	LD	LD
AMOSTRA	PT11	PT12	PT13	PT14	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20
Jul/2010	LD	16,0	LD	LD	10,0	15,0	4,0	LD	4,0
Mai/2011	LD	LD	LD	LD	LD	LD	2,8	4,9	4,0
AMOSTRA	PT21	PT22	PT23	PT24	PT25	PT26	PT27	PT28	
Jul/2010	6,0	LD	24,0	NC	NC	NC	NC	NC	
Mai/2011	LD	2,4	LD	2,4	2,9	LD	LD	LD	

Fonte: A autora. Legenda. LD: Limite de detecção. NC: Não Coletada.

A seguir a relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de chumbo em água, em seus diversos usos apresentados na Tabela 70.

Tabela 70 - Relação de Valores Máximos Permitidos (VMP) de chumbo em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável	10,0	Padrão de Potabilidade	BRASIL, 2011.
(Pb Total)			(ANVISA, Portaria nº 2914).
	10,0	Consumo humano	
Água Subterrânea	100,0	Dessedentação	BRASIL, 2008.
(Pb Total)	5000,0	Irrigação	(CONAMA, Resolução nº 396).
	50,0	Recreação	
	10,0	L.Q.P.	
Águas Doces	10,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Pb Total)	33,0	Classe 3	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salinas	10,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Pb Total)	210,0	Classe 2	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salobras	10,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Pb Total)	210,0	Classe 2	(CONAMA, Resolução nº 357).

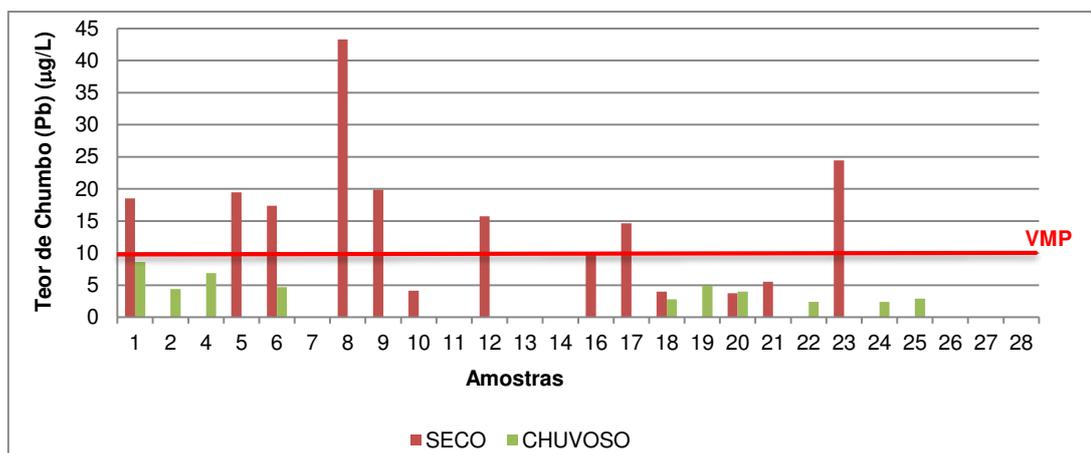
Fonte: BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005.

Durante o período seco (julho de 2010), foram observadas concentrações do metal chumbo superior a 10,0 µg/L nas seguintes amostras: PT01 (19 µg/L), PT05 (19 µg/L), PT06 (17 µg/L), PT08 (43 µg/L), PT09 (20 µg/L), PT12 (16 µg/L), PT17 (15 µg/L) e PT 23 (24 µg/L). Portanto, estando apropriadas apenas para dessedentação, irrigação e recreação. Do total de vinte e três (23) amostras, oito (8) apresentaram concentração superior ao valor máximo permitido de 10 µg/L para consumo humano para este parâmetro. A amostra PT16 apresentou concentração no limite de 10 µg/L. As amostras PT16 (10 µg/L), PT18 (4 µg/L), PT20 (4 µg/L) e PT21 (6 µg/L) encontram-se apropriadas para consumo humano. As amostras PT02, PT04, PT11, PT13, PT14, PT19 e PT22 também se apresentam apropriadas para consumo humano, para o chumbo, uma vez que se há presença desse elemento, o mesmo encontra-se em concentrações inferiores às do LQ, que é inferior ao VMP para consumo humano.

Durante o período chuvoso (maio de 2011), foram observadas concentrações do metal chumbo inferior a 10 µg/L em todas as amostras analisadas, sendo inferiores ao limite de quantificação aplicado, nas seguintes amostras: PT05, PT07, PT08, PT09, PT10, PT11, PT12, PT13, PT14, PT16, PT17, PT21, PT23, PT26, PT27 e PT28. Ou seja, mais de 50 % da quantidade amostrada com concentração abaixo do LQ. Sendo assim, as amostras analisadas durante o período chuvoso apresentam-se apropriadas para consumo humano.

O Gráfico 33 ilustra a variação dos teores de chumbo observados nas amostras estudadas, durante os períodos seco e chuvoso.

Gráfico 33 - Teores de chumbo observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).



Fonte: A autora. Legenda: VMP (Valor Máximo Permitido).

Analisados os resultados das amostras referentes aos períodos seco e chuvoso, observa-se que o fator sazonalidade interferiu consideravelmente nas concentrações do metal nas amostras analisadas. Uma vez que as amostras coletadas durante o período chuvoso apresentaram concentrações inferiores às amostras coletadas durante o período seco. O que indica que houve infiltração da água das chuvas, diluindo a concentração do metal no aquífero, contudo sem carreamento e dissolução de material, da superfície, que contenham presença do metal, para o aquífero.

As amostras analisadas as quais apresentaram concentração superior ao VMP de 10 µg/L, PT05, PT06, PT08, PT09, PT12, PT17 e PT23, são de poços

residenciais. A amostra PT16 abastece uma escola de ensino fundamental e médio. A amostra PT01 é poço cadastrado da SOHIDRA. Todas estas estão localizadas em áreas onde normalmente há uma concentração maior de moradores e muito próximos uns dos outros.

Ribeiro (2011) faz a observação que é considerável o aumento dos valores de chumbo na área agrícola, em seu trabalho sobre vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do Rio Siriri, Sergipe.

O fato dessas comunidades possuírem em seus terrenos plantações de frutas, verduras e legumes como feijão, mandioca e tomate, nos levaria a julgar que a presença de chumbo nas amostras de água poderia ser oriunda da aplicação de pesticidas. Entretanto, apesar de comprovada a aplicação do agrotóxico, segundo os resultados de análises para tal finalidade, não se observa presença destes compostos nas amostras de água analisadas.

Valores de chumbo acima de 10 $\mu\text{g/L}$ também foram observados no trabalho de Nascimento e Barbosa (2005), onde amostras variaram de 0,7 a 257,0 $\mu\text{g/L}$ de Pb, com média de 3,0 $\mu\text{g/L}$ de Pb.

Em trabalho realizado por Lima *et al.* (2010), cujo título “Avaliação das concentrações de bário e chumbo em águas do aquífero freático do entorno do centro industrial do Subaé – Feira de Santana – BA”, o autor observou, de modo geral, que as amostras de água dos poços escavados, poços tubulares e nascentes, variaram entorno de 20 a 50 $\mu\text{g/L}$ de Pb (algumas apresentaram 10 $\mu\text{g/L}$, estando dentro do limite permitido para consumo humano). O autor relaciona estes teores a possíveis atividades de soldagem, prática comum em áreas industriais e das oficinas mecânicas presentes na região. O que não é o caso da área de estudo em Itarema. Porém, o autor faz menção a um fato semelhante às características da área de estudo em Itarema, o da profundidade dos poços escavados, onde o nível da água não ultrapassa os 15 metros, associando as construções, algumas irregulares, e a proximidade de localização desses poços com áreas de descarte do lixo, tornando fonte de risco para a saúde da população que utiliza dessas reservas como fonte de abastecimento doméstico.

Apesar da área estudada não produzir em alta escala lixo urbano e industrial, associados conjuntamente, ou não, comparado aos grandes centros urbanos, a proximidade de localização de alguns desses poços, como os das amostras PT01, PT05, PT06, PT08, PT07, PT09, PT10, PT11, PT12 e PT23, com áreas de descarte do lixo, pode ser um dos fatores responsáveis pela presença de chumbo em algumas amostras. Embora a amostra 07 não tenha apresentado presença do elemento, o poço do qual essa amostra foi coletada, localiza-se em uma área pouco ocupada, assim como as citadas anteriormente, isoladas e distantes do centro do município. Nestas localidades mais isoladas, não há coleta de lixo e nem saneamento básico. O abastecimento público de água tratada é opcional. A escolha pelo abastecimento de água tratada ainda é resistente, em virtude de grande parte da população optar por utilizar fonte alternativa de abastecimento de água, como a partir de poços cavados em suas propriedades, por gerar economia na renda familiar e também, segundo relato de alguns usuários do sistema da CAGECE, reclamarem de odor na água tratada fornecida por este órgão.

Comparando os dados desse trabalho com os de Berezuk e Gasparetto (2002), descarta-se a possibilidade de uma disseminação rápida através de fratura, isso devido o aquífero ser do tipo poroso e com níveis argilosos.

Cádmio

A Tabela 71 apresenta os valores de cádmio observados nas amostras de água de poços, referente aos períodos de julho de 2010 (seco) e janeiro de 2011 (chuvoso).

Tabela 71 - Teores de cádmio observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e janeiro de 2011 (CHUVOSO).

CÁDMIO (Cd) µg/L									
AMOSTRA	PT01	PT02	PT04	PT05	PT06	PT07	PT08	PT09	PT10
Jul/2010	3,77	1,85	2,94	0,82	0,16	NC	0,29	0,29	0,34
Jan/2011	NC	0,81	0,26	0,20	0,17	0,19	0,19	0,23	0,19

Continuação Tabela 71

AMOSTRA	PT11	PT12	PT13	PT14	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20
Jul/2010	0,33	0,19	3,57	2,72	0,21	0,36	4,36	1,93	0,59
Jan/2011	0,17	0,16	0,30	0,23	0,19	0,38	0,22	0,32	0,44
AMOSTRA	PT21	PT22	PT23	PT24	PT25	PT26	PT27	PT 28	
Jul/2010	3,58	7,60	0,52	NC	NC	NC	NC	NC	
Jan/2011	0,17	0,31	0,22	0,17	0,72	0,32	0,14	0,18	

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

Ao analisar estes resultados, constata-se a presença de cádmio em todas as amostras de água de poço coletadas, tanto no período seco quanto no período chuvoso.

A seguir, a relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de cádmio em água, em seus diversos usos apresentados na Tabela 72.

Tabela 72 - Relação de Valores Máximos Permitidos (VMP) de cádmio em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável (Cd total)	5,0	Padrão de Potabilidade	BRASIL, 2011 (ANVISA, Portaria nº 2914).
Água Subterrânea (Cd total)	5,0	Consumo humano	BRASIL, 2008. (CONAMA, Resolução nº 396).
	50,0	Dessedentação	
	10,0	Irrigação	
	5,0	Recreação	
	5,0	L.Q.P.	
Águas Doces (Cd total)	1,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
	10,0	Classe 3	(CONAMA, Resolução nº 357).

Continuação Tabela 72

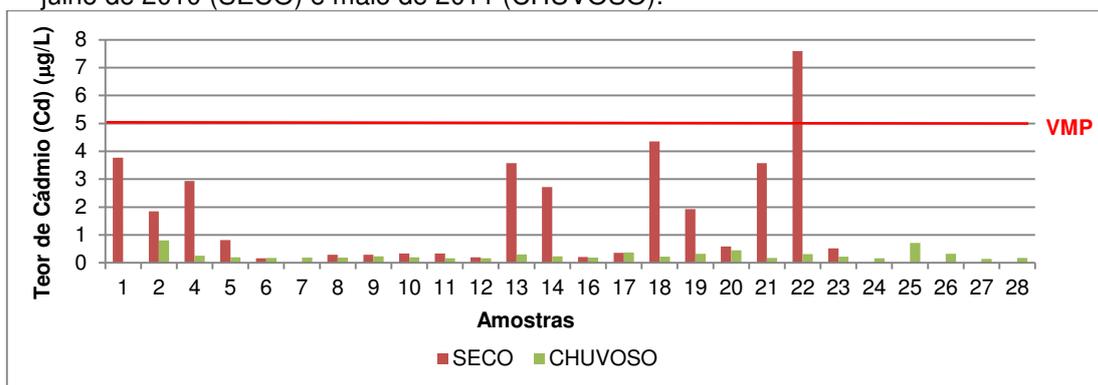
Águas Salinas	5,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Cd total)	40,0	Classe 2	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salobras	5,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Cd total)	40,0	Classe 2	(CONAMA, Resolução nº 357).

Fonte: BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005. Legenda: L.Q.P. – Limite de Quantificação Praticado.

Os maiores valores de concentrações de cádmio são observadas no período seco, o qual apenas uma única amostra de água apresentou valor de concentração superior ao Valor Máximo Permitido de 5 µg/L para consumo humano. Trata-se da amostra PT22, oriunda de um poço tubular, de PVC, onde o nível estático da água, observado no momento da coleta, foi de 3,80 m. Avaliando a localização desse ponto de coleta e comparando-o com os demais, observamos que este se encontra próximo ao mar, assim como os pontos PT18 e PT21, os quais foram os pontos com maiores teores observados de cádmio, durante o período seco. Apesar da proximidade desses pontos com o mar, não se caracteriza aqui, por conta da presença de cádmio, efeito de intrusão salina. Contudo a contribuição antropogênica local, provavelmente oriunda da atividade da pesca, pode estar interferindo, uma vez que, segundo Frizzo (2006), baterias elétricas e ligas metálicas resistentes à corrosão podem tornar-se fontes geradoras de poluição, com relação a esse elemento. As áreas destes pontos de coleta também são áreas de plantação de cultura de subsistência. Ficando expostas essas áreas a possível efeito de uso indiscriminado de agrotóxico. Entretanto, como a concentração deste não foi tão acima de 5,0 µg/L, e foi apenas em um único ponto, optou-se por não analisar essa amostra em relação a presença de agrotóxico.

O Gráfico 34 ilustra a variação dos teores de cádmio. Observa-se uma amostra com teor acima da linha de valor máximo permitido.

Gráfico 34 - Teores de cádmio observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).



Fonte: A autora. Legenda. VMP (Valor Máximo Permitido).

Contudo, por se tratar de um único ponto de coleta com amostra superior ao limite estabelecido pela legislação vigente para consumo humano, o estudo não classifica a área estudada com problemas quanto ao Cádmio, no que diz respeito à contaminação. Visto que o PT22 é utilizado para consumo humano, irrigação, lazer e atividades domésticas, sendo, portanto, importante o monitoramento da qualidade de água. Já no período chuvoso, este poço apresenta comportamento satisfatório, assim como todos os outros, com valores inferiores a 1,0 µg/L.

Segundo Moraes e Horn (2010), em estudo sobre os teores de Cr, Cd e Zn em perfis de solos de veredas da bacia do Rio do Formoso, município de Buritizeiro, MG, os teores de Cádmio, em perfis de solos, ultrapassaram, em todas as amostras, os valores de referência de qualidade (<0,5 mg/kg, CETESB, 2005). Em algumas amostras, foram ultrapassados o valor de prevenção de 1,3 mg/kg (CETESB, 2005), e o limite de intervenção de 3 mg/kg (CONAMA, 2009). O teor observado indica contribuição antropogênica porque se apresentou mais elevado em amostras superficiais (0-20 cm) e por tratar-se de áreas destinadas ao plantio comercial de grãos, onde se faz uso intensivo de fertilizantes, inseticidas e herbicidas fosfatados, como também de corretivos de solos contendo zinco e agrotóxicos. Apesar de os resultados de Moraes e Horn (2010) representarem teores de Cádmio em amostras de sedimentos, é importante comparar com o resultado das amostras de água em Itarema, uma vez que, este possui grande potencial tóxico ao meio ambiente, considerando que é um elemento de rápida adsorção pelo solo, com alta taxa de

persistência e acúmulo (McBRIDE, 1994), o que pode explicar os teores deste elemento observados nas amostras de água em Itarema.

Frizzo (2006) observou em cerca de 80 amostras de água a presença do elemento em concentrações iguais a 1 µg/L. Com pequeno predomínio das águas subterrâneas em relação às superficiais. Destaque para os resultados em áreas próximas à área de estudo em Itarema, no extremo norte do estado, onde as amostras de água em poços tubulares de Acaraú, Bela Cruz, Cruz, Itarema e em Lagoa dos Monteiros, que abastece Jijoca de Jericoacoara, deram resultados de 2,0 µg/L, que foi também obtido na água de um poço em Santana do Acaraú, a uma pequena distância a sul. O autor relata que arenitos argilosos com níveis conglomeráticos e nódulos lateríticos do Grupo Barreiras, do Neogeno, constituem os aquíferos desses poços, e depósitos aluviais do Quaternário facilitam a percolação em Bela Cruz e Santana do Acaraú, onde o cádmio nas águas é acompanhado por valores, acima da referência, de ferro e manganês, o que também foi verificado no poço amazonas de Pacoti.

Alumínio

Pode ter origens naturais e antropogênicas. Os fluxos hidrológicos, fatores temporais e espaciais relacionados com a interação solo/água e a composição e estrutura geológica do local são processos responsáveis pela redistribuição do alumínio no ambiente. A contribuição antropogênica pode se dar através da deposição de emissões atmosféricas geradas nos processos industriais, ou por escoamentos advindos de atividades como a mineração, lixiviação e erosão dos solos e pela emissão de efluentes residuais domésticos e industriais.

A Tabela 73 apresenta os valores de alumínio observados nas amostras de água de poços, referente aos períodos de julho de 2010 (seco), janeiro de 2011 (início de chuva) e maio de 2011 (fim de chuva).

Tabela 73 - Teores de alumínio observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO), janeiro de 2011 (INTERMEDIARIO) e maio de 2011 (CHUVOSO).

ALUMINIO (Al) µg/L									
AMOSTRA	PT01	PT02	PT04	PT05	PT06	PT07	PT08	PT09	PT10
Jul/2010	140,0	262,0	7,0	191,0	131,0	NC	196,0	462,0	1243,0
Jan/2011	216,0	554,0	108,0	248,0	225,0	163,0	203,0	231,0	551,0
Mai/2011	NC	148,3	102,9	26,48	92,92	101,6	73,36	181,17	1580,0
Amostra	PT11	PT12	PT13	PT14	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20
Jul/2010	265,0	223,0	215,0	417,0	42,0	144,0	220	154	195,0
Jan/2011	211,0	220,0	195,0	159,0	169,0	114,0	NC	1021	150,0
Mai/2011	268,68	130,68	14,75	212,57	LD	27,02	76,96	227,82	39,39
Amostra	PT21	PT22	PT23	PT24	PT25	PT26	PT27	PT28	
Jul/2010	7,0	7,0	191	NC	NC	NC	NC	NC	
Jan/2011	194,0	172,0	182,0	222,0	200	170	173	178	
Mai/2011	LD	LD	76,6	222,58	93,7	54,36	20,0	26,0	

Fonte: A autora. Legenda. LD: Limite de detecção. NC: Não Coletada.

A seguir, a relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de Alumínio em água, em seus diversos usos apresentados na Tabela 74.

Tabela 74 - Relação de Valores Máximos Permitidos de alumínio em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável (Al total)	200,0	Padrão Organoléptico	BRASIL, 2011 (ANVISA, Portaria nº 2914).
Água Subterrânea (Al total)	200	Consumo Humano	BRASIL, 2008. (CONAMA, Resolução nº 396).
	5000	Dessedentação	
	5000	Irrigação	
	200	Recreação	
Águas Doces (Al total)	100,0	Classe 1 e 2	BRASIL, 2005.
	200,0	Classe 3	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salinas (Al total)	1500,0	Classes 1 e 2	BRASIL, 2005.
			(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salobras (Al total)	100,0	Classes 1 e 2	BRASIL, 2005.
			(CONAMA, Resolução nº 357).

Fonte: BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005. Legenda: L.Q.P. – Limite de Quantificação Praticado.

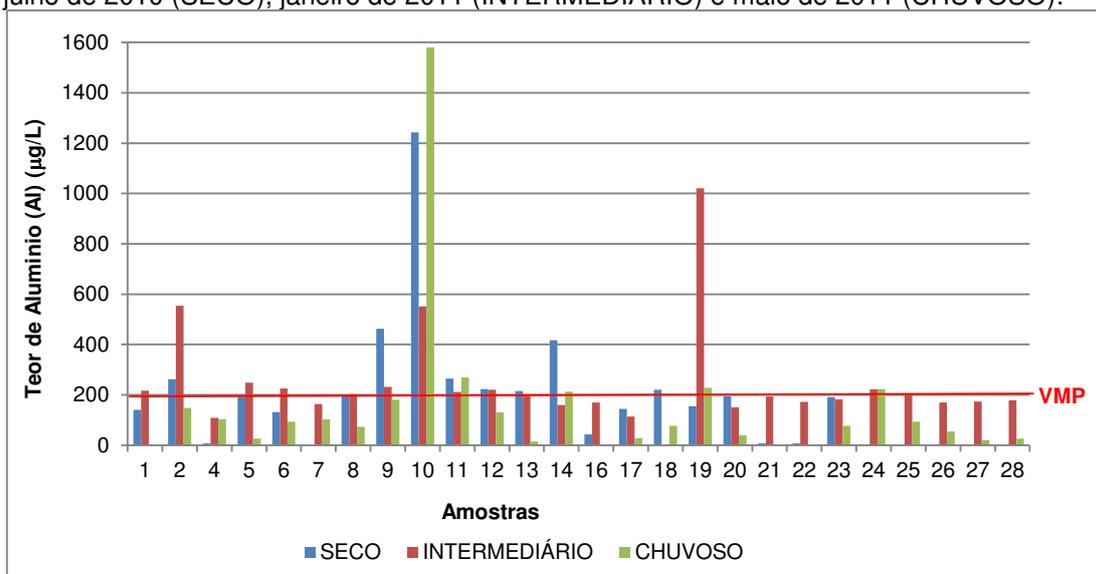
Ao analisar os resultados, constata-se a presença de alumínio em todas as amostras. Ora algumas com maiores concentrações no período seco, ora no período de início das chuvas, ora no período pós-chuvas, não havendo, portanto, uma associação quanto ao efeito sazonalidade.

Contudo, observa-se no período de janeiro de 2011 (início de chuvas) o maior número de amostras, 12 (doze), quando comparadas com os demais períodos, com concentração de alumínio acima do VMP de 200 µg/L (de acordo com a Portaria 2914, de 2011, do Ministério da Saúde, para consumo humano). O período de julho de 2010, período considerado como seco, com 8 (oito) amostras com concentrações

de alumínio acima de 200 µg/L e o período de maio de 2011 (pós-chuva) com 5 (cinco) amostras acima do VMP.

O Gráfico 35 ilustra a variação dos teores de alumínio. Observam-se amostras com teores acima da linha de valores máximos permitidos.

Gráfico 35 - Teores de alumínio observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO), janeiro de 2011 (INTERMEDIÁRIO) e maio de 2011 (CHUVOSO).



Fonte: A autora. Legenda: VMP (Valor Máximo Permitido).

A amostra PT10 destaca-se por seus altos índices de alumínio, quando comparada às demais amostras que apresentaram presença desse metal. Refere-se à água coletada diretamente do poço, por intermédio de bomba automática. Este poço localiza-se em um vilarejo de moradores, os quais todos possuem plantações diversas de frutas e hortaliças. Alguns moradores afirmam usar algum tipo de pesticida. Os valores foram de 1243 µg/L em julho de 2010, 551 µg/L em janeiro de 2011 e 1580 µg/L em maio de 2011. Tais índices classificam a amostra como totalmente imprópria para consumo humano, dessedentação, irrigação e recreação.

Com valores de concentração de alumínio entre 200 µg/L e 500 µg/L, as amostras PT01, PT02, PT05, PT06, PT08, PT09, PT11, PT12, PT14, PT15, PT18, PT19 e PT24 classificam-se como próprias para dessedentação, irrigação e recreação, segundo a Resolução CONAMA nº 396, BRASIL (2008).

Não se observa nas amostras estudadas a relação de que quanto menor o pH, maiores as concentrações de alumínio na água. Uma vez que o pH das águas se manteve, em média, entre 6,0 e 8,0, conforme podemos observar na Tabela 75, a seguir:

Tabela 75. Correlação de pH com os teores de alumínio.

Correlação de pH com Alumínio (µg/L)				
AMOSTRA	Al (µg/L)/ pH	Julho 2010	Janeiro 2011	Mai 2011
PT 01	Al	140,0	216,0	NC
	pH	7,17	7,3	7,5
PT 02	Al	262,0	554,0	148,3
	pH	6,49	7,30	7,50
PT 05	Al	191,0	248,0	26,48
	pH	6,93	8,07	7,5
PT 06	Al	131,0	225,0	92,92
	pH	5,98	6,14	5,7
PT 08	Al	196,0	203,0	73,36
	pH	6,52	6,31	5,7
PT 09	Al	462,0	231,0	181,0
	pH	6,04	6,29	5,8
PT 10	Al	1243	551,0	1580,0
	pH	6,57	6,75	6,39
PT 11	Al	265,0	211,0	268,0
	pH	5,21	5,44	5,7
PT 12	Al	223,0	220,0	130,0
	pH	5,71	5,6	5,6
PT 13	Al	215,0	195,0	14,75
	pH	6,69	7,0	6,25
PT 14	Al	417,0	159,0	212,57
	pH	6,56	6,96	6,30
PT 16	Al	42	169	LD
	pH	6,78	7,46	7,14
PT 17	Al	144	114	27,92
	pH	5,72	7,63	5,9
PT 18	Al	220	NC	76,96
	pH	8,0	NC	7,90
PT 19	Al	154	1021	227,82
	pH	7,46	8,72	8,1
PT 20	Al	195	150	39,39
	pH	6,56	7,75	7,41
PT 21	Al	7	194	LD
	pH	7,64	8,49	7,64
PT 22	Al	7	172	LD
	pH	7,03	8,57	7,79
PT 23	Al	191	182	76,6
	pH	5,76	7,43	5,81
	Al	NC	222	222,58

PT 24	pH	NC	8,02	7,57
PT 25	Al	NC	200	93,7
	pH	NC	7,8	6,52
PT 26	Al	NC	170	54,36
	pH	NC	7,6	5,3
PT 27	Al	NC	173	20
	pH	NC	7,49	6,11
PT 28	Al	NC	178	26
	pH	NC	8,51	7,82

Fonte: A autora. Legenda. LD: Limite de detecção. NC: Não Coletada.

Também não há relação dos teores de alumínio com agrotóxico, uma vez que as amostras PT06, PT08, PT10 e PT11 foram analisadas quanto a este parâmetro e não houve valores de agrotóxico relacionados às amostras.

As concentrações de alumínio, nessas águas de poços, com valores acima do especificado para consumo humano e até mesmo para dessedentação, recreação e irrigação, podem ser entendidas como tendo origem natural. No entanto, podem estarem sendo provocadas também pela poluição antropogênica em consequência da presença de lixo, valas e fossas artesanais, uma vez que a área onde a maioria das amostras que apresentaram as maiores concentrações de alumínio na água dos poços encontra-se distante do centro urbano, não havendo coleta de lixo. A composição desse cenário, mesmo sendo de pequena escala, pode levar a uma contaminação do lençol freático, como por exemplo, os resíduos de esgoto doméstico. Estes ao entrar em contato com o lençol subterrâneo, podem alterar o pH do meio, mobilizando metais, os quais contidos naturalmente no solo, passam para a forma dissolvida na água.

Manganês

Com exceção das amostras PT04 e PT22, observa-se a presença de manganês nas demais amostras para o período de julho de 2010 e de PT11, PT16, PT19 e PT22 para o período de maio de 2011. Conforme dados expressos na Tabela 76, a qual apresenta os valores de manganês observados nas amostras de água de poços, referente aos períodos de julho de 2010 (seco) e maio de 2011 (fim de chuva).

Tabela 76 - Teores de manganês observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).

MANGANÊS (Mn) µg/L									
AMOSTRA	PT01	PT02	PT04	PT05	PT06	PT07	PT08	PT09	PT10
Jul/2010	44,0	94,0	LD	37,0	38,0	NC	43,0	44,0	100,0
Mai/2011	NC	65,98	20,56	6,28	66,06	0,05	15,59	67,26	40,76
AMOSTRA	PT11	PT12	PT13	PT14	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20
Jul/2010	42,0	41,0	37,0	39,0	34,0	94,0	34,0	43,0	43,0
Mai/2011	LD	1,29	56,67	54,11	LD	74,84	1,87	LD	64,20
AMOSTRA	PT21	PT22	PT23	PT24	PT25				
Jul/2010	36,0	LD	42,0	NC	NC				
Mai/2011	79,0	LD	4,2	45,42	98				

Fonte: A autora. Legenda. LD: Limite de detecção. NC: Não Coletada.

A Tabela 77 apresenta a relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de manganês em água, em seus diversos usos.

Tabela 77 - Relação de Valores Máximos Permitidos de manganês em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável (Mn total)	100,0	Padrão Organoléptico	BRASIL, 2011 (ANVISA, Portaria nº 2914).
Água Subterrânea (Mn total)	100	VMP (Consumo Humano)	BRASIL, 2008. (CONAMA, Resolução nº 396).
	50	VMP (Dessedentação)	
	200	VMP (Irrigação)	
	100	VMP (Recreação)	
	25	(L. Q. P.)	
Águas Doces (Mn total)	100	VMP (Classe 1)	BRASIL, 2005.
	500	VMP (Classe 3)	(CONAMA, Resolução nº 357).

Continuação Tabela 77

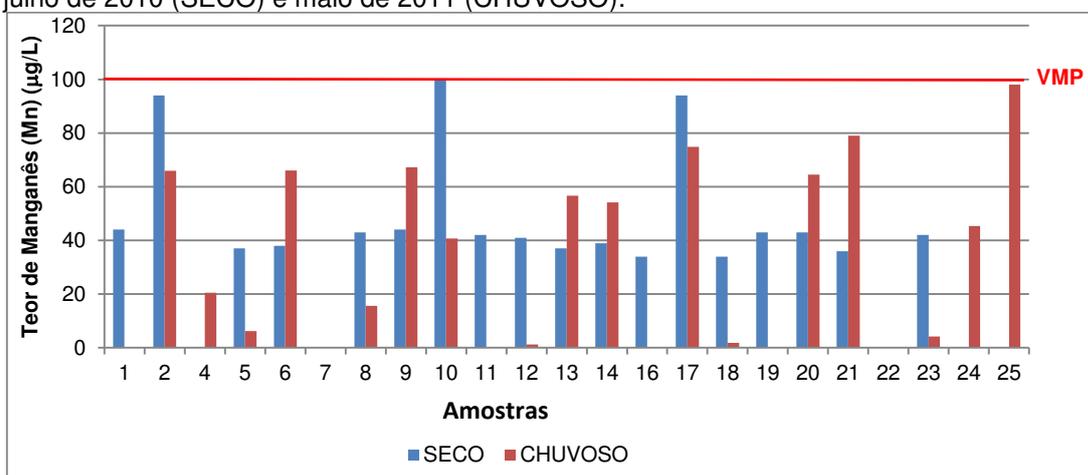
Águas Salinas	100	VMP (Classes 1)	BRASIL, 2005.
(Mn total)			(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salobras	100	VMP (Classes 1)	BRASIL, 2005.
(Mn total)			(CONAMA, Resolução nº 357).

Fonte: BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005. Legenda: L.Q.P. – Limite de Quantificação Praticado.

Apesar da presença do elemento em todas as amostras, apenas a amostra PT10 apresentou concentração dentro do limite máximo permitido para o padrão de potabilidade, 100 µg Mn/L, segundo a Portaria 2914, ANVISA, 2011, para o período de julho de 2010.

O Gráfico 36 apresenta a variação dos teores de manganês. Observa-se que não houve amostras com teores acima da linha de valores máximos permitidos.

Gráfico 36 - Teores de manganês observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (CHUVOSO).



Fonte: A autora. Legenda: VMP (Valor Máximo Permitido).

Observa-se que não há uma relação que caracterize o efeito da sazonalidade para manganês nas amostras de água dos poços da área estudada. Ora maiores concentrações são observadas no período de estiagem, ora no período de chuva.

Contudo, todas as amostras apresentam concentrações de manganês dentro das especificações legais estabelecidas (de acordo com a Portaria 2914, de 2011, do Ministério da Saúde, para consumo humano e Resolução CONAMA nº 396), para classificá-las como adequadas ao consumo humano, quanto a este elemento.

Embora as concentrações de ferro observadas nas águas de poços em Itarema sejam em sua grande maioria acima dos 300 µg/L (VMP de acordo com a Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde), estas não apresentaram correlação com os teores de manganês observados.

Frizzo (2006), em estudo em área próxima a Itarema, observou que as águas subterrâneas são muito mais enriquecidas do que as águas superficiais e que apresentam clara associação com o ferro em amostras de algumas regiões. A exemplo, os valores observados ao norte do estado, registrados pelas amostras de poços tubulares de Bela Cruz (1,066 mg/L), Morrinhos (0,602 mg/L) e Santana do Acaraú (1,204 mg/L – maior resultado determinado) e em poços tipo amazonas de Marco (1,198 mg/L) e Baixa Fria, distrito de Santana do Acaraú (0,234 mg/L); com exceção desta última amostra e localidade, associa-se a ferro (e cádmio em duas amostras). Os poços atravessam depósitos aluviais (argilas e argilas arenosas) do Quaternário. Em Baixa Fria, ocorrem conjuntamente Ba e Cu, e as rochas locais são quartzitos. Cerca de 50 km a sudeste desta zona, a amostra coletada no poço amazonas de Missi, distrito de Irauçuba, apresentou 0,423 mg/L de manganês, sem outros elementos, em domínio dos granitóides do Complexo Tamboril-Santa Quitéria. Como já mencionado, a associação com o ferro denuncia a presença de óxidos hidróxidos coloidais, que deve ser a forma predominante de ocorrência deste elemento nas localidades acima mencionadas.

Cromo

O estudo observou baixas concentrações do elemento nas amostras estudadas, conforme podemos observar pelos dados da Tabela 78, a qual apresenta os teores de cromo observados nas amostras de água durante os períodos de janeiro de 2011 e maio de 2011. Apesar de em janeiro já haver registro de precipitação, este ainda estava sob influência do período seco.

Tabela 78 - Teores de cromo observados nas amostras de água de poços durante os períodos de janeiro de 2011 (INTERMEDIÁRIO) e maio de 2011 (CHUVOSO).

CROMO (Cr) µg/L									
AMOSTRA	PT01	PT02	PT04	PT05	PT06	PT07	PT08	PT09	PT10
Jan/2011	4,44	LD	LD	LD	0,41	LD	LD	0,43	1,00
Mai/2011	ANC	LD	LD	LD	LD	LD	2,52	LD	1,52
AMOSTRA	PT11	PT12	PT13	PT14	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20
Jan/2011	LD	0,56	NC	LD	LD	LD	NC	1,09	LD
Mai/2011	LD	0,26	LD						
AMOSTRA	PT21	PT22	PT23	PT24	PT25	PT26	PT27	PT28	
Jan/2011	LD	NC	NC	1,18	LD	LD	LD	NC	2,98
Mai/2011	LD	0,49							

Fonte: A autora. Legenda. LD: Limite de detecção. NC: Não Coletada.

A seguir a relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de Cromo em água, em seus diversos usos apresentados na Tabela 79.

Tabela 79 - Relação de Valores Máximos Permitidos de cromo em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável (Cr total)	50,0	-	BRASIL, 2011 (ANVISA, Portaria nº 2914).
Água Subterrânea (Cr III + Cr VI)	50,0 1000,0 100,0 50,0 10,0	Consumo Humano Dessedentação Irrigação Recreação L. Q. P.	BRASIL, 2008. (CONAMA, Resolução nº 396).

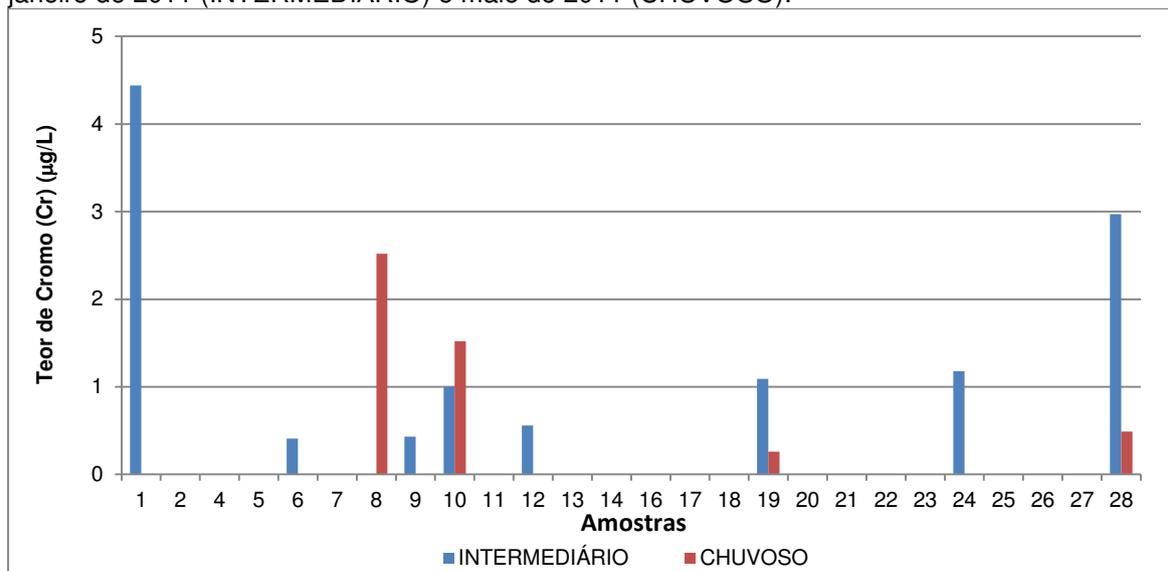
Continuação Tabela 79

Águas Doces	9,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Cr total)	50,0	Classe 3	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salinas	50,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Cr total)	1100	Classe 2	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salobras	50,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Cr total)	1100	Classe 2	(CONAMA, Resolução nº 357).

Fonte: BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005. Legenda: L.Q.P. – Limite de Quantificação Praticado.

Observam-se pelos resultados apresentados, baixas concentrações do metal cromo presente nas águas dos poços estudadas em Itarema. Estando todas abaixo do VMP de 50 µg/L. No período de janeiro de 2011, de 21 (vinte e uma) amostras, 13 (treze) apresentaram concentração inferior ao limite de detecção do equipamento (L.D.= 0,24 µg/L). Representando 61,9%. No período de maio de 2011, de 26 (vinte e seis) amostras, apenas 4 (quatro) amostras apresentaram concentração do elemento acima do L.D. (PT08, PT10, PT19 e PT28). Restando 21 (vinte e um), ou seja, 84% das amostras com concentrações abaixo desse limite. O Gráfico 37 ilustra a variação dos teores de cromo. Observa-se que não há amostras que apresentem teores de cromo acima de 50 µg/L, valor máximo permitido.

Gráfico 37 - Teores de cromo observados nas amostras de água de poços durante os períodos de janeiro de 2011 (INTERMEDIÁRIO) e maio de 2011 (CHUVOSO).



Fonte: A autora.

Um estudo com resultados semelhantes aos observados em Itarema é o de Nobre (2014), realizado em Itaiçaba, Ceará, onde a autora relata que os resultados das análises das amostras de água estudadas na região apresentaram valores abaixo do limite de quantificação do método para todas as amostras, não havendo, portanto teores quantificados que limitassem o uso da água, referente a este parâmetro.

Outra semelhança em valores relativamente baixos observa-se no estudo sobre qualidade das águas subterrâneas da bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia, de Nascimento e Barbosa (2005), onde observaram concentrações de cromo entre 0,1 e 3,9 µg/L, com média aritmética de 0,29 µg/L no aquífero freático, alto cristalino de Salvador, Bahia. Concentrações essas observadas como estando abaixo do estabelecido como VMP pela legislação vigente, assim como também cobre, mercúrio e zinco.

Em dez (10) poços estudados por Berezuk e Gasparetto (2002), o elemento cromo também apresentou concentrações dentro dos limites permitidos pela legislação. Sendo observadas variações de 2,0 a 6,0 µg/L.

Bário

Em geral, os resultados das análises de bário nas águas em Itarema, apresentaram concentrações do elemento relativamente baixas, considerando o VMP de 700,0 µg/L, de acordo com a Portaria 2914, MS, conforme podemos observar na Tabela 80, a qual apresenta os teores de bário nas amostras de água de poços, referente aos períodos de julho de 2010 (seco), janeiro de 2011 (início das chuvas) e Maio de 2011 (pós-chuva).

Tabela 80 - Teores de bário observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO), janeiro de 2011 (INTERMEDIÁRIO) e maio de 2011 (CHUVOSO).

BÁRIO (Ba) µg/L									
AMOSTRA	PT01	PT02	PT04	PT05	PT06	PT07	PT08	PT09	PT10
Jul/2010	141,9	122,1	604,3	427,1	31,0	NC	49,0	15,0	18,0
Jan/2011	318,0	208,0	1503,9	693,9	57,1	263,4	189,3	12,0	14,0
Mai/2011	NC	406,0	760,0	885,0	80,0	29,0	217,0	472,0	885,0
AMOSTRA	PT11	PT12	PT13	PT14	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20
Jul/2010	28,0	10,0	105,0	140,0	64,0	84,0	88,0	70,0	143,0
Jan/2011	478,3	17,0	35,7	104,6	155,2	12,5	NC	11,0	165,5
Mai/2011	30,0	10,0	408,0	497,0	148,0	115,0	102,0	282,0	294,0
AMOSTRA	PT21	PT22	PT23	PT24	PT25	PT26	PT27	PT28	
Jul/2010	11,0	49,0	137,0	NC	NC	NC	NC	NC	
Jan/2011	12,2	10,0	10,0	85,8	102,8	53,7	9,0	9,0	
Mai/2011	208,0	281,0	194,0	65,0	885,0	841,0	65,0	64,0	

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

A seguir, a relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de bário em água, em seus diversos usos apresentados na Tabela 81.

Tabela 81 - Relação de Valores Máximos Permitidos de bário em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável (Ba)	700,0	-	BRASIL, 2011 (ANVISA, Portaria nº 2914).
Água Subterrânea (Ba)	700	Consumo Humano	BRASIL, 2008. (CONAMA, Resolução nº 396).
	-	Dessedentação	
	-	Irrigação	
	1000	Recreação	
	20	L. Q. P.	
Águas Doces (Ba)	700,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
	1000,0	Classe 3	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salinas (Ba)	1000,0	Classe 1	BRASIL, 2005. (CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salobras (Ba)	-	-	BRASIL, 2005. (CONAMA, Resolução nº 357).

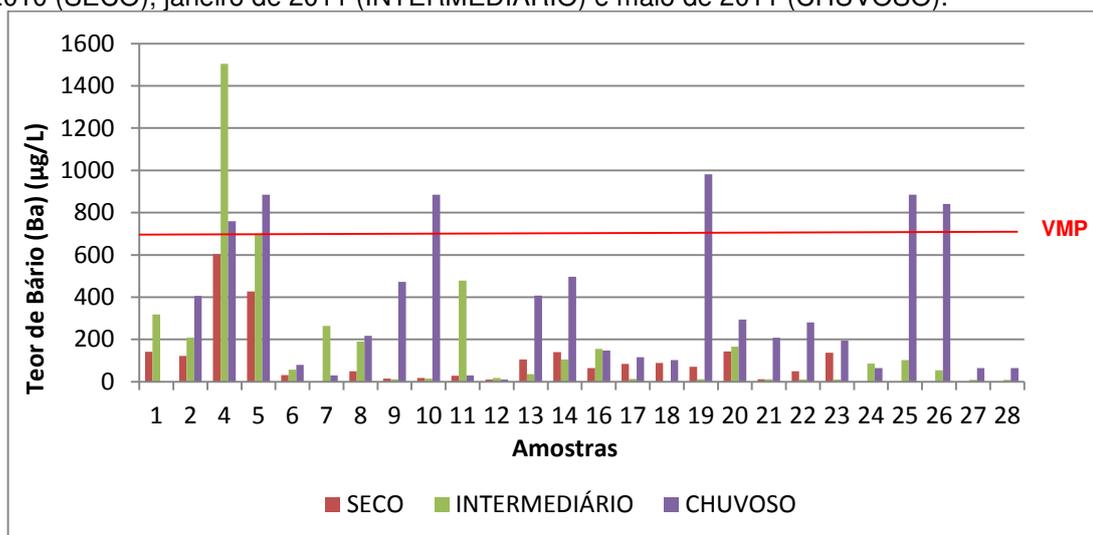
Fonte: BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005. Legenda: L.Q.P. – Limite de Quantificação Praticado.

Pelos resultados apresentados, observa-se a presença do elemento em todas as amostras, independente de estiagem ou não. Contudo, fica caracterizado o efeito da sazonalidade em virtude dos teores mais elevados observados nas amostras de maio de 2011 (pós-chuva), 760,0 µg/L (PT 04), 885,0 µg/L (PT 05, PT10 e PT 25) e 841,0 µg/L (PT 26), sendo possível afirmar que houve lixiviamento para o aquífero. Já no período de julho de 2010 (seco) se observam as mais baixas concentrações de bário. Destaque para a amostra PT 04, coletada em janeiro de 2011 (início das chuvas), com 1.503 µg/L, sendo a única nesse período a apresentar concentração do elemento acima do VMP; muito provavelmente proveniente de alguma fonte pontual de contaminação, uma vez que se trata de um poço localizado em uma região de terreno arenoso, com plantações diversas para agricultura de subsistência e presença

de animais domésticos. O que também é característico das outras 5 (cinco) amostras que apresentaram os maiores teores de bário.

O Gráfico 38 ilustra a variação dos teores de bário. Observam-se amostras com teores acima da linha de valores máximos permitidos.

Gráfico 38 - Teores de bário observados nas amostras de água de poços durante os períodos de julho de 2010 (SECO), janeiro de 2011 (INTERMEDIÁRIO) e maio de 2011 (CHUVOSO).



Fonte: A autora. Legenda: VMP (Valor Máximo Permitido).

Comparando os resultados das análises de água em Itarema com os resultados de Moura (2013) observa-se semelhança entre esses. O autor apresenta resultados que variaram de um mínimo de 24,1 a um máximo de 1.606,6 µg/L, com teor médio de 271,8 µg/L. E em Moura (2008) o autor observou presença constante do elemento bário nas águas analisadas, sendo este o mais abundante dos estudados na área de Banabuiú, sendo detectado em 92% das amostras analisadas (69). Contudo, em baixas concentrações, mantendo os resultados abaixo do VMP, Ministério da Saúde. Um mínimo de 70 µg/L e um máximo de 960 µg/L, com média de 240 µg/L Ba.

Também se observa semelhança nos teores de bário distribuídos na área de estudo de Nobre (2014), quando comparados aos da área de estudo em Itarema. A autora observou concentração do elemento bário acima dos 700,0 µg/L em 6, de 20 amostras, do trabalho realizado em Itaiçaba, no período de março de 2013, e em 4, de 18 amostras, no período de abril de 2013. Estando essas localizadas em área de moradias, portanto, sujeitas a influências antrópicas. Todavia, a autora destaca o fato

de na área inexistirem indústrias, conseqüentemente, ausência de efluentes industriais, o que leva a autora a afirmar a possibilidade de que as elevadas concentrações de bário observadas revelam o nível natural desse na água. As amostras analisadas pela autora apresentaram valor mínimo de 63,0 µg/L e máximo de 995,0 µg/L, com média de 593,7 µg/L, no período de março de 2012. Os valores acima do VMP foram de 762,0 µg/L, 995,0 µg/L, 774,0 µg/L, 823,0 µg/L, 704,0 µg/L e 895,0 µg/L. Já para o período de abril de 2013, o mínimo observado foi de 110,0 µg/L, o máximo de 1.055,0 µg/L, com média de 410,33 µg/L. Os valores observados acima do VMP foram de 829,0 µg/L, 1.055,0 µg/L, 974,0 µg/L e 834,0 µg/L.

Entretanto, Frizzo (2006) relata que na porção norte do estado, a presença de águas contendo bário acima do valor de referência (700,0 µg/L) é notável, tendo sido determinadas concentrações de 5.588,0 µg/L (o maior resultado obtido) e de 1.727,0 µg/L nos poços tubulares que abastecem as cidades de Jijoca de Jericoacoara e Cruz, cerca de 20 km a leste, tendo em comum os elementos Cd e Cu acima das respectivas referências. O autor também observou, em poços tipo amazonas, que abastecem os distritos de Garças, município de Amontada e Baixa Fria, município de Santana do Acaraú, resultados de 1.910,0 e 712,0 µg/L, tendo estes primeiros terrenos altos resultados também para Cu e Mn. Os terrenos desses são constituídos por arenitos argilosos com leitos conglomeráticos do Grupo Barreiras, do Neogeno, o que sugere um possível relacionamento com fácies locais desta unidade litológica, uma vez que este grupo tem ampla distribuição na faixa litorânea do Ceará; Já o terreno descrito em Santana do Acaraú se dá por influência de quartzitos da Formação São Joaquim, do Grupo Martinópolis, datada do Neoproterozóico. Dois outros locais merecem destaque por apresentar valores bastante altos deste elemento: no sul do estado, um poço tubular que alimenta Missão Velha, em cujas águas foi registrado 5.210,0 µg/L de bário, associado a Ferro, e na região centro-leste, distrito de Cipó dos Anjos, município de Quixadá, com 2.758,0 µg/L e contendo ainda Na, Sr e Zn acima das respectivas referências.

Cobre

A Tabela 82 apresenta os valores de cobre observados nas amostras de água de poços, referente ao período de julho de 2010 (seco). Nestas, os teores observados foram considerados baixos e nenhuma amostra apresentando proximidade com o valor máximo permitido por lei para consumo, que é de 2.000,0 µg/L. E a Tabela 83 apresenta a relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de cobre em água, em seus diversos usos.

Tabela 82 - Teores de cobre observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010.

COBRE (Cu) µg/L									
AMOSTRA	PT01	PT02	PT04	PT05	PT06	PT07	PT08	PT09	PT10
Jul/2010	26	15	LQ	24	17	NC	33	17	19
AMOSTRA	PT11	PT12	PT13	PT14	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20
Jul/2010	75	15	15	15	14	15	13	15	17
AMOSTRA	PT21	PT22	PT23						
Jul/2010	34	LD	32						

Fonte: A autora. Legenda. LD: Limite de detecção. NC: Não Coletada.

Tabela 83 - Relação de Valores Máximos Permitidos de cobre em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável (Cu)	2.000,0	-	BRASIL, 2011 (ANVISA, Portaria nº 2914).
Água Subterrânea (Cu)	2.000,0	Consumo Humano	BRASIL, 2008. (CONAMA, Resolução nº 396).
	500,0	Dessedentação	
	200,0	Irrigação	
	1.000,0	Recreação	
	50,0	L. Q. P.	

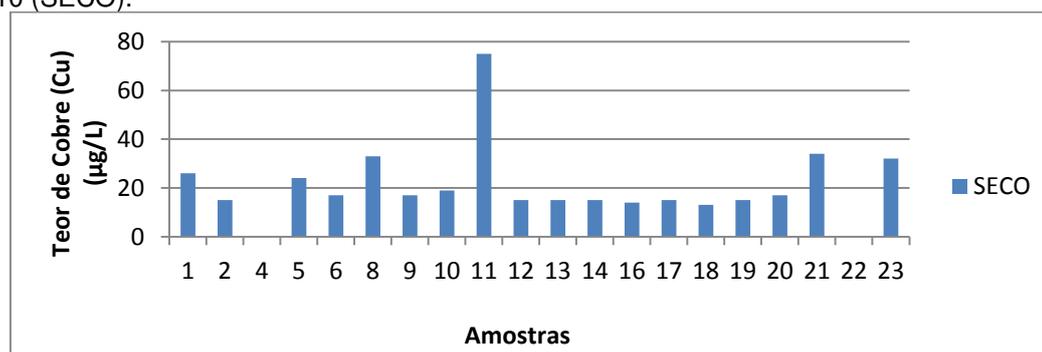
Continuação Tabela 83			
Águas Doces	9,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Cu dissolvido)	13,0	Classe 3	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salinas	5,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Cu dissolvido)	7,8	Classe 2	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salobras	5,0	Classe 1	BRASIL, 2005.
(Cu dissolvido)	7,8	Classe 2	(CONAMA, Resolução nº 357).

Fonte:

BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005. Legenda: L.Q.P. – Limite de Quantificação Praticado.

O Gráfico 39 ilustra a variação dos teores de cobre referente às amostras da campanha de julho de 2010. Observa-se que das 20 amostras analisadas, 2 (4 e 22) apresentaram valor abaixo o limite de detecção do aparelho, que é de 9,3 µg/L, não sendo, portanto, não quantificado. As demais amostras com teores entre 13 e 75 µg/L, estando a grande maioria abaixo de 20 µg/L.

Gráfico 39 - Teores de cobre observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010 (SECO).



Fonte: A autora.

Baixos teores (< 9,0 µg/L) de cobre também foram observados por Frizzo (2006). O autor relata que teores assim tornam-se essenciais, fazendo parte de proteínas e enzimas na corrente sanguínea. Se em excesso, provoca vômitos, dores estomacais e náuseas, chegando a causar danos ao fígado, rins, anemia e morte.

Níquel

A Tabela 84 apresenta os valores de níquel observados nas amostras de água de poços, referente ao período de julho de 2010 (seco). Nestas, os teores observados foram considerados baixos, entretanto a amostra 2 destaca-se por ultrapassar o valor máximo permitido para consumo humano que é de 20,0 µg/L, segundo Resolução CONAMA 396. E a Tabela 85 a relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de níquel em água, em seus diversos usos.

Tabela 84 - Teores de níquel observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010.

NIQUEL (Ni) µg/L									
AMOSTRA	PT01	PT02	PT04	PT05	PT06	PT07	PT08	PT09	PT10
Jul/2010	9,4	30,0	2,6	0,6	0,4	NC	1,4	2,2	10,1
AMOSTRA	PT11	PT12	PT13	PT14	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20
Jul/2010	0,2	0,5	5,5	4,2	1,2	1,8	5,5	3,6	7,6
AMOSTRA	PT21	PT22	PT23						
Jul/2010	3,0	19,0	1,1						

Fonte: A autora. Legenda. NC: Não Coletada.

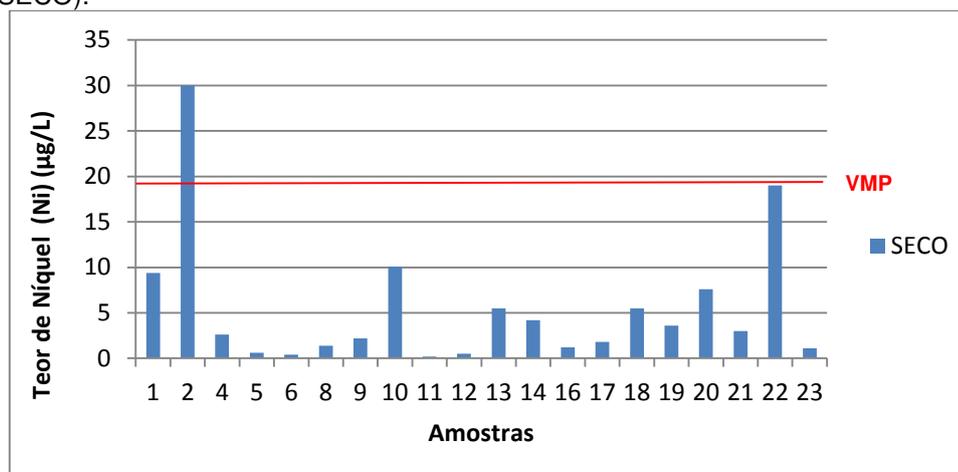
Tabela 85 - Relação de Valores Máximos Permitidos de níquel em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável (Ni)	70,0	-	BRASIL, 2011 (ANVISA, Portaria nº 2914).
Água Subterrânea (Ni)	20,0	Consumo Humano	BRASIL, 2008. (CONAMA, Resolução nº 396).
	1000	Dessedentação	
	200,0	Irrigação	
	100,0	Recreação	
Águas Doces (Ni total)	25,0	Classe 1	BRASIL, 2005. (CONAMA, Resolução nº 357).
	25,0	Classe 3	
Águas Salinas (Ni total)	25,0	Classe 1	BRASIL, 2005. (CONAMA, Resolução nº 357).
	74,0	Classe 2	
Águas Salobras (Ni total)	25,0	Classe 1	BRASIL, 2005. (CONAMA, Resolução nº 357).
	74,0	Classe 2	

Fonte: BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005. Legenda: L.Q.P. – Limite de Quantificação Praticado.

O Gráfico 40 ilustra a variação dos teores de níquel referente às amostras da campanha de julho de 2010.

Gráfico 40: Teores de níquel observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010 (SECO).



Legenda: VMP (Valor Máximo Permitido). Fonte: A autora.

Assim como a maioria dos teores de níquel observada neste trabalho foi baixa, Nobre (2014) também expôs em seu trabalho que os teores quantificáveis encontrados ficaram abaixo do VMP estabelecido pela legislação. O mesmo foi observado por Frizzo (2006), onde os teores observados foram, na maioria das amostras, entre 4 e 17 µg/L.

Já para Moura (2013), dos 18 resultados, 2 ficaram acima de 70 µg/L e 6 acima de 20 µg/L, no cristalino.

Cobalto

A Tabela 86 apresenta os valores de cobalto observados nas amostras de água de poços, referentes ao período de julho de 2010 (seco). Com teores variando de 0,09 a 8,0 µg/L e média 2,21 µg/L, considerando as 11 amostras quantificadas.

Tabela 86 - Teores de cobalto observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010 (SECO).

COBALTO (Co) µg/L									
AMOSTRA	PT01	PT02	PT04	PT05	PT06	PT07	PT08	PT09	PT10
Jul/2010	3,0	2,0	0,09	LD	LD	NC	LD	LD	0,23

Continuação Tabela 86

AMOSTRA	PT11	PT12	PT13	PT14	PT16	PT17	PT18	PT19	PT20
Jul/2010	LD	LD	4,0	3,0	LD	LD	1,0	2,0	8,0
AMOSTRA	PT21	PT22	PT23						
Jul/2010	0,5	0,5	LD						

Fonte: A autora. Legenda. LD: Limite de detecção. NC: Não Coletada.

Os teores de cobalto observados não podem ser enquadrados na legislação a fim de classificá-los como adequados para águas destinadas para consumo humano, uma vez que a legislação não especifica estes teores para esses fins, conforme observado pela relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de cobalto em água, em seus diversos usos, observados na Tabela 87.

Tabela 87 - Relação de Valores Máximos Permitidos de Cobalto em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável (Co)	-	-	BRASIL, 2011 (ANVISA, Portaria nº 2914).
Água Subterrânea (Co)	- 1000,0 50,0 - 10,0	Consumo Humano Dessedentação Irrigação Recreação L. Q. P.	BRASIL, 2008. (CONAMA, Resolução nº 396).
Águas Doces (Co total)	50,0 200,0	Classe 1 Classe 3	BRASIL, 2005. (CONAMA, Resolução nº 357).

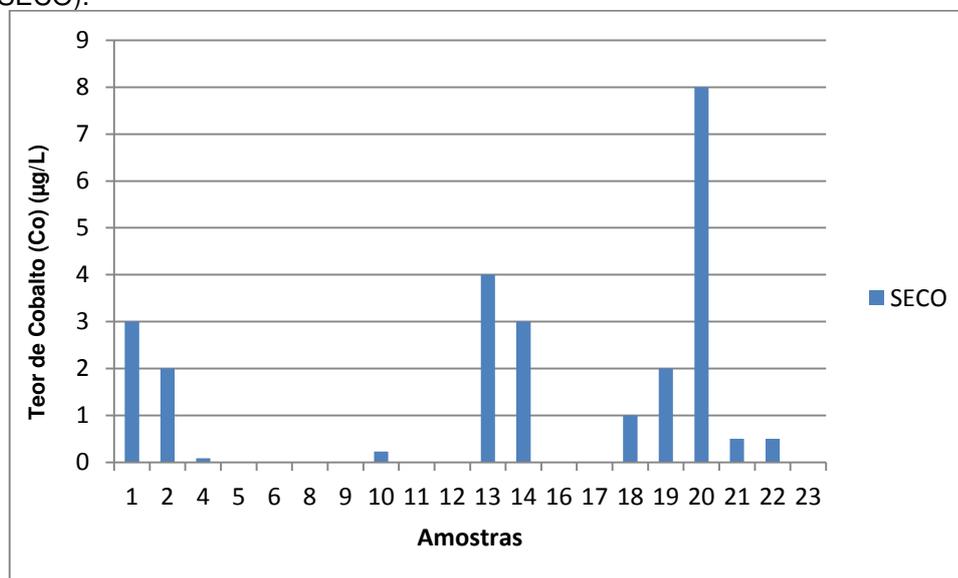
Continuação Tabela 87

Águas Salinas			BRASIL, 2005.
(Co total)	-	-	(CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salobras			BRASIL, 2005.
(Co total)	-	-	(CONAMA, Resolução nº 357).

Fonte: BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005. Legenda: L.Q.P. – Limite de Quantificação Praticado.

O gráfico 41 ilustra a quantificação do elemento cobalto. No entanto não referencia VMP em água destinadas ao consumo humano.

Gráfico 41: Teores de cobalto observados nas amostras de água de poços durante o período de julho de 2010 (SECO).



Fonte: A autora. Legenda: VMP (Valor Máximo Permitido).

Como não há na legislação a especificação do VMP para concentração de cobalto em água destinada ao consumo humano, não há, portanto, marcação deste

no gráfico ilustrativo das concentrações de cobalto observadas nas amostras de água desse trabalho.

Antimônio

Os teores de antimônio durante o processo de análises, para todas as amostras, coletadas durante os períodos de julho de 2010 (SECO) e maio de 2011 (chuva), mantiveram-se abaixo do LD aplicado (1,23 µg/L).

A legislação prevê uma concentração máxima de 5,0 µg/L de antimônio para enquadrar determinada água como potável ou adequada para consumo humano. Como todas as amostras apresentaram teores abaixo do LD, podemos afirmar como apropriadas para o consumo humano.

A Tabela 88 apresenta a relação de valores orientadores quanto aos limites máximos permitidos de antimônio em água em seus diversos usos.

Tabela 88 - Relação de Valores Máximos Permitidos de Antimônio em água, segundo a legislação nacional vigente, em seus diversos usos.

Meio	VMP (µg/L)	Comentário	Referência
Água Potável (Sb)	5,0	-	BRASIL, 2011 (ANVISA, Portaria nº 2914).
Água Subterrânea (Sb)	5,0	Consumo Humano	BRASIL, 2008.
	-	Dessedentação	(CONAMA, Resolução nº
	-	Irrigação	396).
	-	Recreação	
	5,0	L. Q. P.	
Águas Doces (Sb)	5,0	Classe 1	BRASIL, 2005. (CONAMA, Resolução nº 357).

Continuação Tabela 88

Águas Salinas (Sb)	-	BRASIL, 2005. (CONAMA, Resolução nº 357).
Águas Salobras (Sb)	-	BRASIL, 2005. (CONAMA, Resolução nº 357).

Fonte: BRASIL, 2011. BRASIL, 2008. BRASIL, 2005. Legenda: L.Q.P. – Limite de Quantificação Praticado.

Como todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite de detecção aplicado, não se aplica a ilustração gráfica.

6.6 Isótopos

O município de Itarema possui litologia baseada em areia fina, arenito fino, siltito, argilito, arenito argiloso, areia grossa e argila arenosa, segundo perfis litológicos de poços localizados na área de estudo, cadastrados no SIAGAS/ CPRM (APENDICE 3). Essa litologia, com exceção do argilito, favorece uma rápida infiltração da água da chuva devido à alta permeabilidade do terreno.

Os períodos chuvosos em Itarema, assim como na Bacia do Litoral como um todo, caracterizam-se por serem pouco intensos. Essa característica evidencia o efeito quantidade, citado por Custódio e Llamas, p. 1267 (1983), onde os autores afirmam que as gotas de chuva podem sofrer uma troca isotópica com a umidade ambiental, se esta apresentar composição diferente. E que chuvas mais duradouras proporcionam águas isotopicamente mais leves.

Neste trabalho, percebe-se pelos valores obtidos em análises de isótopos realizadas em amostras de águas subterrâneas, coletadas em períodos secos e chuvosos, a relação de resultados que apresentam águas mais leves em amostras referentes aos períodos chuvosos que às coletadas em período seco, conforme

descritos na Tabela 90, o que caracteriza o efeito da quantidade de chuva sobre essas amostras. Contudo, se parte dessas águas ficaram retidas no terreno e/ou sofreram evaporação, provavelmente tenha sido este um dos efeitos causadores de suave enriquecimento isotópico, chegando esta água ao aquífero, caso tenha conseguido alcançá-lo.

Porém, em terreno arenoso com infiltração rápida e eficiente, chamada a seguir “recarga direta”, a composição isotópica das águas subterrâneas corresponde à média ponderada das composições isotópicas das precipitações.

Os resultados obtidos nas análises de águas subterrâneas em Itarema são apresentados na Tabela 89.

Tabela 89 - Isótopos de Oxigênio-18 e Deutério, durante 4 campanhas de trabalho de campo.

AMOSTRA	Mai/2011		Nov/2011		Abr/2012		Out/2012	
	(Chuvoso)		(Seco)		(Chuvoso)		(Seco)	
	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{18}\text{O}$	δD
PT 01	N.A	N.A	-2,81	-20,01	-5,25	-25,57	-3,92	N.A.
PT 02	-4,21	-27,96	N.A	N.A	-5,54	-27,95	N.A	N.A.
PT 04	-3,14	-20,99	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A.
PT 05	-4,87	-33,49	-3,99	-28,45	-5,58	-28,06	N.A	N.A.
PT 06	-3,68	-24,09	-3,74	-25,25	N.A	N.A	-3,80	N.A.
PT 07	-4,23	-29,24	-3,93	-25,28	-5,93	-30,78	-3,79	N.A.
PT 08	-3,49	-23,47	-3,45	-21,42	-5,44	-30,30	-4,50	N.A.
PT 09	-4,08	-27,09	-4,35	-26,36	-5,21	-29,11	-4,27	N.A.
PT 10	-3,52	-24,43	-3,93	-23,14	-5,26	-27,37	-3,90	N.A.
PT 11	-4,45	-30,07	-4,14	-28,73	-5,64	-32,17	-4,03	N.A.
PT 12	-1,90	-17,70	-2,24	-17,11	-4,20	-17,16	-3,19	N.A.
PT 13	-3,30	-22,37	-3,06	-20,98	-5,03	-25,11	-4,09	N.A.
PT 14	-3,23	-22,52	-3,43	-23,65	-4,82	-20,99	-3,34	N.A.
PT 16	-2,97	-19,91	-3,17	-21,82	-4,77	-22,59	-3,76	N.A.
PT 17	-0,40	-7,61	0,12	-4,96	-3,51	-15,33	-0,55	N.A.
PT 18	-3,21	-21,65	-4,02	-24,61	-4,98	-24,21	-3,71	N.A.
PT 19	-3,69	-24,67	-3,54	-24,35	-5,68	-25,09	-3,74	N.A.
PT 20	-3,05	-21,03	-3,22	-22,51	-4,91	-23,67	-3,48	N.A.
PT 21	-4,22	-26,80	-4,22	-25,55	-4,40	-19,42	-3,57	N.A.
PT 22	-3,10	-20,28	-4,42	-23,64	-3,43	-10,96	-3,40	N.A.

Continuação Tabela 89

PT 23	-3,73	-26,58	-3,61	-24,96	-6,00	-30,01	-4,26	N.A.
PT 24	-3,92	-26,35	-3,83	-25,69	-4,90	-23,85	-4,23	N.A.
PT 25	-4,16	-22,59	-4,18	-26,80	-5,72	-28,89	-4,53	N.A.
PT 26	-3,27	-22,37	-3,87	-24,32	-5,88	-28,26	-4,42	N.A.
PT 27	-2,80	-18,43	-4,15	-25,56	-5,21	-25,94	N.A	N.A.
PT 28	-2,95	-17,93	-3,78	-22,77	-5,13	-24,43	-3,92	N.A.

Fonte: A autora. Legenda. N.A.: Não analisado.

Observa-se na época chuvosa, para ^{18}O , que em 2012 foi bem menor que em 2011. A relação persiste na época seca seguinte. E observa-se a mesma relação para D.

Agrupando os resultados obtidos de acordo com os valores característicos de $\delta^{18}\text{O}$, conforme possível processo que marcou a água obteve-se a correlação apresentada no Quadro 06. Nesta se observa a presença de 3 grupos com faixas de valores de $\delta^{18}\text{O}$ variando de -6,00 a -4,02 para o primeiro grupo, o qual caracteriza efeito quantidade como marco nessas águas. O segundo grupo variando entre -3,99 a -2,24, o qual caracteriza o efeito recarga direta atual. Esse efeito é característico do período chuvoso normal. E o terceiro grupo com variação de -1,90 a 0,12, o qual caracteriza efeito de infiltração de água evaporada de mananciais superficiais.

Durante o período chuvoso, parte das amostras que apresentaram características da causa do efeito quantidade, também apresentaram comportamento que caracterizou o efeito recarga direta. A litologia da área estudada (arenoso) é um dos grandes contribuintes para esse comportamento durante o período chuvoso.

Quadro 06 - Correlação de amostras coletadas, segundo resultados de $\delta^{18}\text{O}$ e o possível processo ocorrido.

Grupo	Faixa de Valores de $\delta^{18}\text{O}$	Período Chuvoso	Período Seco	Processos
1	-6,00 a -4,02	1, 2, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28.	-	Recarga direta com efeito quantidade (R.D.E.Q.)
2	-3,99 a -2,24	4, 6, 8, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 28.	-	Recarga direta atual (R.D.A.)

Continuação Quadro 06

3	-1,90 a 0,12	12, 17	17	Infiltração de água evaporada (I.A.E.)
---	-----------------	--------	----	--

Fonte: A autora.

Foram poucos os poços que apresentaram água com características de mistura, água subterrânea com água de chuva, grupo 3, infiltrada a partir do leito dos córregos e lagoas da área. Isso denota, como observado em campo, camada impermeável de material argiloso.

O Quadro 07 apresenta uma descrição detalhada quanto aos possíveis efeitos que marcaram essas águas, para as amostras nos períodos seco e chuvoso, durante os anos de 2011 e 2012, de acordo com os resultados de $\delta^{18}\text{O}$.

Quadro 07 - Provável processo ocorrido nas amostras estudadas em cada campanha de coleta de acordo com os resultados de $\delta^{18}\text{O}$.

Amostra	2011		2012	
	Chuvoso (Maio)	Seco (Novembro)	Chuvoso (Abril)	Seco (Outubro)
1	-	-	R.D.E.Q.	-
2	R.D.E.Q.	-	R.D.E.Q.	-
4	R.D.A.	-	-	-
5	R.D.E.Q.	-	R.D.E.Q.	-
6	R.D.A.	-	R.D.A.	-
7	R.D.E.Q.	-	R.D.E.Q.	-
8	R.D.A.	-	R.D.A.	-
9	R.D.E.Q.	-	R.D.E.Q.	-
10	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-
11	R.D.E.Q.	-	R.D.E.Q.	-
12	I.A.E.	-	R.D.E.Q.	-
13	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-
14	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-
16	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-
17	I.A.E.	I.A.E.	R.D.A.	I.A.E.
18	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-
19	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-
20	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-
21	R.D.E.Q.	-	R.D.E.Q.	-
22	R.D.A.	-	R.D.A.	-
23	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-

Continuação Quadro 07

24	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-
25	R.D.E.Q.	-	R.D.E.Q.	-
26	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-
27	R.D.A.	-	R.D.A.	-
28	R.D.A.	-	R.D.E.Q.	-

Fonte: A autora. Legenda. R.D.E.Q: Recarga direta com efeito quantidade. R.D.A: Recarga direta atual, e I.A.E: Infiltração de água evaporada.

Portanto, observa-se que entre os prováveis processos ocorridos para enriquecimento isotópico, predominam a recarga direta seguido do efeito quantidade. Apenas a amostra 17 enquadrou-se no processo de infiltração de água evaporada para os anos de 2011 e 2012. E apenas a amostra 12 para o ano de 2011. Ou seja, uma pequena parte dessas águas ficou retida no terreno e/ou sofreu evaporação, isso por conta dos altos baixos valores que indicam enriquecimento isotópico no conjunto de amostras analisadas. Entre as causas desses processos, como já dito anteriormente, estão o fato de chuvas pouco intensas e a litologia do terreno que favorece os prováveis processos ocorridos.

As amostras 2, 5, 7, 9, 10, 11, 21 e 25 apresentaram o mesmo comportamento durante os anos de 2011 e 2012, tendo como característica o efeito quantidade. Já as amostras 6, 22 e 27, o mesmo comportamento durante 2011 e 2012, efeito recarga direta. A amostra 17 fica marcada por infiltração de água evaporada durante os dois anos. Sua principal característica é a presença acentuada de ferro-bactérias, popularmente denominadas “Capa rosa”.

A amostra 12 não apresentou um marco característico, pois a partir dos valores obtidos, esta oscilou entre os efeitos de recarga direta, efeito quantidade e infiltração de água evaporada para os distintos períodos de estudo. Contudo nenhuma característica na área onde esta amostra se localiza que especifique diferença entre as amostras 6, 7, 10, 11, e 27, as quais fazem parte de um pequeno vilarejo ocupado habitado.

Apesar de as amostras 01, 02, 05 e 24 serem de água de cacimbas aneladas, ou seja, permanecerem constantemente destampadas para retirada, essa

construção, nesse estudo, não foi o suficiente para o favorecimento de ocorrência de infiltração de água evaporada que caracterizasse tal efeito.

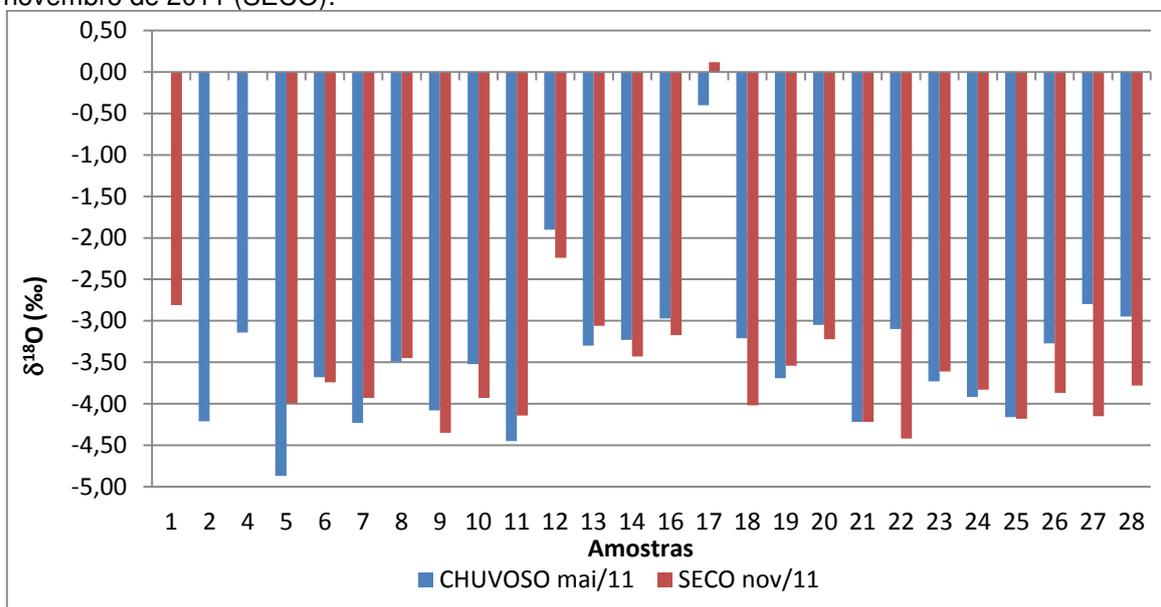
Os resultados refletem a atuação da sazonalidade, quando observados os marcos destas águas referentes aos valores de $\delta^{18}\text{O}$, efeito quantidade e o efeito recarga direta.

Observando o histórico das chuvas, APÊNDICE 4, tendo como referência o posto Itarema, observa-se média mensal (para o período de chuva) de 326,4mm/mês para o ano de 2011 e 147,8 mm/mês para o ano de 2012.

O APENDICE 3 ajuda a interpretar esses dados, por retratar o tipo de construção de cada ponto de coleta de amostra de água, o uso dessas águas e as peculiaridades de cada ponto.

A seguir o Gráfico 42 o qual ilustra os resultados obtidos para as análises de $\delta^{18}\text{O}$ para o ano de 2011, períodos seco e chuvoso.

Gráfico 42 - Resultado das análises de $\delta^{18}\text{O}$ durante os períodos de maio de 2011 (CHUVOSO) e novembro de 2011 (SECO).



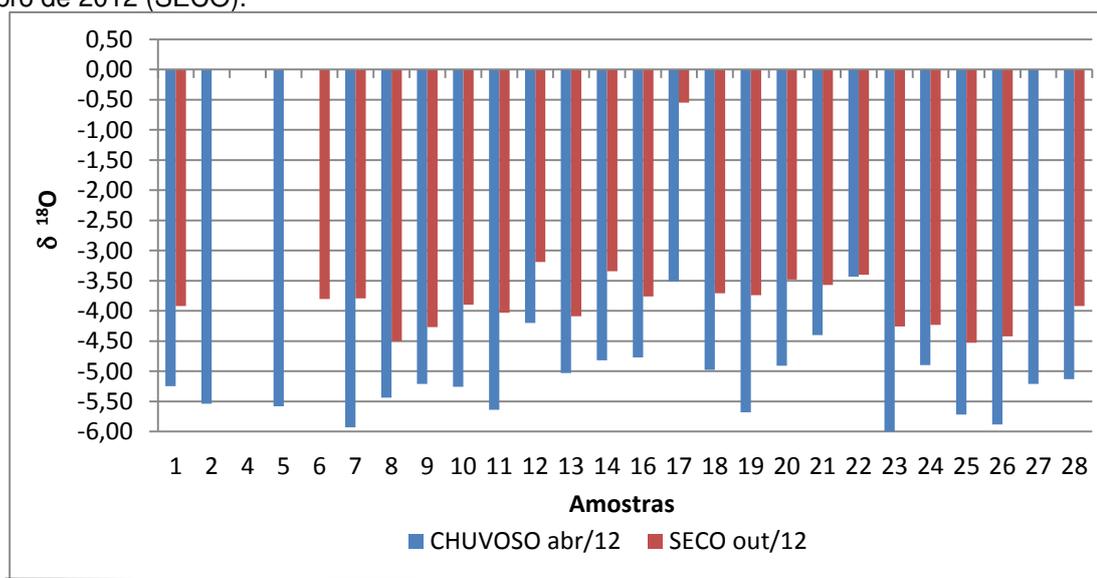
Fonte: A autora.

Com base no Gráfico 42, se observa, ora as amostras apresentam-se mais negativas, ou seja, mais pesadas durante o período seco, ora no período chuvoso,

para o ano de 2011 e as diferenças no $\delta^{18}\text{O}$ são pouco pronunciadas entre os períodos seco e chuvos, resultando em águas mais homogêneas.

Para o ano de 2012, essa diferença entre os períodos seco e chuvoso é mais pronunciada, conforme ilustra o Gráfico 43, o qual ilustra os resultados obtidos para as análises de $\delta^{18}\text{O}$ para o ano de 2012.

Gráfico 43 - Resultado das análises de $\delta^{18}\text{O}$ durante os períodos de abril de 2012 (CHUVOSO) e outubro de 2012 (SECO).

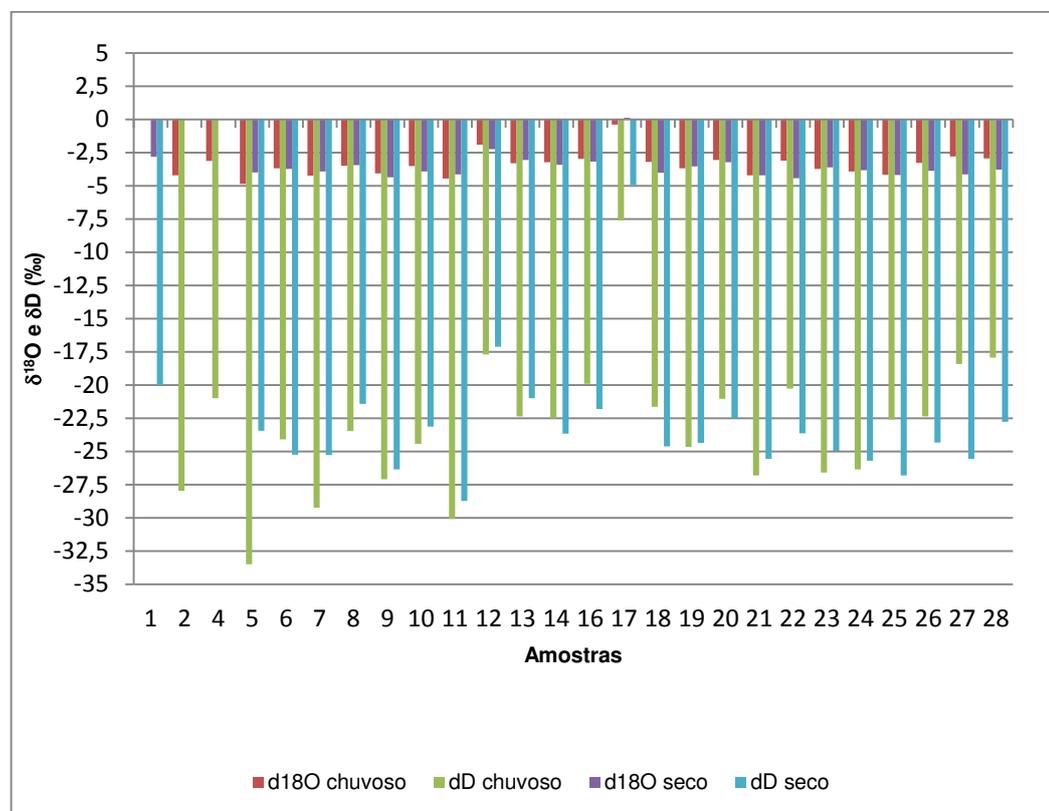


Fonte: A autora.

De acordo com Santiago *et al.* (2008) in Feitosa *et al.* (2008), águas que sofreram pequeno grau de evaporação apresentam uma relação linear entre δD (‰) e $\delta^{18}\text{O}$ (‰), mas em clima seco, onde ocorre evaporação durante a queda da chuva, resulta numa reta meteórica local com inclinação menor que 8. E segundo Santiago *et al.* (2007), nas regiões onde as águas subterrâneas possuem elevados teores em sais é possível identificar se a concentração destes decorre do processo de evaporação ou de processos internos do aquífero.

O Gráfico 44 ilustra o comportamento das amostras para o período chuvoso de maio de 2011 e o período seco de novembro de 2011. Não entram nessa ilustração gráfica os resultados do período chuvoso de abril de 2012 e o período seco de 2012 porque não foram analisados δD (‰) para o período seco.

Gráfico 44 - Resultado das análises de $\delta^{18}\text{O}$ e δD durante os períodos de abril de 2011 (CHUVOSO) e novembro de 2011 (SECO).



Fonte: A autora.

Moura (2013) em seu estudo na Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú, identificou interações entre água superficial e o aquífero. O autor afirma que uma vez que as águas se distinguem pelos isótopos, a água subterrânea, que não evaporou antes de sua infiltração no aquífero por meio da precipitação, guarda as características isotópicas da água da chuva. Já a água que infiltra no aquífero através de recursos hídricos superficiais fica marcada pelo efeito da evaporação, ou seja, valores de isótopos ambientais mais positivos.

Em estudo hidroquímico do aquífero aluvionar do Baixo Jaguaribe, em Itaiçaba, Ceará, Nobre (2014) expõe que no aquífero estudado se observa a influencia dos rios, lagos ou canais que o abastecem, acarretando uma composição isotópica mais pesada, diferente das águas pluviais locais, podendo servir para identificar a origem das águas de recarga. Isso também foi observado em Itarema, porém, a

contribuição para o aquífero freático a partir dos lagos e pouco significativa, visto que valores de $\delta^{18}\text{O}$ de água evaporada foram pouco observados.

6.7 Resíduos de Agrotóxicos

Os resultados das análises de resíduos de agrotóxicos mostraram que, se presentes nas amostras de água estudadas, estes encontram-se em concentrações muito baixas, estando suas concentrações inferiores ao limite de quantificação do método aplicado, que é de 0,03 $\mu\text{g/L}$. O que nos leva a afirmar que dentro da área de estudo e nas comunidades as quais afirmaram fazer uso desses compostos em suas agriculturas de subsistência, a utilização e aplicação de compostos agrotóxicos está sendo realizada de forma adequada, conforme indicação de rotulagem dos produtos, e que as concentrações acima do limite máximo permitido de alguns elementos traço, observadas neste estudo, não têm relação com o uso de agrotóxicos.

Os laudos com os resultados das análises estão nos anexos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

6.8 Índice de Vulnerabilidade – DRASTIC (*Depth, Recharge, Aquifer, Soil, Topography, Impact of the vadose zone and Conductivity hidraulic*).

6.8.1 Caracterização dos Parâmetros do Índice de Vulnerabilidade – DRASTIC

D- Profundidade do nível estático ou Profundidade da zona não saturada;

Os dados da Tabela 90 mostram os valores do nível estático e da altitude dos poços monitorados ao longo do trabalho. Esses dados foram utilizados na elaboração do mapa de profundidade do nível estático do aquífero.

A Figura 28 apresenta o mapa de profundidade do nível estático do aquífero da área de estudo. Os polígonos foram agrupados em classes de profundidade e atribuídos valores de avaliação pré-definidos pelo Índice DRASTIC.

A partir das profundidades de nível estático observadas nos poços monitorados, avaliando e classificando cada um, estes corresponderam às classes 5, 7, 9 e 10.

No mapa de profundidade, observa-se a variação do nível estático desde profundidades menores que 1,5 m (classe 10), PT 02, 05, 20 e 23, sendo este último apenas na campanha de maio de 2011, até maiores profundidades, de 9 a 15,2 m (classe 5). Observa-se que a área de estudo não contemplou todos os intervalos de profundidade definidos pelo Índice DRASTIC.

As classes 5 e 10, com maiores e menores profundidades, respectivamente, ocupam pequenas porções, quando distribuídas no mapa de caracterização do parâmetro D. Neste, prevalecem as classes 7 e 9, de profundidades de 4,6 a 9,1 m e 1,5 a 4,5 m, respectivamente.

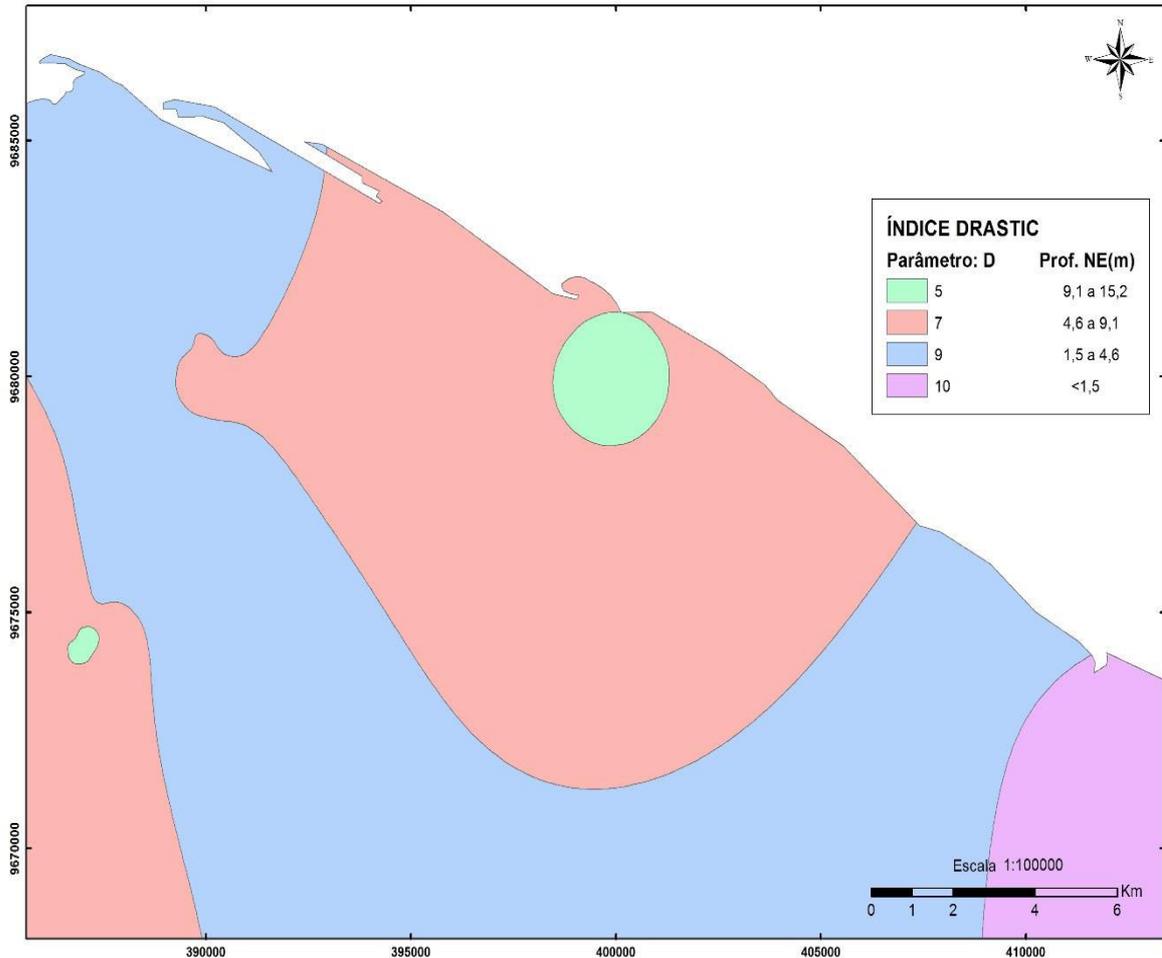
Este relevante fato será considerado para a avaliação da vulnerabilidade da área em estudo, o qual poderá ser minimizado ou valorado conforme a profundidade do lençol freático seja maior ou menor, respectivamente. Isso porque quanto maior for a profundidade do lençol freático, menor a probabilidade de o contaminante chegar ao domínios subterrâneo, e vice-versa.

Tabela 90 - Dados de altitude e nível estático observados nos poços em Itarema, durante o estudo.

Poços	Altitude (m)	Nível estático		
		jul/10	jan/11	mai/11
PT 01	20,8	10,9	12	10,5
PT 02	N.R.	0,8	0,5	0,2
PT 04	N.R.	2,5	N.R.	N.R.
PT 05	12,84	0,5	0,5	0,1
PT 06	N.R.	4,1	N.R.	2
PT 07	N.R.	4	5,2	2
PT 08	33,8	4,5	N.R.	N.R.
PT 09	N.R.	5	6,1	4,5
PT 10	N.R.	4,3	N.R.	3,5
PT 11	N.R.	4,5	N.R.	N.R.
PT 12	11,84	4,1	N.R.	N.R.
PT 13	13,7	15,1	N.R.	N.R.
PT 16	28,78	8	N.R.	N.R.
PT 17	N.R.	9,5	N.R.	N.R.
PT 18	14,61	3	N.R.	N.R.
PT 19	N.R.	2,5	N.R.	N.R.
PT 20	11,98	1	N.R.	N.R.
PT 21	4,61	3	N.R.	N.R.
PT 22	N.R.	3,8	N.R.	3
PT 23	N.R.	1,5	2,3	0,8
PT 24	N.R.	N.R.	3,0	1,8
PT 25	17,7	N.R.	10,2	11,5
PT 26	N.R.	N.R.	9,0	N.R.
PT 27	9,6	N.R.	N.R.	N.R.
PT 28	0,6	N.R.	10,0	N.R.

Fonte: A autora. Legenda. N.R.: Não realizado.

Figura 28 - Mapa de caracterização do parâmetro D: profundidade do nível estático do aquífero, Índice DRASTIC na área de estudo em Itarema, Ceará.



Fonte: A autora

R- Taxa de Recarga;

Este parâmetro teve por base o cálculo do balanço hídrico.

Para estudo de recarga do aquífero em Itarema inicialmente foram utilizados dados de séries históricas de 3 (três) estações de observações de precipitações pluviométricas. A primeira sendo a estação do Posto Itarema, com uma série histórica de 25 anos (Apendice 4). A segunda, do Posto Patos, com dados de precipitação pluviométrica de 10 anos (Apendice 5), e a terceira do posto Carvoeiro, com 13 anos (Apendice 6).

A avaliação dos dados de precipitação pluviométrica de cada posto, assim como a localização e atividade desses, permitiu que apenas os dados da estação do

Posto Itarema permanecesse para conclusão do trabalho em estudo. Isso porque a Estação do Posto Patos, ainda durante do trabalho foi desativada, e a estação do Posto Carvoeiro encontrava-se fora do polígono da área de estudo. O que dificultou a digitalização dos dados de recarga para geração do mapa.

A partir dos dados da série histórica do Posto Itarema, a recarga do aquífero foi calculada conforme descrito na metodologia, item 5.2. Sendo assim observado um volume de 143,10 mm de infiltração média anual (Im). Precipitação total (PPT) de 1.179,58 mm. Evapotranspiração potencial (ETP) de 1.582,14 mm. Evapotranspiração real (ETR) de 710,85 mm. E infiltração efetiva (Ie) de 368,73 mm, representando 31% da Precipitação total (PPT), o que representa a recarga do aquífero – R.

A Tabela 91 apresenta os cálculos do balanço hídrico, os quais foram utilizados para confecção e caracterização do mapa de taxa de recarga (R) para o Índice DRASTIC e o Gráfico 45 a ilustração do balanço hídrico.

Tabela 91 - Resultado do balanço hídrico no município de Itarema para obtenção da Infiltração efetiva a ser usada como valor de recarga para confecção do mapa referente ao parâmetro R (Recarga do Aquífero).

MÊS	T MÉDIA (°C)	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT - ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	Ie (mm)
JAN	27,00	12,55	1,06	152,16	118,14	-34,02	0,00	118,14	0,00
FEV	25,10	11,25	0,95	105,97	172,28	66,31	66,31	105,97	0,00
MAR	25,40	11,45	1,05	122,04	309,31	187,27	100,00	122,04	153,58
ABR	25,30	11,38	1,00	114,65	295,89	181,24	100,00	114,65	181,24
MAI	25,60	11,59	1,02	121,81	155,72	33,91	100,00	121,81	33,91
JUN	24,50	10,85	0,99	101,58	74,64	-26,94	73,06	74,64	0,00
JUL	24,50	10,85	1,02	104,65	31,44	-73,21	0,00	31,44	0,00
AGO	25,30	11,38	1,03	118,09	5,83	-112,26	0,00	5,83	0,00
SET	26,70	12,34	1,00	138,11	0,09	-138,02	0,00	0,09	0,00
OUT	27,30	12,76	1,05	156,59	1,31	-155,28	0,00	1,31	0,00
NOV	28,30	13,47	1,03	173,95	0,16	-173,79	0,00	0,16	0,00
DEZ	28,00	13,25	1,06	172,54	14,77	-157,77	0,00	14,77	0,00
Totais									
I anual=		143,10	Anuais=	1582,14	1179,58			710,85	368,73
a=		3,456059						Ie=	31 %

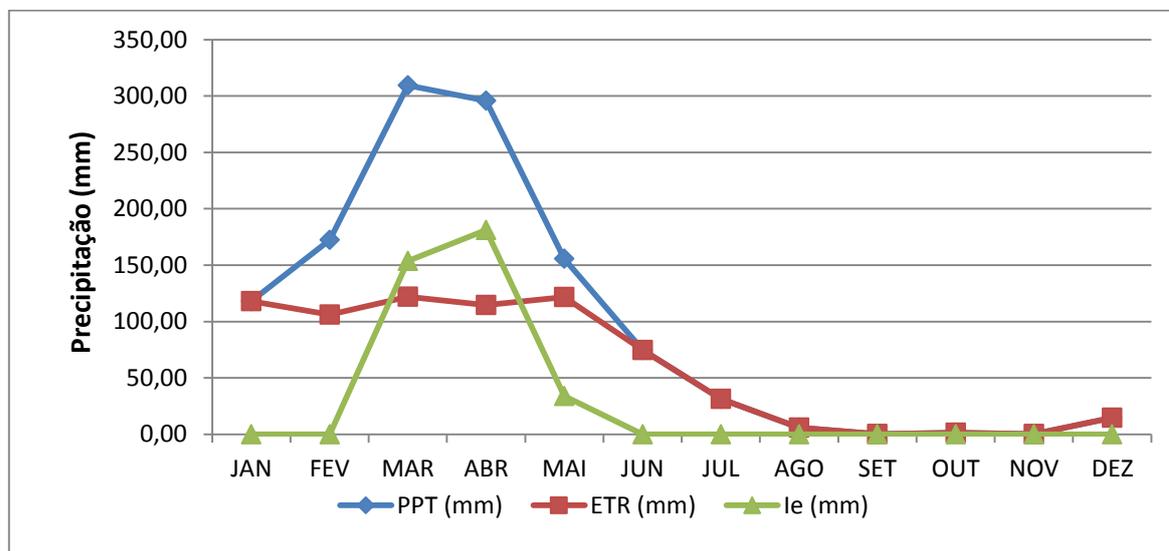
Legenda: T- Temperatura média mensal em °C; Im – Índice térmico mensal; K- Fator de correção da latitude; ETP – Evapotranspiração Potencial; PPT – Precipitação total; C- Constante do solo; ETR – Evapotranspiração real; Ie- Infiltração efetiva.

Fonte: A autora.

Observa-se pelos resultados obtidos na Tabela 91 que a recarga hídrica tem maior relevância nos meses de maior precipitação pluviométrica (março, abril e

maio). A partir desses ilustrou-se graficamente os períodos de infiltração no município de Itarema.

Gráfico 45 - Ilustração balanço hídrico no município de Itarema. Coleta de dados: Posto Itarema.



Fonte: A autora.

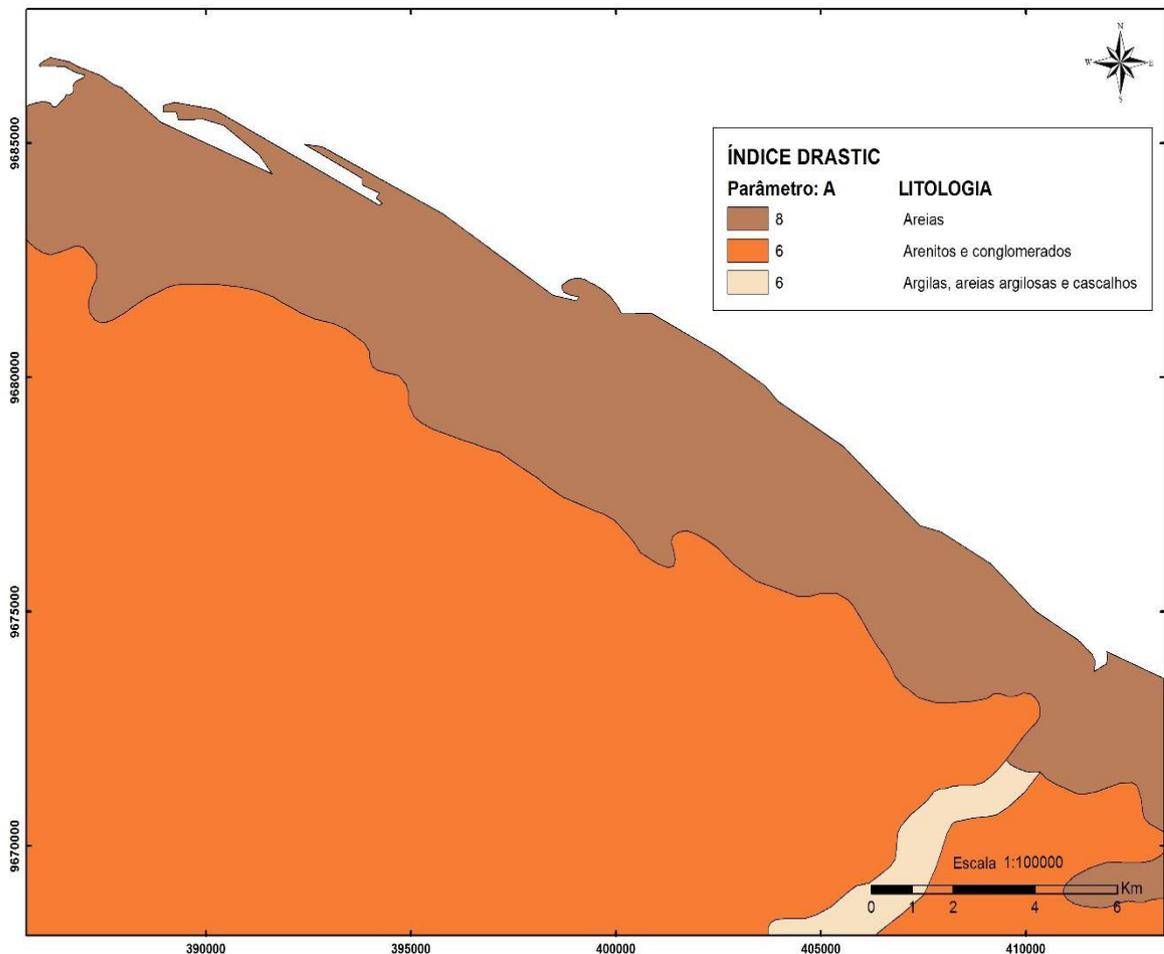
Através dos resultados obtidos, percebeu-se que o município de Itarema apresenta períodos de intenso estio, exibindo um regime pluviométrico não muito favorável à infiltração devido ao curto período de precipitação e à pouca intensidade desta. Contudo, havendo infiltração efetiva entre março e maio alimentando o lençol freático.

Como para este parâmetro foram usados dados de uma única estação de observação de precipitação pluviométrica, o mapa que ilustra o índice R (recarga do aquífero) para complementar o estudo de vulnerabilidade usando o método DRASTIC, apresenta-se com uma distribuição uniforme dentro da área estudada. Sendo este caracterizado como Classe 9, a qual possui uma taxa de recarga do aquífero superior a 257 mm/ano. Não havendo necessidade de ilustração gráfica.

A- Material do Aquífero;

De acordo com os dados obtidos a partir das informações referentes à constituição litológica da região, responsável pelo armazenamento de água subterrânea, Mapa Geológico da CPRM, escala 1:500.000, (Cavalcante *et al.*, 2003), o mapa de Material do Aquífero (A), para fins de estudo de vulnerabilidade com base na metodologia DRASTIC, foi construído com base na caracterização de 2 (duas) classes. Classe 8, litologia constituída de areias e Classe 6, litologia constituída de arenitos e conglomerados, argilas, areias argilosas e cascalhos. Conforme ilustra a Figura 29.

Figura 29 - Mapa de caracterização do parâmetro A: Material do Aquífero, Índice DRASTIC, na área de estudo em Itarema, Ceará.



Fonte: A autora.

S- Material do Solo;

De acordo com as informações dos Mapas de solos da Embrapa e dos municípios de Acaraú e Itarema, na área de estudo estão presentes os Solos Podzólico (PV7) e Solonchak (SK2) e Areias Quartzosas (AMd).

Os solos AMd's são derivados de sedimentos arenoquartzosos de origem marinha (Holoceno), não hidromórficos, não consolidados. Possui horizonte A moderado a fracamente desenvolvido, com horizontes A e C, com areia >80%, e relevo plano a suavemente ondulado. A textura arenosa/média, pouco a mais profunda, com pouquíssimo ou nenhum teor de argila e excessivamente drenados. Ocupam o campo de dunas e a faixa praial e podem vir associados a Areias Quartzosas Distróficas (AQD) e/ou com solos halomórficos (AGUIAR, 2011).

Segundo EMBRAPA (2015), Areias Quartzosas, em geral, são solos originados de depósitos arenosos, apresentando textura areia ou areia franca ao longo de pelo menos 2 m de profundidade. Esses solos são constituídos essencialmente de grãos de quartzo, sendo, por conseguinte, praticamente destituídos de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo. Essa classe de solos abrange as areias não-hidromórficas. A granulometria da fração areia é variável e, em algumas situações, predominam diâmetros maiores e, em outras, menores. O teor máximo de argila chega a 15%, quando o silte está ausente.

Os Solos Podzólicos são solos minerais, não-hidromórficos, com horizonte A ou E (horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica, de coloração clara) seguido de horizonte B textural, com nítida diferença entre os horizontes. Apresentam horizonte B de cor avermelhada até amarelada e teores de óxidos de ferro inferiores a 15%. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. Têm profundidade variadas e ampla variabilidade de classes texturais. Problemas sérios de erosão são verificados naqueles solos em que há grande diferença de textura entre os horizontes A e B, sendo tanto maior o problema quanto maior for a declividade do terreno (EMBRAPA, 2015).

Já os Solos Solonchak, (EMBRAPA, 2015), ou Solos Indiscriminados de Mangues (SM) são solos halomórficos muito pouco desenvolvidos, lamacentos,

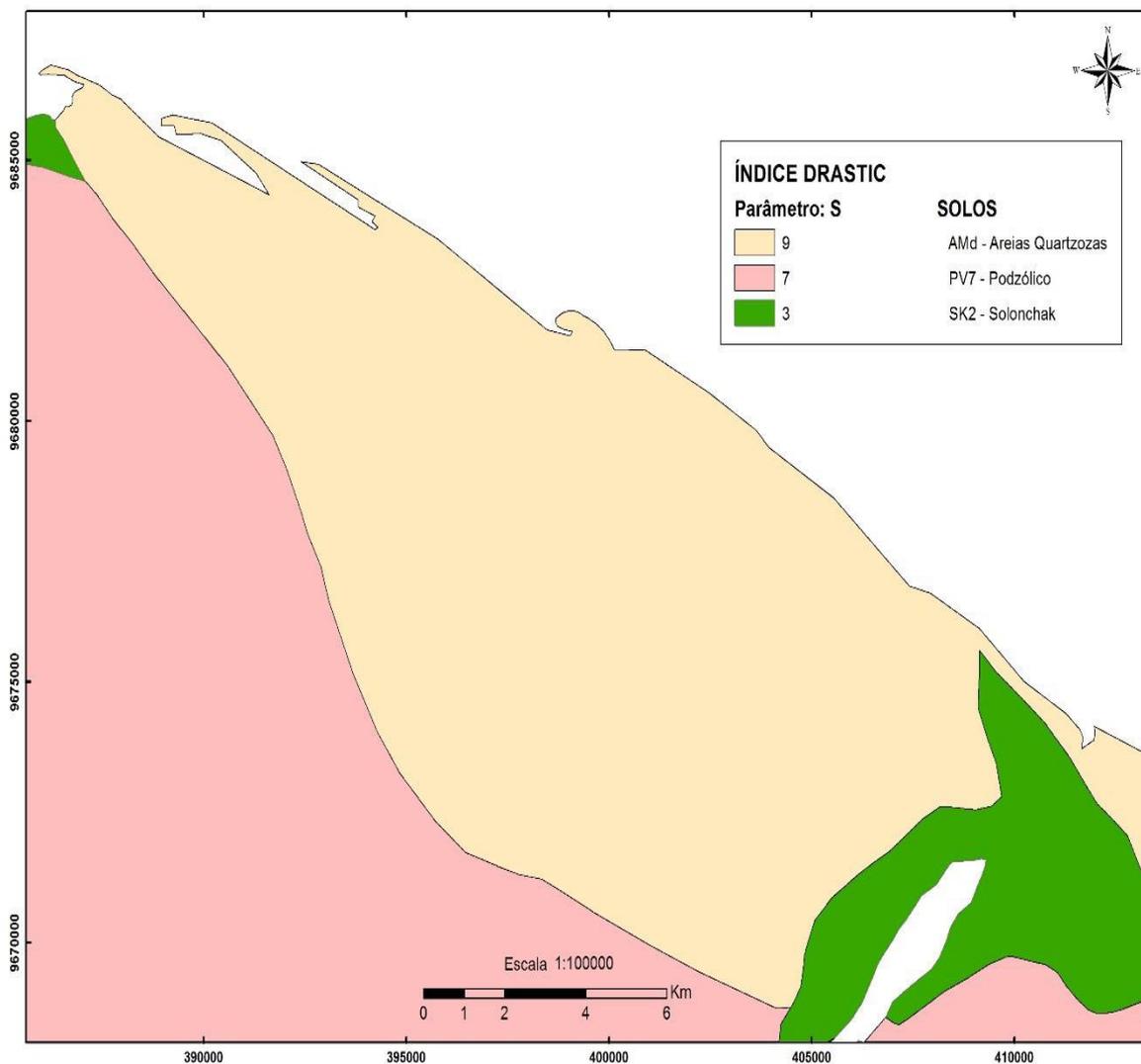
escuras e com alto teor de sais provenientes da água do mar, formados em ambientes de mangues a partir de sedimentos flúvio-marinhas recentes misturados com detritos orgânicos, de natureza e granulometria variada, referidos ao período Holoceno. Tais sedimentos são decorrentes da deposição pelas águas dos rios quando encontram-se com as águas do mar, em condição de baixa energia. De uma maneira geral, estes solos não apresentam diferenciação de horizontes ao longo do perfil, exceto em áreas marginais, onde verifica-se o desenvolvimento de um horizonte superficial com textura variável, desde argilosa até arenosa. Nestes ambientes ocorrem sedimentos lamacentos que ainda não atuaram os processos pedogenéticos, não constituindo solos por não apresentarem nenhum horizonte diagnóstico, tendo sido classificados como Tipo de Terreno. Distribuição nas paisagens - Ocorrem nas várzeas da baixada litorânea, como parte dos estuários de rios, próximo às lagoas e pequenas depressões da faixa litorânea, sob vegetação de mangues com influência das marés. As principais limitações agrícolas destes solos estão relacionadas ao alto conteúdo de sais, às condições de excesso de umidade e ao caráter tiomórfico.

Mesma observação feita por AGUIAR (2003), que são solos halomórficos, com acumulação de sais solúveis nos horizontes superficiais, e percentagem de saturação com sódio trocável maior que 15% em algum horizonte, concentração de material orgânico. Ocorrem nas zonas pré-litorânea e litorânea, especialmente na foz dos principais rios ao longo de seus cursos e em margens de lagoas costeiras.

Quanto à classificação para Índice DRASTIC, as areias quartzosas recebem avaliação 9, o solo podzólico recebe avaliação 7 e o solo solonchak avaliação 3. As classes de solos e seus respectivos valores de avaliação podem ser observados na Figura 46, a qual caracteriza o Mapa de caracterização do parâmetro S.

Percebe-se que os solos tipo areias quartzosas predominam na área de estudo em que há maior concentração de pontos de amostragem e correspondem aos valores de avaliação mais elevados, como consequência de sua composição textural. Os solos podzólicos correspondem a uma parte bem significativa também, dentro da área de estudo, embora não sendo a predominante, e também com valor elevado de avaliação quanto à classificação DRASTIC. Os solos solonchak correspondem a uma menor proporção, e com valor mais baixo de avaliação.

Figura 30 - Mapa de caracterização do parâmetro S: Tipo de Solo, Índice DRASTIC, na Área de Estudo em Itarema, Ceará.

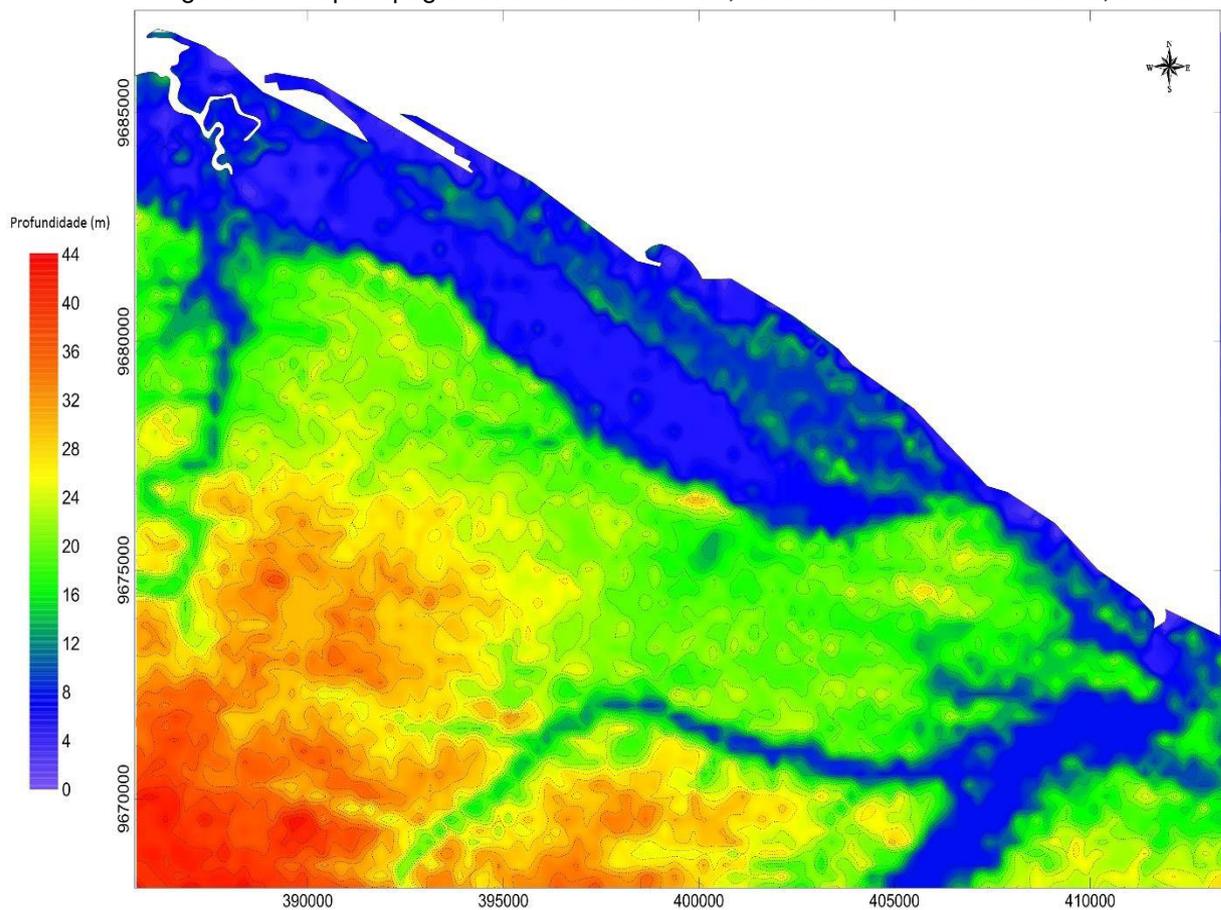


Fonte: A autora.

T- Topografia;

Uma nova modelagem, e conseqüentemente o mapa de declividade da área estudada obtido a partir das informações XYZ extraídas do modelo digital do terreno (MDT) e a utilização do software SURFER, resultou no agrupamento de 2 classes de declividade, de acordo com o Índice DRASTIC. A digitalização dos dados gerou a Figura 31, a qual ilustra a topografia extraída do SRTM na área de estudo em Itarema.

Figura 31 - Mapa topográfico extraído do SRTM, na área de estudo em Itarema, Ceará.

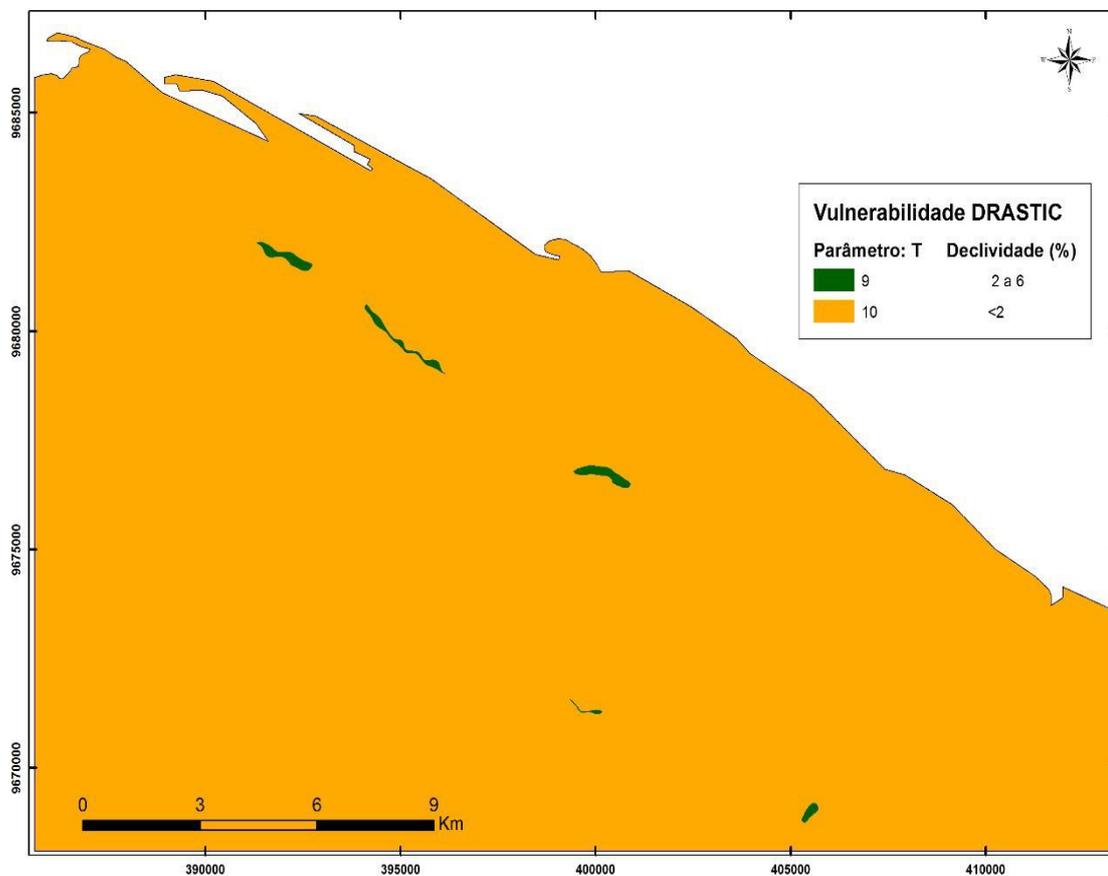


Fonte: A autora.

Os dados trabalhados e organizados de acordo com a metodologia DRASTIC, resultando em 2 classes. Classe 9, com declividade entre 2 a 6% e Classe 10, com declividade inferior a 2%, conforme apresentado na Figura 32, Mapa de caracterização do parâmetro T, topografia do terreno do Índice DRASTIC.

Percebe-se na área da Figura 32 que quase toda apresenta declividade abaixo de 2% e 5 pequenos polígonos acima de 2% distribuídos da seguinte forma: 3 polígonos na parte superior às margens das lagoas e 2 polígonos às margens do córrego da volta.

Figura 32 - Mapa de caracterização do parâmetro T: Declividade do Terreno, Índice DRASTIC, na Área de estudo em Itarema, Ceará.



Fonte: A autora.

I- Impacto da zona vadosa;

O mapa de impacto da zona vadosa, tem por base a correlação entre a geologia de sub-superfície da zona de vadosa e os perfis geológicos de poços também localizados na área, é mostrado na Figura 33, a qual apresenta os seguintes tipos de rochas que compõem esta zona:

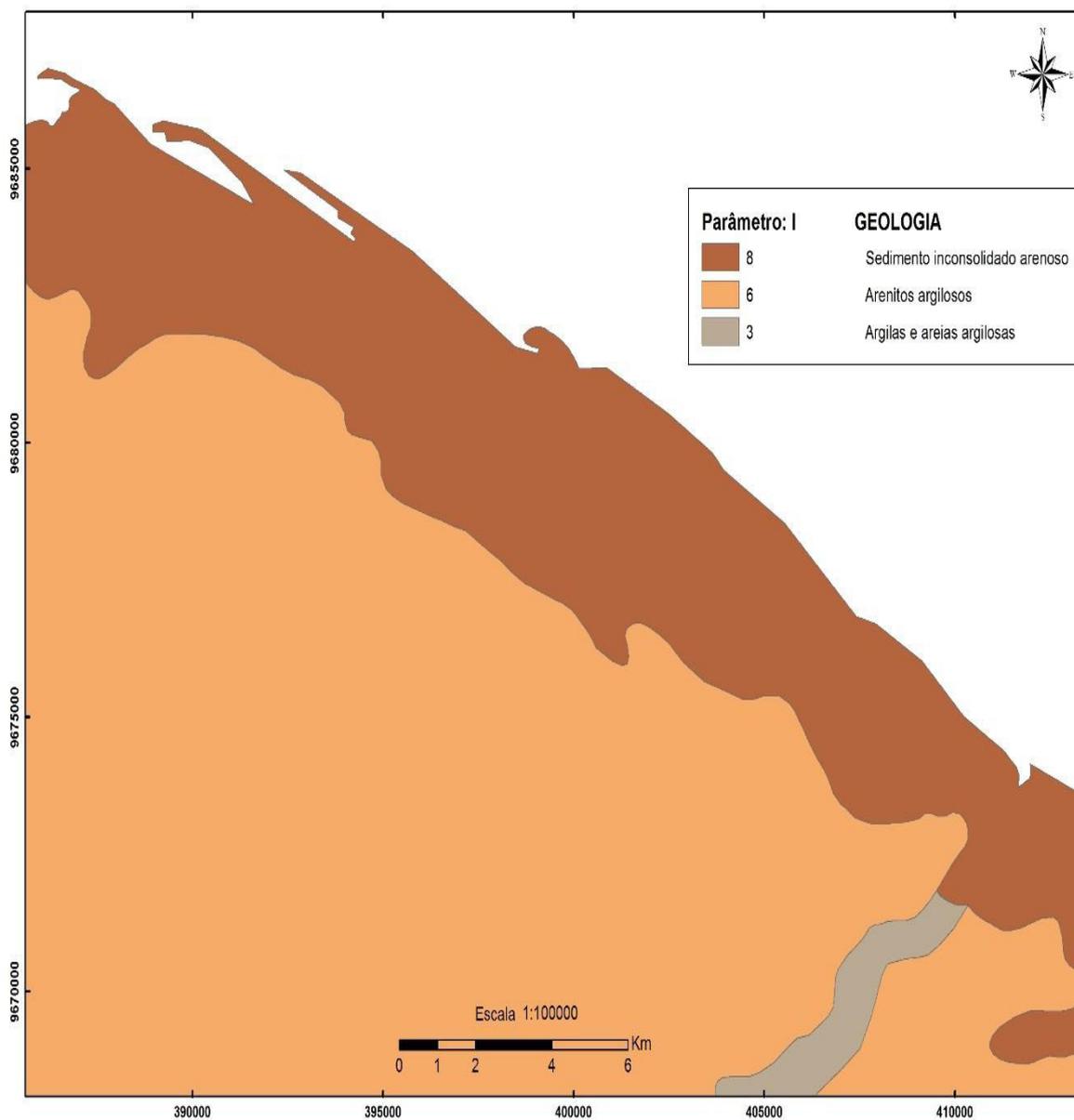
Sedimento inconsolidado arenoso, Classe 8, segundo DRASTIC.

Arenitos argilosos, Classe 6.

Argilas e Areias argilosas, Classe 3.

A importância deste parâmetro no cálculo da vulnerabilidade do aquífero deve-se ao tipo de material que compõe a zona vadosa, o qual pode minimizar ou favorecer o potencial de contaminação da água subterrânea.

Figura 33 - Mapa de caracterização do parâmetro I: Impacto da zona vadosa, Índice DRASTIC, na Área de Estudo em Itarema, Ceará.



Fonte: A autora.

C- Condutividade hidráulica;

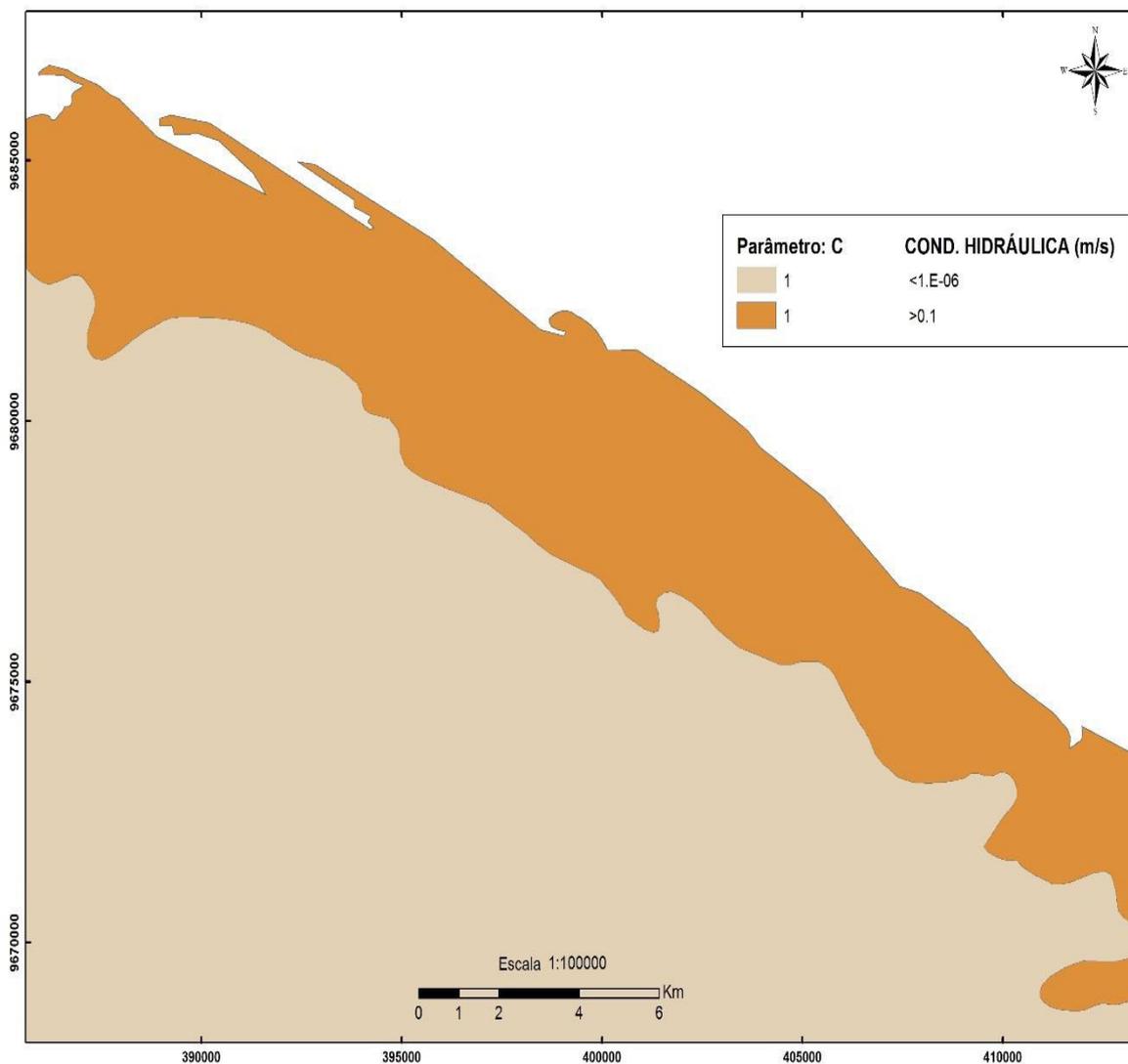
Para confecção do mapa deste parâmetro, levou-se em consideração os dados sobre condutividade hidráulica referente a Sedimentos Consolidados e Inconsolidados, observados em FEITOSA *et al.* (2008). De acordo com a litologia da área de estudo, esta é dividida em material sedimentar não consolidado, na parte mais superior, e material sedimentar consolidado, parte mais inferior, conforme ilustra a Figura 33, parâmetro I, índice DRASTIC.

De acordo com o autor, a água subterrânea em áreas de sedimentos inconsolidados, situam-se, frequentemente, em locais favoráveis à recarga a partir de rios, riachos e lagoas e, até mesmo, da infiltração direta das chuvas. Por serem pouco consolidados, esses depósitos, geralmente, possuem alta capacidade de infiltração potencial, maior porosidade efetiva e maior permeabilidade do que as formações compactadas (FEITOSA *et al.*, 2008). A Tabela 18, apresentada na metodologia, mostra as faixas de valores de condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados os quais foram utilizados, de acordo com o material presente na área de estudo, para confecção do mapa do parâmetro C, do índice DRASTIC.

Já no domínio dos sedimentos consolidados, as rochas mais importantes como aquíferos são aquelas que apresentam de regular a boa permeabilidade. As rochas pouco permeáveis como arenitos muito argilosos e siltitos, possuem baixa capacidade de transmissão de água (FEITOSA *et al.*, 2008). Os arenitos normalmente apresentam porosidade mais baixas do que as areias pouco consolidadas, devido à compactação e cimentação de parte dos vazios existentes entre os grãos. Em casos extremos, as porosidades chegam a ser inferiores a 1% e as condutividades hidráulicas da mesma ordem daquelas que se observam em siltitos e folhetos não fraturados (10^{-10} m/s).

A Figura 34 apresenta o mapa de caracterização do parâmetro C, condutividade hidráulica do aquífero, de acordo com o Índice DRASTIC, o qual apresenta uma única classe. Mesmo os valores de condutividade hidráulica serem diferentes para as áreas de sedimentos consolidados e inconsolidados, estes não foram suficiente para classifica-los separadamente. Ou seja, mais de uma classe.

Figura 34 - Mapa de caracterização do parâmetro C: Condutividade hidráulica do aquífero, Índice DRASTIC, na Área de Estudo em Itarema, Ceará.



Fonte: A autora.

6.8.2 Avaliação da vulnerabilidade do Aquífero de acordo com a caracterização dos parâmetros do Índice DRASTIC

A partir da caracterização dos parâmetros do Índice DRASTIC, avaliamos a vulnerabilidade do aquífero em Itarema. Para tanto, foram utilizados os dados apresentados na Tabela 92.

Tabela 92 - Dados dos parâmetros do Índice DRASTIC

Profundidade do lençol freático (D)		
Profundidade	Valor de avaliação	Índice DRASTIC (X5)
9,1 – 15,2	5	25
4,6 – 9,1	7	35
1,5 – 4,6	9	45
<1,5	10	50
Recarga (R)		
Faixa (mm/ano)	Valor de avaliação	Índice DRASTIC (X4)
>257	9	36
Material do Aquífero (A)		
Litologia	Valor de avaliação	Índice DRASTIC (X3)
Argilas, areias argilosas e cascalhos	6	18
Arenitos e conglomerados	6	18
Areias	8	24
Tipo de solo (S)		
Classe	Valor de avaliação	Índice DRASTIC (X2)
SK2 – Solonchak	3	6
PV7 – Podzólio	7	14
AMd – Areias quartzozas	9	18
Topografia (T)		
Declividade (%)	Valor de avaliação	Índice DRASTIC (X1)
<2	10	10
2 a 6	9	9
Impacto da zona vadosa (I)		
Litologia	Valor de avaliação	Índice DRASTIC (X5)
Argilas e areias argilosas	3	15
Arenitos argilosos	6	18
Sedimento inconsolidado arenoso	8	24
Condutividade hidráulica (R)		
Intervalo (m/s)	Valor de avaliação	Índice DRASTIC (X3)
>0,1	1	3
<1E ⁻⁶	1	3

Fonte: A autora.

Os mapas de vulnerabilidade da área de estudo foram construídos a partir da integralização dos dados dos sete parâmetros do Índice DRASTIC, mostrados na Tabela 92.

Realizou-se uma avaliação para estimar a importância dos parâmetros que compõem o Índice DRASTIC na área de estudo, permitindo estabelecer o grau de importância de cada um deles, no cálculo da vulnerabilidade do aquífero, conforme observa-se na Tabela 93.

TABELA 93 - Resumo da análise do nível de importância dos parâmetros D, R, A, S, T, I, C no cálculo da vulnerabilidade da área de estudo.

Valor	Parâmetros						
	D	R	A	S	T	I	C
Min.	5	-	6	3	9	3	1
Máx.	10	-	8	9	10	8	1
Média	7,8	9	7	6,3	9,5	5,7	1
D.P.	2	-	1	3	0,7	3	0
C.V (%)	29	-	17	48	7	44	0

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 93, verifica-se que o risco mais elevado de poluição do aquífero para a área em estudo está associado aos parâmetros Recarga (R) e Topografia (T), que apresentaram valores médios de 9 e 9,5 respectivamente. Seguido por Profundidade do lençol freático (D) e material do aquífero (A), os quais tiveram valores médios de 7,8 e 7, respectivamente. Estes implicam em risco de poluições mais elevados. Os parâmetros Tipo de solo (S) e Impacto da zona vadoza (I) implicam em risco de contaminação moderado, com valores médios de 6,3 e 5,7, respectivamente. Já a condutividade hidráulica impõe risco baixo, ou seja, valor médio de 1.

Com relação ao coeficiente de variação (CV%), observa-se que o Tipo de solo (S) e o Impacto da zona vadosa (I) apresentaram os maiores percentuais. 48% e 44%, respectivamente. Equanto Profundidade do lençol freático (D) e Material do aquífero (A), apresentaram variações moderadas, 29% e 17%, respectivamente. O

parâmetro Topografia (T) apresentou variação baixa de 7% e o parâmetro Condutividade hidráulica (C), nenhuma variação.

O mapa de vulnerabilidade do Índice DRASTIC para a área de estudo, Figura 35, mostrou que este índice variou de 132 a 181, valores esses que contemplam as seguintes classes quanto ao risco de vulnerabilidade, dentro dos intervalos descritos:

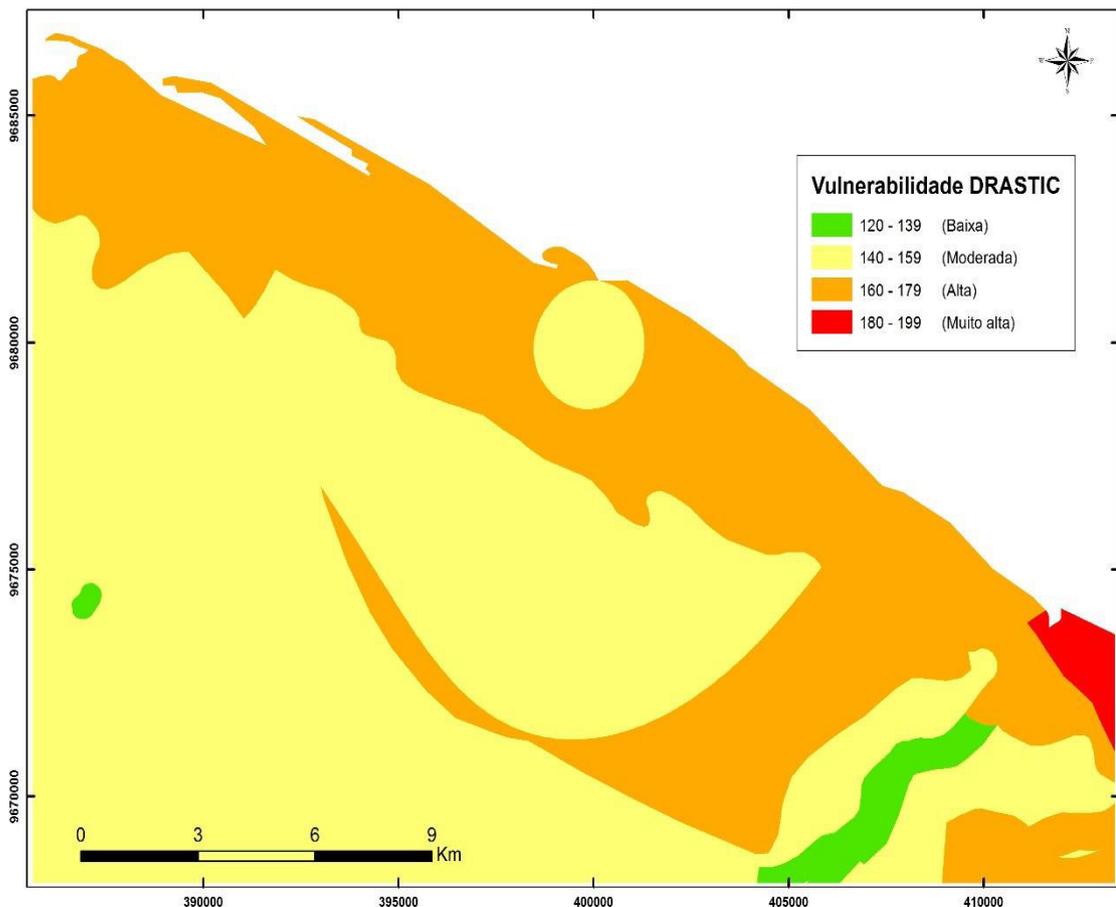
Baixa: 120 – 139.

Moderada: 140 – 159.

Alta: 160 – 179.

Muito alta: 180 – 199.

Figura 35 - Mapa com a distribuição e caracterização das classes de vulnerabilidade do Índice DRASTIC, para a área em estudo.



Fonte: A autora.

As classes de vulnerabilidade moderada e alta predominam na área de estudo (79%). Área esta onde se encontra o maior número de pontos de amostragem e obtenção de dados, localizada na parte central entre as regiões norte e sul, conforme pode-se observar na Figura 36. A área de vulnerabilidade muito alta corresponde a 4,2%, sendo esta composta por depósitos eólicos à leste da área de estudo.

A classe de vulnerabilidade baixa, 16% da área visualizada no mapa, corresponde a uma pequena área a oeste e uma um pouco maior a leste, sendo esta última correspondendo ao canal estuarino de acesso ao Rio Aracatimirim.

Contudo, observa-se que o risco de contaminação subterrânea torna-se influenciado principalmente pelos parâmetros D, R, A, T.

7. CONCLUSÕES

As águas subterrâneas estudadas em Itarema apresentam-se como bicarbonatadas sódicas e são oriundas de chuvas atuais. Já para as águas superficiais prevalecem as cloretadas sódicas, as quais pouco contribuem na recarga do aquífero. Quanto à classificação relacionada ao teor de sais dissolvidos, as águas subterrâneas apresentam-se como doce e suas concentrações em brometo e razões $\delta^{18}\text{O}$ não sugerem intrusão marinha. Já as águas superficiais, como na sua grande maioria tratam-se de lagoas costeiras, classificam-se como salinas.

Sabe-se que a geração do IQA se destina a classificar águas superficiais que venham a contribuir para o suprimento do abastecimento público. Apesar de algumas das lagoas as quais foram coletadas amostras de água superficial serem de origem costeira, e em épocas de estiagem, alguns dos pontos de coleta secarem completamente, o estudo do IQA-CETESB apresentou que estas possuem boa qualidade para a finalidade a qual este destina, com índices variando entre 55 a 77. Destaque para a Lagoa da Mangabeira que obteve índice 83, sendo classificada como ótima.

O estudo dos elementos traço apresentou resultados acima do VMP definido conforme legislação vigente citada para os elementos: Pb, Al, e Ba, em algumas amostras. Os elementos Cd e Ni apresentaram valor acima do VMP em apenas uma (1) amostra durante o período de estudo.

Uma vez havendo a presença de elementos traço acima do VMP, optou-se por investigar a presença de elementos agrotóxicos, por meio de análises de organofosforados, principalmente em amostras as quais já havia comprovação de elementos traço acima do VMP, e associando essas aos pontos de coleta os quais observou-se o cultivo de agriculturas de subsistência, as quais faziam uso de agrotóxico. Contudo não foi qualificada e por consequência nem quantificada a presença de elementos agrotóxicos nas águas subterrâneas.

O estudo dos isótopos para as amostras de água subterrâneas apresentou águas mais leves para os períodos que sofreram efeito das chuvas e mais pesadas no período de estiagem. De acordo com as faixas de valores de $\delta^{18}\text{O}$ e δD se observou que nos períodos chuvosos existe a presença do efeito quantidade, efeito recarga direta e efeito infiltração de água evaporada. Os resultados refletem o efeito da

sazonalidade e da litologia na área de estudo, os quais indicam recarga rápida do aquífero.

Segundo os cálculos para o balanço hídrico, percebe-se que o excedente hídrico normalmente concentra-se entre os meses de março, abril e maio, onde a precipitação é maior que a evapotranspiração ($PPT > ETP$). Já o déficit hídrico ocorre entre os meses de julho a janeiro.

Com relação à vulnerabilidade do aquífero à contaminação, avaliada de acordo com a descrição do Índice DRASTIC, os resultados apresentam que a área possui vulnerabilidade variando entre moderada e alta (79%), embora havendo uma pequena parte com baixa vulnerabilidade (16%) e outra como muito alta (4,2%). Os principais fatores estudados pelo Índice DRASTIC que contribuem para o risco de contaminação do aquífero sofrem influência principalmente por parte dos parâmetros D, R, A e T.

As águas subterrâneas são doces e praticamente isentas de contaminação antrópica, haja visto que os teores de nitrato foram sempre inferiores a 5 mg/L. Os teores de elementos traços não são preocupantes; os raros valores acima do VMP são pontuais e não estão associados à atividade antrópica como aplicação de agrotóxicos ou fertilizantes.

No entanto, se não houver um adequado planejamento do uso e ocupação do solo, a qualidade da água facilmente poderá ser deteriorada, como indica a vulnerabilidade da área.

8. SUGESTÕES

Como forma de aprofundar as pesquisas da área de estudo, melhorando os resultados obtidos, sugere-se a realização das seguintes ações:

- a) Observar por um período maior de coletas as variações que englobam a qualidade da água subterrânea.
- b) Realizar os testes de bombeamento em alguns dos poços já estudados para comparar a efetividade dos valores de condutividade hidráulica com os dados referenciados.
- c) Realizar análises para Carbono 14 (^{14}C) como forma de verificar a idade da água subterrânea.

9. REFERÊNCIAS

- ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. http://www.abas.org/educacao_pocos.php. Acessado em 26 de abril de 2013, às 18:21h.
- ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag. 1986. 533p.
- AGUIAR, P. F. **Morfologia e dinâmica de médio (1958-2010) e curto (2007) períodos da Planície Costeira de Almofala, Município de Itarema, Ceará**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará. 2011.
- ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHER, J. H; PETTY, R. J. (1987). **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings**. US EPA. Report 600/2 – 85/018 Ada, Oklahoma.
- AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M., 1983, **Manual des Analyses Chimiques en Milieu Mari**, CNEXO, Brest, 395p.
- ANDERSEN, L. J. e GOSK, J. **Applicability of vulnerability maps**. TNO Committee for Hydrological Research: Proceeding and Information. The Netherlands. 1987, v 38, p. 321-332.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21th edn. Edited by L. S. Clesceri, A. E. Greenberg & A. D. Eaton. Washington, D.C: American Public Health Association. 2005.
- ASSOCIAÇÃO DE PESQUISA E PRESERVAÇÃO DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS – AQUASIS. **A Zona Costeira do Ceará: Diagnóstico para Gestão Integrada**. CAMPOS, A. A. *et al.* (Coordenador) Fortaleza: AQUASIS. 293 p. 2003.
- ARENZON, A. e RAYA-RODRIGUES, M. T. **Influência do manganês em ensaios de toxicidade com algas em amostras ambientais**. J. B. S. E. (J. Braz. Soc. Ecotoxicol., V.1, 2006. p. 7-11.
- ATSDR, 2000. **Toxicological profile for Chromium**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services, 461 p.
- AWWA (American Water Works Association), 1990. **Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies**. New York: Mcgraw Hill.
- AYOADE. J. O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. Tradução: Maria Juraci Zami dos Santos. Revisão: Suely Bastos. Coordenação Editorial de Antônio Cristofolletti. 4ª edição. Rio de Janeiro, p. 224-264. 1996.
- BARRETO, F. M. DE SÁ., **Contaminação da água subterrânea por pesticidas e nitrato no município de Tianguá, Ceará**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2006.

BAIRD, C. **Química ambiental**. Tradução Maria Angeles Lobo Receio; Luiz Carlos Marques Carreta. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman. 2002.

BAIRD, C. **Química ambiental**. Tradução Marco Tadeu Grassi... [et al.]; 4. Ed. Porto Alegre: Bookman. 2011.

BEREZUK, A. G. e GASPARETTO, N. V. L., **Ocorrência de chumbo e zinco na água subterrânea de Maringá, PR**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis, SC. Brasil. 2002.

BITAR, N. A. B. **Estudo de poluição microbiológica e química do córrego Nogueira e do ribeirão da Cota, afluente do rio Paranaíba, no município de Patos de Minas/ MG**. 2007.87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)-Centro Universitário de Patos de Minas-MG, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). Patos de Minas, 2007.

BOUCHARD, D. C.; WILLIAMS, M. D. & SURAMPALLI, R. Y., 1992. **Nitrate contamination of ground water sources and potential health effects**. *Journal of the American Water Works Association*, 84:85-90.

BRAILE, P. M. **Despejos industriais**. São Paulo: Livraria Freitas Bastos, 1971. 231 p.

BRANCO, S. M. e MURGEL, E. **Poluição do ar**. 2ed. Reformulada. São Paulo: Moderna, 2004 (Coleção Polêmica).

BRASIL. EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do Nordeste**. Brasília: MARA, EMBRAPA – CPATSA/SNLCS.1993.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005. 23 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011**. Brasília, 2011. Anexos.

BRITO FILHO, Dilermando. **Toxicologia Humana e Geral**. Curitiba: Itaipu, 1983.

CALDER, L. M., 1988. Chromium in Groundwater. In: NRIAGU, J., Nierboer, E. **Chromium in the natural and human environments-advances in environmental science and technology**. Ontario, John Wiley & Sons. 31 p.

CAMPOS, L. G. **Delineamento do pé do talude na margem continental do Ceará através da integração de dados geológicos e geofísicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. 129p. 1992.

CARVALHO, A. M. **Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões costa NW do estado do Ceará. Ênfase nos processos eólicos**. Ceará. Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia. 188p. 2003.

CASTANY, G. **Prospeccion y exploracion de las aguas subterrâneas**. Barcelona. Omega. 738p. 1975.

CASTRO, D. L. **Interpretação quantitativa de anomalias gravimétricas ar-livre da margem continental norte brasileira, setor nordeste**. 109 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. 1990.

CASTRO, D. L. & COSTA, F. N. **Mapas gravimétricos do Estado do Ceará**. Revista de Geologia, 12: 69-80. 1999.

CAVALCANTE, J. C.; VASCONCELOS, A. M.; MEDEIROS, M. de F.; PAIVA, I. G. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará Convênio CPRM; Governo do Estado do Ceará. Secretaria de Recursos Hídricos. Fortaleza: CPRM, 2003.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). **Ficha de informação toxicológica. Alumínio**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. Janeiro. 2012.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). **Ficha de informação toxicológica. Cobalto**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. Março. 2012.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). **Ficha de informação toxicológica. Cobre**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. Janeiro. 2012.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). **Ficha de informação toxicológica. Manganês**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. Novembro. 2011.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 540 p., 2008.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). **Decisão de diretoria Nº 195-2005-E**, de 23 novembro de 2005. São Paulo, CETESB. 2005. 4p.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). **Água subterrânea e poços tubulares**. Tradução da primeira edição do original norte-americano publicado pela UOP Johnson Division Saint Paul, Minnesota. 2 ed. Ver. São Paulo. 1974.

CHI, F.H.; AMY, G.L. **Transport of anthracene and benz(a)anthracene through iron quartz and three aquifer materials in laboratory columns**. Chemosphere, vol. 55, n. 4, p. 515-524, 2004;

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). 1986. **Dispõe sobre a classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.** Resolução nº 20, Brasil.

COSTA, C. N.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. **Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente.** Fundamentos de química do solo. 3ed. Porto Alegre: Evangraf, p. 213 – 250, 2006.

COSTA, M. I. P. **Os Sistemas de Dunas Litorâneas da Região de Natal: Granulometria e Morfoscopia dos Grãos de Quartzo.** Natal. UFRN/CCET, Departamento de Geologia, Boletim 1:1-5p., 1999.

COSTA, F. H. dos S., PETTA, R. A., LIMA, R. F. de L. e MEDEIROS, C. N de., **Determinação da vulnerabilidade ambiental na Bacia Potiguar, Região de Macau (RN), utilizando Sistemas de Informações Geográficas.** Revista Brasileira de Cartografia Nº 58/02. (ISSN 1808-0936). p. 119-127. Agosto, 2006.

COSTA FILHO, W. D.; SANTIAGO, M. M. F., COSTA, W. D.; MENDES FILHO, J. **Isótopos estáveis e qualidade das águas subterrâneas na planície do Recife.** In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo. CD-ROM. ABAS. 1998.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANE, M. R. **Avaliação do teor de metais em sedimento do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil.** Química Nova. São Paulo, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) Serviço Geológico do Brasil. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil 5.** BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M. e GONÇALVES, J. H. (eds.). CPRM, Brasília. 2013.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterranea.** 2a Ed. Omega, Tomo I e II, Barcelona, 2350 p. 1983.

DANSGAARD, W. **Stable isotopes in precipitation.** Tellus. V. 16.p.436-467. 1964.

DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral). **Mapa geológico do Ceará.** Echelle 1:500.000 (voir aussi liste de cartes). 1983.

DREVER, J. I. **The Geochemistry of natural Waters.** New York: Prentice-Hall. 387p.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sobre Areias Quartizosas.** Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_2_101120051_01955.html. Acessado em 04/06/2015.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sobre Solos Podzólicos.** Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_97_10112005_101957.html. Acessado em 04/06/2015.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sobre Solos Solonchak.** Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7j02wx7ha087apz2c3xd0do.html. Acessado em 04/06/2015.

EPA. **Water Quality Criteria**, Washington, D.C. 595 p., 1972.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FAURGS, 2003. **Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos e metais pesados no solo e água subterrânea e instalações de poços de monitoramento na Refinaria Alberto Pasqualini/REFAP S.A., Canoas, R.S.** Relatório Técnico, Etapa II, 172.

FEITOSA, F. A. C, FILHO, J. M., FEITOSA, E. C. e DEMÉTRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed. Revisada e Ampliada: CPRM. 812p. 2008.

FERNANDES, A. **Fitogeografia Brasileira**. Fortaleza. Multigraf. 340p. 2000.

FENZL, N. **Introdução à Hidrogeoquímica**. Por Norbert Fenzl e a colaboração de J. F. Ramos. a Belém: Universidade Federal do Pará. 1986.

FOSTER, S., HIDRATA, R., GOMES, D., D'ELIA, M. e PARIS, M. **Proteção da Qualidade da água subterrânea**. Banco Mundial. 2002.

FOSTER, S., HIDRATA, R. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology based on available data**. Lima, Peru: WHO – PAHO; HPE – CEPIS. 81p. 1988.

FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A., 1979, **Groundwater**. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 604p.

FREITAS, M. B. de.; BRILHANTE, O. M. e ALMEIDA, L. M. de. **Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrto e alumínio**. Caderno de Saúde Pública. Vol. 17. Nº 3. Rio de Janeiro. Maio/Junho, 2001.

FREITAS, M. B. & ALMEIDA, L. M., 1998. **Qualidade da água subterrânea e sazonalidade de organismos coliformes em áreas densamente povoadas com saneamento básico precário**. In: *X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. CD-ROM, São Paulo: Sonopress-Rimo.

FRIZZO, S. J. **Elementos químicos (metais pesados) em águas de abastecimento público no Estado do Ceará**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Abril de 2006.

FUNASA. **Manual prático de análise de água**. Brasília: MS, 2006.

FUNCEME (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS). **Boletim Pluviométrico do município de Itarema**. Série histórica. Disponível em <http://www.funceme.br>. Acesso em março de 2014.

FUNCEME (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS). **A Zona Costeira do Ceará: Compartimentação Geoambiental e Antropismo**. Fortaleza. Governo do Estado do Ceará, Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação Superior. 2009.

FUNCEME (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS) / DEMET. <http://www.funceme.br>. Acesso em janeiro de 2007.

GLEICK, P. H., COOLEY, H., COHEN, M., MORIKAWA, M., MORRISON, J., e PALANIAPPAN, M. **The world's water 2008-2009: The Biennial Report on Freshwater Resources**. Estados Unidos da América: Island Press. 2009.

GOMES, D. F., MOURA, I. B. M., FRISCHKORN, H., SANTOS, D. M. e FREIRE, G. S. S. **Estudo Hidroquímico e Isotópico (^{18}O) do Aquífero aluvial do rio Banabuiú – Trecho Morada Nova – Ceará**. Revista de Geologia, Vol. 23 (1), 2010.p 34 – 48.

GOMES, D. F., FRISCHKORN, H., e FREIRE, G. S. S. **Medidas de $\delta^{18}\text{O}$ e hidroquímica de águas superficiais e subterrâneas no estudo da interação rio-aquífero, na região de Limoeiro do Norte – Baixo Jaguaribe – CE**. Revista de águas Subterrâneas, v.21, nº 1, p. 93-109, 2007.

GOMES, D. F. **Caracterização limnológica de um ecossistema lacustre tropical – Lagoa de Uruaú – planície costeira do município de Beberibe – Ceará**. Dissertação de Mestrado em Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 124p. 1998.

GOYER, R. A., 1986. **Toxic effects of metals**. In: *Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons* (L. J. Casarett, C. D. Klaassen, K. Klaassen & J. Watkins, ed.), pp. 582-635, New York: Macmillan Publishing Company.

GRASSHOFF, K., EHRHARDT, M., KREMLING, K. 1983. **Methods of Seawater analysis**. Second, Revised and Extended edition. Weinheim; Deerfield Beach, Florida; Basel: Verlag Chemie. 126p.

HIRATA, R. FERNANDES, J. A. **Vulnerabilidade à poluição de Aquíferos**. In: FEITOSA, Fernando. C (org). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p.812.

http://kitlabor.com.br/noticias/teste_para_deteccao_de_coliformes_totaise_coli.html. Acessado em 20 de maio de 2012.

IAEA (International Atomic Energy Agency). **Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation**. Vienna: IAEA. 253p. (Technical Reports Series, 206). 1981.

IAEA (International Atomic Energy Agency). **Stable isotope hydrology: Deuterium and oxygen-18 in the water cycle**. Vienna: IAEA. (Technical Reports Series, 210). 1981b.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Relatório de Posicionamento por Ponto Preciso**. 2012.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1994. **Dados sobre Domicílios no Estado do Rio de Janeiro**. Anuário Estatístico do Brasil, v. 54. Rio de Janeiro: IBGE.

IGAM (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS). **Glossário de Termos Relacionados à Gestão de Recursos Hídricos**. Junho, 2008.

IPECE (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ). **Perfil Básico Municipal de Itarema**. Fortaleza. Governo do Estado do Ceará, Secretaria do Planejamento e Gestão. 2011.

IPECE (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ). **Perfil Básico Municipal de Itarema**. Fortaleza. Governo do Estado do Ceará, Secretaria do Planejamento e Gestão. 2012.

JARDIM, I. C. S. F.; ANDRADE, J. A.; QUEIROZ, S. C. N.; **Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global – um enfoque às maçãs**. Química Nova, vol. 32, n. 4, p. 996-1012, 2009;

KJERFVE, B. **Coastal lagoon processes**. Elsevier Oceanography. Series nº 60, Amsterdam, 1-8 p. 1994.

KLAASEN, C. D. **Metais pesados e antagonistas dos metais pesados** In: GILMAN & GOODMAN. **As bases farmacológicas da terapêutica**. V. 1. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1985. 1599p.

KOHNKE, M. W. Vulnerabilidade de aquíferos. In: **ABAS Informa – Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas**. N. 126. 2002.

LARA, W. H.; BATISTA, G. C., **Pesticidas**. Química Nova, vol. 15, n. 2, p. 161-165, 1992;

LARINI, L. **Toxicologia**. 3. ed., Barueri: Manole, 1997.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de Bioquímica**. 4 ed. São Paulo: Sarvier, 2006.

LIMA, A. C. P.; DIAS, S. M. F.; ORRICO, S. R. M. e ARAÚJO, D. R. S. M. **Avaliação das concentrações de Bário e Chumbo em águas do aquífero freático do entorno do centro industrial do Subaé – Feira de Santana – BA**. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luiz, MA. 2010.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas d'água**. Recife: US. Agency for International Development. 67p. 1965.

MACÊDO, J. A. B. de. **Águas & Águas**. Juiz de Fora/MG: ORTOFARMA, 2000.

MAIA, L. P. **Procesos costeiros y balance sedimentário a lo largo de Fortaleza (NE – Brasil): Implicações para uma gestion adecuada de la zona litoral**. Universitat de Barcelona. Tesis Doctoral. Facultat de Geologia. Dep. D'Estratigrafia i Paleontologia. Barcelona. 269 p. 1998.

MAIER, C. **Qualidade de águas superficiais e tratamento de águas residuárias por meio de zonas de raízes em propriedades de agricultores familiares**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Santa Maria. Santa Maria, RS. Brasil. 2007.

MANAHAN, S. E., **Química Ambiental**. Tradução: Félix Nonnenmacher; Revisão Técnica: Wilson de Figueiredo Jardim. 9 ed. Porto alegre: Bookman, 2013.

MARCELINO, A. M. T. **Caracterização dos Ecossistemas Costeiros dos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí**. Natal – RN. 1999.

MARCOLAN, L.; BOUROTTE, C., e BERTOLO, R. **Estratificação das concentrações de cromo hexavalente nas águas subterrâneas do aquífero adamantina, município de Urânia, SP, Brasil**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal. RN. 2008.

MATO, A. P., 1996. **Determinação de Nitratos, Nitritos e Prováveis Fontes de Contaminação em Águas de Poços e sua Influência na Metemoglobinemia Infantil**. Dissertação de Mestrado, São Paulo: Universidade Mackenzie.

McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. Oxford, Oxford University Press, 1994.406p.

MENDIGUCHÍA, C.; MORENO, C.; GALINDO-RIANO, M. D.; GARCÍA-VARGAS, M. **Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain)**. Analytica Chimica Acta, Amsterdam, v. 515, p. 143-9, april, 2004.

MENESES, L. F., **Avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos superiores no município de João Pessoa /Pb, através do modelo DRASTIC**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Pb. 2007.

MERTEN, G. H., MINELLA, J. P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura**. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, v.3, n.4, p.33-38, 2002.

MESTRINHO, S. S. P., **Águas subterrâneas e Poços Tubulares Profundos**. Capítulo 4. Qualidade das Águas. Editora Signus. 2006.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Portaria MS nº 2914, Brasil.

MOBUS, G. 2003. **Qualigraf: software para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Fortaleza. Disponível em: www.funceme.br. Acesso em: 05 de janeiro de 2013.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002.

MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G. R. **Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá – DF**. *Química Nova*. São Paulo, 6, Nov./dez. 2003.

MOTTA, G.P.G., **Controle de qualidade analítica (C.Q.A.) aplicado a laboratórios de controle de qualidade de água**. 25º Congresso ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental. 2012.

MOURA, I. B. M., **Estudo das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú no trecho entre Quixeramobim e Banabuiú – Ceará, Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará. 2013.

MOURA, I. B. M., **Aspectos hidrogeológicos do Aluvião do Rio Banabuiú no trecho entre Morada Nova e Limoeiro do Norte – Ceará, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. 2008.

NASCIMENTO, A. de M. e BARBOSA, J. S. F., **Qualidade da água do aquífero no alto cristalino de Salvador, Bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia**. *Revista Brasileira de Geociências*. Vol. 35. 2005.

NIENCHESKI, L. F. **Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas**. Rio de Janeiro, Museu Nacional. p. 75 – 79. 2006.

NORDBERG, G. F.; GOYER, R. A. & CLAKSON, T. W., 1985. **Impact of effects of acid precipitation on toxicity of metals**. *Environmental Health Perspectives*, 63:169-180.

NOBRE, M. E. S., **Hidroquímica do aquífero aluvionar do Baixo Jaguaribe, Itaiçaba, Ceará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. 2014.

PATHAK, S. P.; KUMAR, S.; RAMTEKE, P. W.; MURTHY, R. C.; BHATTACHERJEE, J. W. & GOPAL, K., 1994. **Potability of water sources in relation to metal and bacterial contamination in some northern and northern-eastern districts of India**. *Environmental Monitoring and Assessment*, 33: 151-160.

PARALTA, E. A.; FRANCÉS, A. P.; SARMENTO, P. A., **Caracterização hidrogeológica e avaliação da vulnerabilidade à poluição agrícola do aquífero mio-pliocénico da região de Canhestros (Alentejo)**. 6º congresso de água. Lisboa, 2003.

PEREIRA FILHO, S. R., **Metais pesados nas sub-bacias hidrográficas de Poconé e Alta Floresta. II.** Título. III. Série. Rio de Janeiro. 1995.

PEREIRA, L. L. **Evolução Paleoambiental da Lagoa Salgada (Itarema – Ce) durante o Holoceno.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará. Belém. 2010.

PERL, D. P. & GOOD, P. F., 1988. **Aluminum, environmental and central nervous system disease.** *Environmental Technology Letters*, 9:901-906.

PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. **Soil and environmental quality.** 2ed. p. 245 – 272, 2000.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e ambiental (ABES). São Paulo. 1ª ed. Cap. 6 e 7. 2006.

POHLING, R. **Reações químicas na análise de água.** Arte Visual. Fortaleza. 2009.

REBOUÇAS, A. da C., **Águas subterrâneas e Poços Tubulares Profundos.** Capítulo 1. Águas Subterrâneas. Editora Signus. 2006.

REIBER, S.; KUKULL, W. & STANDISH-LEE, P., 1995. **Drinking water aluminum and bioavailability.** *Journal of the American Water Works Association*, 87:86-99.

RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. **Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água.** *Ciência & Ambiente*, n. 27, p 85-96. 2003.

RIBEIRA, F. Calidad. **Contaminación y protection de acuíferos in III Curso Hispanoamericano de Hidrologia Subterránea.** Montevideo-UY. 2004.

RIBEIRO, D. M.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V.; **Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do Rio Siriri, Sergipe.** *Águas Subterrâneas*, v.25, n.1, p. 91-102. 2011.

RICHARDS, L. A. (ed). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington DC, US Department of Agriculture. 160 p. (USDA Agricultural Handook, 60). 1954.

ROCHA, A. A. A problemática da água. In: L.L. Joaquina (Ed.). **Problemas Chave do Meio Ambiente.** EXPOGEO. Salvador. Pp.: 91-113. 1994.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. 2011.

ROSE, A. W.; HAWKES, H. E. & WEBB, J. S. **Geochemistry in Mineral Exploration.** London: Academic Press, 658p. 1979.

RUSSEL, J. B. **Química geral.** 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 1268p. v.2.

ROZANSKI, C.; ARÁGUAS-ARÁGUAS, L.; GONFIANTINI, R. **Isotopic patterns in modern global precipitation**. In: Continental Isotope Indicators of Climatic. American Geophysical Union Monograph. 1993.

SAADI, A. & TORQUATO, J. R. **Contribuição Neotectônica do Estado do Ceará**. Revista de Geologia. DEGEO – UFC. Fortaleza. V. 55. 38p. 1992.

SALATI, E.; GUSMÃO, G. A ; MATSUI, E.; CERVellini, A. **Estudo preliminar das concentrações de ^{18}O e D em águas do Nordeste Brasileiro**. Boletim Científico–CENA – ESALQ –USP. 1971.

SALES NETO, P. **Interação entre as águas do Rio Jaguaribe e as do armazenamento subterrâneo do Baixo Jaguaribe – Ceará**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 63p. 1997.

SAMPAIO, A. C. S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da Bacia do Alto Paraguai**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. 2003.

SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. P.; CAMPOS, S. X.; VIEIRA, E. M. **Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água**. Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, vol.13, p. 53-58, 2003;

SANTIAGO, M. M. F. *et al.* **Isótopos ambientais na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira**. CPRM.2007.

SCHWARZBACH, M. S. R. & MORANDI, I. C., **Avaliação da variabilidade temporal das características físico-químicas das águas subterrâneas dos poços tubulares profundos do município de Proto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil**. 1st Joint World Congress on Groundwater. 2000.

SILVA FILHO, W. F. **Domínios Morfoestruturais da Plataforma Continental do Estado do Ceará**. Tese de Doutorado. Porto Alegre - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 288p. 2004.

SILVEIRA, C. S.; SILVA JUNIOR, G. C. **O uso de isótopos ambientais em estudos hidrogeológicos no Brasil: uma resenha crítica**. Anuário do Instituto de Geociências. Rio de Janeiro. v.25. 2002.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. **Assessment of the surface water quality in north in Greece**. Water Research, Amsterdam, v. 37, n. 17, p.4. 119-24, 2003.

SIMÕES, M. **Métodos cromatográficos, volumétricos e potenciométricos para análise química quantitativa de água subterrânea e sua aplicação no aquífero cenozoico da bacia do Baixo Tejo, Portugal**. Geociências, v. 27, n.2, p. 161-169. UNESP, São Paulo. 2008.

- SOARES, F. M. **Diagnóstico Geoambiental da Bacia do Litoral no Ceará.** Mercator – Revista de Geografia da UFC. Ano 06. Nº 11. 107-116p. 2007.
- SOUZA, M. J. N. **Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará.** Revista de Geologia. UFC. 1(1). 73-91p. 1998.
- SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M., **Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações.** Embrapa Meio Ambiente. Documentos 42. Jaguariúna. 2004;
- STAUBER, J. L. & FLORENCE, T. M., 1985, **Interactions of copper and manganese: a mechanism by which manganese alleviates copper toxicity to the marine diatom, Nitzschia closterium (Ehrenberg).** Aquatic Toxicol., 7: 241-254.
- TAGLIANI, C. R. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações.** In: XI SBRS, Belo Horizonte, MG, Anais. p. 1657-1664, 2003.
- TAVARES, T. M. e CARVALHO, F. M. **Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do recôncavo baiano. NIMA – Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente.** UFBA - Universidade Federal da Bahia. Química Nova 15(2). p.147 – 153. 1992.
- TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H.; COSTA, C. T. F.; SILVEIRA, J. G. P. e ALMEIDA JUNIOR, F. J. B. **Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil.** REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 62 (2): p. 227-236. 2009.
- TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. **Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano.** Scinetia Agrícola, Piracicaba, v. 59, n.1, p. 181-6, 2002.
- THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate.** Geographical Review 38 (1): 55-94. 1948.
- VASCONELOS, S. M. S. **Recarga do aquífero dunas/paleodunas, Fortaleza- CE.** Tese de doutoramento, Universidade Federal de São Paulo. São Paulo. 100p. 1999.
- VEIGA, M. M. **Agrotóxicos: Eficiência econômica e injustiça socioambiental.** Ciência & Saúde Coletiva, vol. 12, n. 1, p. 145-152, 2007;
- VIDAL, M.; LÓPEZ, A.; SANTOALLA, M. C.; VALLES, V. **Factor analysis for the study of water resources contamination due to the use of livestock slurries as fertilizer.** Agricultural Water Management, Netherlands, v. 45, n. 1, p. 1-15, 2000.
- VIEIRA, A. T., FEITOSA, A. C., BENVENUTI, S. M. P. **Diagnóstico do Município de Itarema.** CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial. Residência Fortaleza. 1998.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw Hill. 245p. 1975.

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed., Belo Horizonte: DESA, 1996.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). 2005. [HTTP://www.who.int/water_sanitation_health/resources_quality/en](http://www.who.int/water_sanitation_health/resources_quality/en), acesso em 23/10/2010.

YABE, M. J. S. e OLIVEIRA, E. de. **Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas**. Química Nova, 21 (05). 1998.

YOU, C.; JIA, C.; PAN, G.; **Effect of salinity and sediment characteristics on the sorption and desorption of perfluorooctane sulfonate at sediment-water interface**. Environmental Pollution, vol. 158, n. 5, p. 1343-1347, 2010;

APÊNCIDES

Apendice 01 - Identificação e localização dos pontos.

PONTOS	DESCRIÇÃO	TIPO DE CAPTAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	
			LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)
PT01	Poço / SOHIDRA	Subterrânea / Coletor	411417	9672578
PT 02	Cacimba Anelada	Subterrânea / Coletor	411370	9672174
PT05	Cacimba Anelada	Subterrânea / Coletor	410774	9672358
PT06	Poço	Subterrânea / Bomba elétrica	389467	9680636
PT07	Poço	Subterrânea / Bomba elétrica	389462	9680716
PT08	Poço	Subterrânea / Bomba elétrica	389585	9680660
PT09	Poço	Subterrânea / Bomba elétrica	389688	9680376
PT10	Poço	Subterrânea / Bomba elétrica	389821	9680562
PT11	Poço	Subterrânea / Bomba manual	390200	9680466
PT12	Poço	Subterrânea / Bomba manual	390341	9680524
PT13	Poço / SOHIDRA	Subterrânea / Caixa d'água	392505	9681270
PT14	Poço / SOHIDRA	Subterrânea / Caixa d'água	393839	9680454
PT16	Poço	Subterrânea / Caixa d'água	394295	9680088
PT17	Poço	Subterrânea / Bomba elétrica	395126	9679328
PT18	Poço / SOHIDRA	Subterrânea / Caixa d'água	396466	9681764
PT19	Poço / SISÃ	Subterrânea / Cisterna	395119	9682474
PT20	Poço	Subterrânea / Caixa d'água	34056	9683031
PT21	Poço	Subterrânea / Bomba elétrica	390575	9684352
PT22	Poço	Subterrânea / Bomba elétrica	391040	9684274
PT23	Poço	Subterrânea / Coletor	389837	9673614
PT24	Cacimba com anel	Subterrânea / Coletor	389454	9674518
PT 25	Poço	Subterrânea / Bomba elétrica	387226	9674756
PT 26	Poço	Subterrânea / Bomba manual	387236	9674868
PT27	Poço	Subterrânea / Bomba manual	387236	9674866
PT28	Poço	Subterrânea / Bomba manual	399956	9679686
OJ03	Córrego	Superficial	410816	9672366

Continuação Apêndice 01

OJ05	Poço	Subterrânea	409440	9674790
OJ 06	Poço	Subterrânea	409767	9674450
OJ07	Poço	Subterrânea	405603	9675512
OJ 08	Poço	Subterrânea / Bomba manual	405795	9675498
OJ 09	Poço	Subterrânea / Coletor	391806	9677918
OJ 12	Poço	Subterrânea / Bomba manual	388021	9679360
OJ14	Poço	Subterrânea	395116	9682480
OJ 15	Poço	Subterrânea	401367	968774
OJ 16	Poço	Subterrânea	402588	9677684
OJ 17	Poço	Subterrânea	402622	9677614
OJ18	Poço	Subterrânea	403501	9677292
OJ 19	Poço	Subterrânea	398374	9676570
OJ20	Poço	Subterrânea	396964	9677296
OJ21	Poço	Subterrânea	396147	9678540
OJ22	Poço	Subterrânea	394781	9679594
OJ23	Poço	Subterrânea	391857	9681608
OJ23A	Poço	Subterrânea	391892	9681680
OJ 24	Poço	Subterrânea	391376	9681840
EST01	Estuário	Superficial	411665	9673560
EST 02	Estuário	Superficial	411357	9673060
EST 03	Estuário	Superficial	411364	9672156
LGS 01	Lagoa Seca	Superficial	393886	9681984
LGS 02	Lagoa Seca	Superficial	393596	9681872
LGS 03	Lagoa Seca	Superficial	397961	9678486
LGD 01	Lagoa do Danta	Superficial	389844	9673646
LGD 02	Lagoa do Danta	Superficial	389465	9674534
LGSL	Lagoa Salgada	Superficial	404085	9676124
COR 02	Córrego	Superficial	389662	9680240
COR 03	Córrego	Superficial	392510	9683912
LGM 01	Lagoa do Mato	Superficial	393685	9680144
LGM 02	Lagoa do Mato	Superficial	392928	9679880
SLGD	Sangradouro Lagoa do Danta	Superficial	396434	9677876

Continuação Apêndice 01

LGMGB	Lagoa da Mangabeira	Superficial	387984	9671698
-------	---------------------	-------------	--------	---------

Fonte: a autora.

Apêndice 02 – Descrição dos pontos de coleta.

AMOSTRA	TIPO DE CONSTRUÇÃO	USO PRINCIPAL	PECULIARIDADES
PT 01	Cacimba anelada	N. I.	Sem bomba. Em desuso. SOHIDRA.
PT 02	Cacimba anelada	N. I.	À beira do estuário.
PT 04	Poço tubular		Muita Matéria orgânica. 12 m de profundidade.
PT 05	Cacimba anelada.	Consumo e atividades domésticas.	Até Janeiro de 2011 não era anelada. A partir de maio de 2011 já estava anelada. 3 anéis. Após abril de 2012 houve queda de ribanceira e alterou o sabor da água.
PT 06	Poço tubular	Atividades domésticas e irrigação.	Alguns cultivos.
PT 07	Poço tubular	Atividades domésticas e irrigação.	Alguns cultivos.
PT 08	Poço tubular	Consumo e Irrigação.	Criação de animais e cultivos diversos.
PT 09	Poço tubular	Consumo e irrigação.	Cultivos diversos.
PT 10	Poço tubular	Atividades domésticas e irrigação.	Cultivos diversos.
PT 11	Poço tubular	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Cultivos diversos.
PT 12	Poço tubular	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Cultivos diversos.
PT 13	Poço tubular	N. I.	SOHIDRA. Coletado a partir da caixa d'água.
PT 14	Poço tubular	N. I.	SOHIDRA. Coletado a partir da caixa d'água.
PT 16	Poço tubular	N. I.	Presença de capa rosa. 60m de profundidade. Coletado a partir da Caixa d'água.
PT 17	Poço tubular	N. I.	Presença de capa rosa. Coletado a partir de bomba manual
PT 18	Poço tubular	Consumo e atividades domésticas.	Coletado em caixa d'água.
PT 19	Poço tubular	Consumo e atividades domésticas.	Coletado em caixa d'água.
PT 20	Poço tubular	Consumo e atividades domésticas.	Coletado em caixa d'água.
PT 21	Poço tubular	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Coletado direto do poço. Bomba manual. Próximo à praia.
PT 22	Poço tubular	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Coletado direto do poço. Bomba automática. Próximo à praia.
PT 23	Poço tubular	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Coletada direto no poço. Coletor. À beira da Lagoa.
PT 24	Cacimba anelada	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Coletada direto no poço. Coletor. À beira da Lagoa.
PT 25	Poço tubular	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Coletada direto no poço. Bomba automática. Criação de animais diversos, vaca, cavalo, galinha, pato.

Continuação Apêndice 02

PT 26	Poço tubular	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Coletada direto no poço. Bomba manual.
PT 27	Poço tubular	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Coletada direto no poço. Bomba manual.
PT 28	Poço tubular	Consumo, atividades domésticas e irrigação.	Coletada direto no poço. Bomba manual.

Fonte: a autora.

Legenda: N. I.; Não informado.

Apêndice 03 – Dados para observação da litologia do terreno de acordo com as fichas técnicas de poços tubulares observados no SIAGAS/ CPRM.

COORD. (UTM)	LOCALIDADE	PROFUND. (m)	LITOLOGIA (DESCRIÇÃO)	DATA DA PERF.	AQUÍFERO NO PONTO
NORTE/SUL: 9676899 LESTE /OESTE: 399970	SEDE – CAGECE	135	De 0 a 6 m: Areia fina, homogênea, esbranquiçada. De 6 a 135 m: Areia média a grossa, com pedregulhos de quartzo, as vezes argilosa, esbranquiçada.	04/11/1997	POROSO
NORTE/SUL: 9675660 LESTE /OESTE: 398694	SEDE – CAGECE	87	De 0 a 7 m: Areia fina, acinzentada, com presença de matéria orgânica. De 7 a 16 m: Areia fina/média, amarelada com alteração de feldspato. De 16 a 26 m: Arenito de gran. grossa, cor creme, matriz silto-argilosa com feldspato alterado. De 26 a 42 m: Arenito de gran. média/grossa, cor creme, com quartzo e feldspato. De 42 a 54 m: Arenito de gran. média/grossa de cor creme-avermelhada. De 54 a 87 m: Arenito de gran. média, esbranquiçado, bom arredondamento dos grãos, matriz argilosa ao final do intervalo.	31/12/2004	POROSO
NORTE/SUL: 9673372 LESTE /OESTE: 409355	TORROES - CAGECE	46	De 0 a 4 m: Areia amarelada fina. De 4 a 12 m: Areia esbranquiçada, fina. De 12 a 18 m: Areia avermelhada, argilosa. De 18 a 22 m: Arenito avermelhado, argiloso. De 22 a 28 m: Argila avermelhada. De 28 a 36 m: Areia avermelhada, argilosa. De 36 a 46 m: Argila amarelada.	15/09/2005	-
NORTE/SUL: 9673412	TORROES - CAGECE	14	De 0 a 12 m: Areia esbranquiçada, fina.	28/09/2005	POROSO

LESTE /OESTE: 409488			De 12 a 14m:	Arenito avermelhado, fino.		
NORTE/SUL: 9673371 LESTE /OESTE: 409482	TORROES - CAGECE	12	De 0 a 1 m: De 1 a 5 m: De 5 a 8 m: De 8 a 10 m: De 10 a 12 m:	Solo acinzentado. Arenito Avermelhado. Arenito esbranquiçado. Arenito Avermelhado. Argila.	04/12/2005	-
NORTE/SUL: 9673371 LESTE /OESTE: 409482	TORROES - CAGECE	24	De 0 a 1 m: De 1 a 11 m: De 11 a 18 m: De 18 a 24 m:	Solo acinzentado. Arenito esbranquiçado. Arenito Amarelado. Siltitto.	07/12/2005	POROSO
NORTE/SUL: 9676961 LESTE /OESTE: 398434	SEDE - HOSPITAL ITAREMA	54	De 0 a 6 m: De 6 a 15 m: De 15 a 26 m: De 26 a 36 m: De 36 a 54 m:	Areia Fina Areia amarela fina com matriz argilosa. Areia rosado de granulação fina a média. Areia fina avermelhado com matriz argilosa. Arenito rosado, granulação fina a média com grãos angulosos de quartzo.	24/12/1984	POROSO
NORTE/SUL: 9646653 LESTE /OESTE: 389393	CARVOEIRO - CAGECE	60	De 0 a 20 m: De 20 a 26 m: De 26 a 32 m: De 32 a 60 m:	Areia fina com pedregulhos. Argila com Areia. Cascalho grosseiro com grãos e pedregulhos bastantes angulosos.	29/12/1993	POROSO
NORTE/SUL: 9680090 LESTE /OESTE: 394293	ITAPAJÉ - SUDENE	60	De 0 a 9 m: De 9 a 18 m: De 18 a 24 m:	Areia fina a grossa com argila e pouco pedra de quartzo, cinza alaranjada. Areia grossa e fina com pedregulhos de quartzo, com cor variando entre amarelo e vermelho. Argila com areia fina a grossa e pedregulhos de quartzo, com cor variando entre amarelo e vermelho.	09/12/1998	-
Obs.: Próximo ao ponto PT16 das amostras estudadas.						

De 24 a 27 m:	Areia grossa com muitos pedregulhos e seixos de quartzo cinza alaranjado.
De 27 a 29 m:	Argila com areia fina a grossa e pouco pedregulho, avermelhada.
De 29 a 40 m:	Areia fina a grossa com muitos pedregulhos e poucos seixos de quartzo e feldspato, cinza alaranjada.
De 40 a 44 m:	Argila com pouca areia fina a grossa, pouco pedregulho, marrom.
De 44 a 54 m:	Areia fina a grossa com pedregulho de quartzo alaranjado.
De 54 a 57 m:	Areia grossa com pedregulho e seixo de quartzo e feldspato variegado.
De 57 a 60 m:	Argila com areia fina a grossa e seixo de quartzo.

NORTE/SUL: 9675282 LESTE /OESTE: 399057 Obs.: Próximo ao ponto PT 24 das amostras estudadas.	SEDE - CAGECE	152	De 0 a 10 m:	Solo amarelado, areno-argiloso.	22/10/2004	POROSO
			De 10 a 40 m:	Arenito com níveis de granulometria fina a média, quartzo feldspático.		
			De 40 a 44 m:	Arenito amarelado laterítico com tons avermelhado.		
			De 44 a 49 m:	Argila avermelhada.		
			De 49 a 110 m:	Arenito de granulação fina a média, quarto feldspático de coloração esbranquiçada.		
			De 110 a 133 m:	Arenito de granulação fina quartzo feldspática.		
			De 133 a 138 m:	Arenito argiloso de coloração amarelada com pequenos tons cinza.		
De 138 a 152 m:	Arenito argiloso acinzentado.					
NORTE/SUL: 9675115 LESTE /OESTE: 398890	SEDE - CAGECE	120	De 0 a 1 m:	Areia esbranquiçada.	24/11/2004	-
			De 1 a 17 m:	Arenito, granulação média quartzo-feldspática.		
			De 17 a 32 m:	Arenito grosseiro quartzo-feldspático, esbranquiçado, cimentação carbonática.		

			De 32 a 36 m:	Arenito amarelado.		
			De 36 a 41 m:	Arenito fino com tons avermelhados com níveis.		
			De 41 a 67 m:	Arenito esbranquiçado.		
			De 67 a 81 m:	Argila.		
			De 81 a 120 m:	Arenito de granulometria média com tons esbranquiçados e amarelados, quartzo-feldspáticos.		
NORTE/SUL: 9673364 LESTE /OESTE: 409452	TORRÕES - CAGECE	24	De 0 a 5 m:	Areia amarelada		
			De 5 a 10 m:	Arenito amarelado.	14/12/2005	POROSO
			De 10 a 24 m:	Arenito acinzentado.		
			De 0 a 21 m:	Areia amarelada, fina.		
			De 21 a 29 m:	Argila com areia e pedregulhos de quartzo.		
			De 29 a 52 m:	Argila com areia e pedregulhos de quartzo, amarronzada.		
NORTE/SUL: 9676899 LESTE /OESTE: 397930	SEDE - CAGECE	150	De 52 a 56 m:	Areia esbranquiçada.		
Obs.: Próximo ao ponto SLGD das amostras estudadas.			De 56 a 103 m:	Argila com areia e pedregulhos de quartzo.	06/07/1991	POROSO
			De 103 a 123 m:	Arenito esbranquiçado.		
			De 123 a 127 m:	Argila amarelada.		
			De 127 a 150 m:	Arenito amarelado, com seixos.		
NORTE/SUL: 9676190 LESTE /OESTE: 398713	SEDE - CAGECE	149	De 0 a 44 m:	Areia com argila e pedregulhos de quartzo, creme.		
			De 44 a 56 m:	Areia conglomerática, amarelada.		
Obs.: Próximo ao ponto LGSL das amostras estudadas.			De 56 a 88 m:	Argila com areia e pedregulhos de quartzo, avermelhada.	30/06/1991	POROSO
			De 88 a 100 m:	Arenito médio, esbranquiçado.		

			De 100 a 110 m:	Argila com areia e pedregulhos de quartzo, amarronzada a esverdeada.		
			De 110 a 120 m:	Arenito grosso, esbranquiçado.		
			De 120 a 126 m:	Argila arenosa, amarelada.		
			De 126 a 149 m:	Arenito fino, amarelado.		
			De 0 a 5 m:	Areia avermelhada.		
			De 5 a 16 m:	Areia esbranquiçada.		
			De 16 a 23 m:	Arenito avermelhado.		
NORTE/SUL: 9674311	TORROES /		De 23 a 29 m:	Arenito avermelhado.		
LESTE /OESTE:	BARRO	67	De 29 a 39 m:	Arenito amarelado.	24/03/2006	POROSO
408872	VERMELHO -		De 39 a 45 m:	Argila acinzentada.		
	CAGECE		De 45 a 67 m:	Arenito esbranquiçado com seixos.		
			De 0 a 5 m:	Areia avermelhada.		
			De 5 a 16 m:	Areia esbranquiçada.		
			De 16 a 29 m:	Arenito avermelhado.		
NORTE/SUL: 9674284	TORROES /		De 29 a 39 m:	Arenito amarelado.	24/03/2006	POROSO
LESTE /OESTE:	BARRO	67	De 39 a 45 m:	Argila acinzentada.		
408957	VERMELHO -		De 45 a 67 m:	Arenito esbranquiçado com seixos.		
	CAGECE					

Apendice 04 – Série histórica (1989 a 2013) de precipitação pluviométrica no Município de Itarema. Dados Posto Itarema.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total Anual
1989	9,8	20,9	470,2	365,1	84	0	18	0	0	0	0	0	968
1990	0	63,6	124	248	169	18	130	0	0	0	0	0	752,6
1991	122,5	344,8	401	320	59	34	0	0	0	0	0	0	1281,3
1992	34,2	112,2	384,2	142	20,6	0	0	0	0	0	0	0	693,2
1993	0	126,6	253,1	131,1	38	27	13,9	0	0	0	1	24,8	615,5
1994	120,8	286,7	440,8	307,4	257,5	189,8	66,8	0	0	0	1,5	42,4	1713,7
1995	108,9	314,5	308,7	527,1	216,4	59,1	10,7	0	0	0	1	1,1	1547,5
1996	156,9	116,9	618,8	354,8	183,3	8	6,1	37	2	6	0	1	1490,8
1997	15,5	45,2	149,1	239,4	210,1	4	5,6	11	0	0	0	9,4	689,3
1998	140,2	81	331,2	223	71	64	5	0	0	3	0	5	923,4
1999	31,1	175	383	256	190	125	17	0	0	19,9	0	31	1228
2000	155	192	246,5	305,4	131	236,4	89	1	0	0	0	0	1356,3
2001	178	64	223	251	60	65	7	0	0	0	0	13	861
2002	213	95	246	355	250	72	50	8	0	0	0	8	1297
2003	202	402	582	286	157	74	13	8	0	0	0	0	1724
2004	378	360	239	124	89	116	80	0	0	0	0	0	1386
2005	0	79	152	287	245	93	31	0	0	0	0	0	887
2006	35	82	232	345	143	95	17	0	0	0	0	42	991
2007	5	293	270	225	66	65	23	0	0	0	0	81	1028
2008	185	74	413,2	402	137	43	0	64	0	0	0	0	1318,2
2009	190,5	486,5	490	697	385	155	75	0	0	0	0	50	2529
2010	157	68	124	259	211	166	18	-	-	-	-	31	1034
2011	366	230	334	457	245	0	58	0	0	0	0	0	1690
2012	0,0	129	255	22	66	0,0	30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	502
2013	31	65	62	268	209	82	22	5	0,0	0,0	0,0	0,0	744
Total Histórico	2835,4	4306,9	7732,8	7397,3	3892,9	1791,3	786,1	134	2	28,9	3,5	339,7	-
Média Mensal	118,14	172,28	309,31	295,89	155,72	74,64	31,44	5,83	0,09	1,31	0,16	14,77	-

Apêndice 05 - Dados de precipitação pluviométrica no Município de Itarema referente ao período dos anos de 1998 a 2007. Dados Posto Patos.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total Anual
1998						0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0
1999	14	74	291	264	106	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	779
2000	18,00	71,00	190,00	272,00	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	585
2001	129,00	93,00	124,00	183,00	97,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	686
2002	309,00	67,00	142,00	140,00	157,00	73,00	52,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	940
2003	145,00	394,00	339,00	214,00	95,00	85,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1287
2004	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0
2005	0,00	107,00	100,00	231,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	438
2006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
2007	0,00	352,00	223,00	256,00	26,00					0,00		0,00	857
Total Histórico	615,00	1158,00	1409,00	1560,00	515,00	218,00	67,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	-
Média Mensal	68,33	128,67	156,56	173,33	57,22	24,22	7,44	0,00	0,00	0,00	0,00	68,33	-

Fonte: A autora.

Apêndice 06 – Dados de precipitação pluviométrica no Município de Itarema referente ao período dos anos de 2001 a 2013. Dados Posto Carvoeiro.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total Anual
2001	74	62	112	294	60	74	2	0	0	0	0	0	678
2002	300,00	41,00	214,00	280,00	105,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	970
2003	124,00	402,00	516,00	229,00	154,00	43,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1468
2004	327,00	236,00	66,00	60,00	58,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	762
2005	0,00	0,00	0,00	0,00							0,00		0
2006	0,00	0,00	78,00	324,00	122,00	96,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	620
2007	0,00	206,00	123,00	107,00	8,00	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00	497
2008	90,00	106,00	220,00	302,00	222,00	49,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	989
2009	138,00	275,00	319,00	358,00	434,00	48,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1572
2010	0,00	0,00	103,00	118,00	61,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	282
2011	178,00	158,00	354,00	316,00	48,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1054
2012	0,00	63,00	87,00	126,00									276
2013	15,00	67,00	80,00	165,00	207,00	0,00	0,00	0,00	0,00				534
Total Histórico	1246,00	1616,00	2272,00	2679,00	1479,00	389,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00	-
Média Mensal	97,67	129,50	180,00	198,75	141,90	31,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	-

Fonte: A autora.

ANEXOS

Anexo 1 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT06, coletada em dezembro de 2013.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 93930	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 93930
	Recife, 20 de fevereiro de 2014	
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxicos MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 06 - Sr. Pedro, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE Recebimento da amostra: 15/01/2014 Início/Término da Análise: 16/01 - 03/02/2014</p>		
<p>COMPOSTOS ANALISADOS: 3,4,5-Trimetacarb, Acetamiprid, Acibenzolar-S-methyl, Alacloro, Aldrin, Ametryn, Amidosulfuron, Analazine, Atrazine, Azinphos-ethyl, azmetiofos, Azoxystrobin, Benzoximate, Bitertanol, Boscalid, Bromacil, Bromopropylate, Bromuconazole, Bupirimate, Carbaril, Carbendazim (Carbedazin+Benomyl+thiophanate methyl), Carbetamide, Carbofuran, Carboxin, Carpropamid, Chlomezon, Chlordane, Chlordane alfa, Chlordane gama, Chlorfenvinphos, Chlorfluazuron, Chlorpyrifos, Chlorsulfuron, Chlorthiophos, Chlortoluron, Clodinafop-propargyl, Clomazone, clorfenvinfós, Clothianidin, Cyanazine, Cyanofenphos, Cyanosulfuron, Cyazofamide, Cycloate, Cyproconazole, Cyprodinil, DDT total, Deltamethrin, Demeton-S-methyl, Desmetryn, Dialifos, Diazinone, Dichlofluanid, Dichlorvos, Dieldrin, Difenconazole (1,2), Difenoxuron, Dimefuron, Dimethoate, Dimethomorph, Dimoxystrobin, Diniconazole, Diuron, Dodemorph, endosulfam (alfa, beta e sulfato), Endosulfan alpha, Endosulfan beta, Endosulfan sulfato, Endrin, Epoxiconazole, Ethion, Ethiprole, Ethoprophos, Etofenprox, Famoxadone, Fenamifos, Fenbuconazole, Fenfuram, Fenhexamid, Fenoxycarb, Fencidonil, Fenpropimorph, Fenpyroximate, Fenthion, Fenthion Sulfoxide, Fipronil, Flanprop-isopropyl, Flanprop-methyl, Fluazifop-P-butyl, Flufenacet, Flufenoxuron, Fluorometuron, Fluquinconazole, Flusilazole, Flutolanil, Flutriafol, Fosthiazate, Furathiocarb, Halofenozide, Haloxifop-R-methyl, HCB, HCH (alpha, beta e delta), Heptachlor, Heptachlor epoxide, Hexaconazole, Hexythiazox, Imazalil, Imibenconazole desbenzyl, Imidacloprid, Indoxacarb, Iprovalicarb, Isazofos, Isofenphos, Isoprothiolane, Isoproturon, Isoxaflutole, Isoxathion, Kresoxim - methyl, Lindane, Linuron, Malaixon, Malathion, Mecarbam, Mefenacet, Mepanipirim, Mephosfolan, Mepronil, Mesotrione, Metabenziazuron, Metalaxyl-M, Metconazole, Methacrifos, metiocarbe (sulfona e sulfóxido), Metobromuron, Metolachlor, Metosulan, Metoxichlor, Metoxifenozone, Metoxuron, Metsulfuron-methyl, Mevinphos (cis and trans), Monolinuron, Monuron, Myclobutanil, Napropamide, Neburon, Nuarimol, Ofurace, Oxadixyl, Paclobutrazol, paraoxona etílica, Parathion-ethyl, Parathion-methyl, Penconazole, Pencycuron, Pendimethalin, Phemediphane, Phenthoate, Phorate sulfoxide, Phosalone, Phosphamidon, Phoxim, Picoxystrobin, Piperonyl butoxide, Pirimicarb, Pirimicarb-desmethyl, Pirimiphos-ethyl, Pirimiphos-methyl, Prochloraz (Prochloraz + 2,4,6 Trichlorophenol), Procymidone, Profenofos, Promecarb, Prometon, Prometryn, Propachlor, Propanil, Propargit, Propazine, Propetamphos, Propham*, Propiconazole (1 and 2), Propoxur, Propyzamide, Proslufocarb, Prosulfuron, Pyraclostrobin, Pyraclostrobin metabolite, Pyrazophos, Pyridaben, Pyridaphenthion, Pyrifenoxy, Pyrimethanil, Pyriproxyfen, Quizalofop-ethyl, Simetryn, Spinosad (A and D), Spiroxamine, Spiroxamine, Sulfotep, Tebuconazole, Tebufenozide, Tebufenpyrad, Tebuthiuron, Terbufos, Terbumeton, Terbutilazin, Tetraconazole, Thiabendazole, Thiadclorid, Thifensulfuron-methyl, Thiodicarb, Toldofos-methyl, Tolyfluanid, Triadimenol, Triasulfuron, Triazophos, Tricyclazole, Trifloxystrobin, Triflumizole, Trifluralin, Triflurosulfuron-methyl, Triticonazole, Zoxamide.</p>		
RESULTADO		
Os valores encontrados estão abaixo do LQ do método		
<p>Obs: 1- Limite de quantificação do método (LQ): 0,03µg/L; 2- Método: POP TC 014 ver.4/ rev. 7 (Documentos do Sistema de Gestão da Qualidade do LabTox); 3- O escopo de Acreditação (Cgcre/inmetro CRL153) está disponível em www.inmetro.gov.br; 4- Os resultados deste ensaio/análise tem significação restrita e se aplica tão somente a (s) amostra (s) coletada(s) pelo cliente. O relatório de ensaio só pode ser reproduzido por completo.</p>		
		
Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
LABTOX R100/2014 OS Nº 221/14		
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br		

Anexo 2 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT08, coletada em Dezembro de 2013.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 93931	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 93931
	Recife, 20 de fevereiro de 2014	
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxicos MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 08 - Conceição, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE Recebimento da amostra: 15/01/2014 Início/Término da Análise: 16/01 - 03/02/2014</p>		
<p>COMPOSTOS ANALISADOS: 3,4,5-Trimetacarb, Acetamiprid, Acibenzolar-S-methyl, Alacloro, Aldrin, Ametryn, Amidosulfuron, Analazine, Atrazine, Azinphos-ethyl, azmetiofos, Azoxystrobin, Benzoximate, Bitertanol, Boscalid, Bromacil, Bromopropylate, Bromuconazole, Bupirimate, Carbaryl, Carbendazim (Carbedazin+Benomyl+thiophanate methyl), Carbetamide, Carbofuran, Carboxin, Carpropamid, Chlomezone, Chlordane, Chlordane alfa, Chlordane gama, Chlorfenvinphos, Chlorfluazuron, Chlorpyrifos, Chlorsulfuron, Chlorthiophos, Chlortoluron, Clodinafop-propargyl, Clomazone, clorfenvinfós, Clothianidin, Cyanazine, Cyanofenphos, Cyanosulfuron, Cyazofamide, Cycloate, Cyproconazole, Cyprodinil, DDT total, Deltamethrin, Demeton-S-methyl, Desmetryn, Dialifos, Diazinone, Dichlofluaniid, Dichlorvos, Dieldrin, Difenconazole (1,2), Difenoxuron, Dimefuron, Dimethoate, Dimethomorph, Dimoxystrobin, Diniconazole, Diuron, Dodemorph, endosulfam (alfa, beta e sulfato), Endosulfan alfa, Endosulfan beta, Endosulfan sulfato, Endrin, Epoxiconazole, Ethion, Ethiprole, Ethoprophos, Etofenprox, Famoxadone, Fenamiphos, Fenbuconazole, Fenfuram, Fenhexamid, Fenoxycarb, Fenciclonil, Fenpropimorph, Fenpyroximate, Fenthion, Fenthion Sulfoxide, Fipronil, Flanprop-isopropyl, Flanprop-methyl, Fluzifop-P-butyl, Flufenacete, Flufenoxuron, Fluorometuron, Fluquinconazole, Flusilazole, Flutolanil, Flutriafol, Fosthiazate, Furathiocarb, Halofenozide, Haloxyfop-R-methyl, HCB, HCH (alfa, beta e delta), Heptachlor, Heptachlor epoxide, Hexaconazole, Hexythiazox, Imazalil, Imibenconazole desbenzyl, Imidacloprid, Indoxacarb, Iprovalicarb, Isazofos, Isofenphos, Isoprothiolane, Isoproturon, Isoxaflutole, Isoxathion, Kresoxim - methyl, Lindane, Linuron, Malaaxon, Malathion, Mecarbam, Mefenacet, Mepanipyrim, Mephosfolan, Mepronil, Mesotrione, Metabenziazuron, Metalaxyl-M, Metconazole, Methacrifos, metiocarbe (sulfona e sulfóxido), Metobromuron, Metolachlor, Metosulan, Metoxichlor, Metoxifenozide, Metoxuron, Metsulfuron-methyl, Mevinphos (cis and trans), Monolinuron, Monuron, Myclobutanil, Napropamide, Neburon, Nuarimol, Ofurace, Oxadixyl, Paclbutrazol, paraoxona etilica, Parathion-ethyl, Parathion-methyl, Penconazole, Pencycuron, Pendimethalin, Phemediphan, Phenthoate, Phorate sulfoxide, Phosalone, Phosphamidon, Phoxim, Picoxystrobin, Piperonyl butoxide, Pirimicarb, Pirimicarb-desmethyl, Pirimiphos-ethyl, Pirimiphos-methyl, Prochloraz (Prochloraz + 2,4,6 Trichlorophenol), Procymidone, Profenofos, Promecarb, Prometon, Prometryn, Propachlor, Propanil, Propargit, Propazine, Propetamphos, Propham*, Propiconazole (1 and 2), Propoxur, Propyzamide, Prosulfocarb, Proxysulfuron, Pyraclostrobin, Pyraclostrobin metabolite, Pyrazophos, Pyridaben, Pyridaphenthion, Pyrifeno, Pyrimethanil, Pyriproxyfen, Quizalofop-ethyl, Simetryn, Spinosad (A and D), Spiroxamine, Spiroxamine, Sulfotep, Tebuconazole, Tebufenozide, Tebufenpyrad, Tebuthiuron, Terbufos, Terbumeton, Terbutilazin, Tetraconazole, Thiabendazole, Thiacloprid, Thifensulfuron-methyl, Thiodicarb, Tolclofos-methyl, Tolyfluaniid, Triadimenol, Triasulfuron, Triazophos, Tricyclazole, Trifloxystrobin, Triflumizole, Trifluralin, Triflusulfuron-methyl, Triticonazole, Zoxamide.</p>		
RESULTADO		
Os valores encontrados estão abaixo do LQ do método		
<p>Obs: 1- Limite de quantificação do método (LQ): 0,03µg/L; 2- Método: POP TC 014 ver.4/ rev. 7 (Documentos do Sistema de Gestão da Qualidade do LabTox); 3- O escopo de Acreditação (Cgcre/inmetro CRL153) está disponível em www.inmetro.gov.br; 4- Os resultados deste ensaio/análise tem significação restrita e se aplica tão somente a (s) amostra (s) coletada(s) pelo cliente. O relatório de ensaio só pode ser reproduzido por completo.</p>		
		
Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
LABTOX R101/2014 OS Nº 221/14		
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES RE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br		

Anexo 3 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT10, coletada em dezembro de 2013.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 93932	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 93932
	Recife, 20 de fevereiro de 2014	
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxicos MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 10 - Sr. José, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE Recebimento da amostra: 15/01/2014 Início/Término da Análise: 16/01 - 03/02/2014</p>		
<p>COMPOSTOS ANALISADOS: 3,4,5-Trimetacarb, Acetamiprid, Acibenzolar-S-methyl, Alacloro, Aldrin, Ametryn, Amidosulfuron, Analazine, Atrazine, Azinphos-ethyl, azmetiofos, Azoxytrobin, Benzoximate, Bitertanol, Boscalid, Bromacil, Bromopropylate, Bromuconazole, Bupirimate, Carbaryl, Carbedazim (Carbedazin+Benomyl+thiophanate methyl), Carbetamida, Carbofuran, Carboxin, Carpropamid, Chlomezone, Chlordane, Chlordane alfa, Chlordane gama, Chlorfenvinphos, Chlorfluazuron, Chlorpyrifos, Chlorsulfuron, Chlorthiophos, Chlortoluron, Clodinafop-propargyl, Clomazone, clorfenvinfós, Clothianidin, Cyanazine, Cyanofenphos, Cyanosulfuron, Cyazofamide, Cycloate, Cyproconazole, Cyprodinil, DDT total, Deltamethrin, Demeton-S-methyl, Desmetryn, Dialifos, Diazinone, Dichlofluanid, Dichlorvos, Dieldrin, Difenconazole (1,2), Difenoxuron, Dimofuron, Dimethoate, Dimethomorph, Dimoxystrobin, Diniconazole, Diuron, Dodemorph, endosulfam (alfa, beta e sulfato), Endosulfan alfa, Endosulfan beta, Endosulfan sulfate, Endrin, Epoxiconazole, Ethion, Ethiprole, Ethoprophos, Etofenprox, Famoxadone, Fenamifos, Fenbuconazole, Fenfuram, Fenhexamid, Fenoxycarb, Fenciclonil, Fenpropimorph, Fenpyroximate, Fenthion, Fenthion Sulfoxide, Fipronil, Flanprop-isopropyl, Flanprop-methyl, Fluazifop-P-butyl, Flufenacete, Flufenoxuron, Fluorometuron, Fluquinconazole, Flusilazole, Flutolanil, Flutriafol, Fosthiazate, Furathiocarb, Halofenozide, Haloxyfop-R-methyl, HCB, HCH (alpha, beta e delta), Heptachlor, Heptachlor epoxide, Hexaconazole, Hexythiazox, Imazalil, Imibenconazole desbenzyl, Imidacloprid, Indoxacarb, Iprovalicarb, Isazofos, Isofenphos, Isoprothiolane, Isoproturon, Isoxaflutole, Isoxathion, Kresoxim - methyl, Lindane, Linuron, Malaaxon, Malathion, Mecarbam, Mefenacet, Mepanipyrim, Mephosfolan, Mepronil, Mesotrione, Metabenziazuron, Metalaxyl-M, Metconazole, Methacrifos, metiocarbe (sulfona e sulfóxido), Metobromuron, Metolachlor, Metosulan, Metoxichlor, Metoxifenozide, Metoxuron, Metsulfuron-methyl, Mevinphos (cis and trans), Monolinuron, Monuron, Myclobutanil, Napropamide, Neburon, Nuarimol, Ofurace, Oxadixyl, Paclobutrazol, paraoxona etilica, Parathion-ethyl, Parathion-methyl, Penconazole, Pencycuron, Pendimethalin, Phemediphan, Phenthoate, Phorate sulfoxide, Phosalone, Phosphamidon, Phoxim, Picoxytrobin, Piperonyl butoxide, Pirimicarb, Pirimicarb-desmethyl, Pirimiphos-ethyl, Pirimiphos-methyl, Prochloraz (Prochloraz + 2,4,6 Trichlorophenol), Procymidone, Profenofos, Promecarb, Prometon, Prometryn, Propachlor, Propanil, Propargit, Propazine, Propetamphos, Propham*, Propiconazole (1 and 2), Propoxur, Propyzamide, Prosulfocarb, Prosulfuron, Pyraclostrobin, Pyraclostrobin metabolite, Pyrazophos, Pyridaben, Pyridaphenthion, Pyrifenox, Pyrimethanil, Pyriproxyfen, Quizalofop-ethyl, Simetryn, Spinosad (A and D), Spiroxamine, Spiroxamine, Sulfotep, Tebuconazole, Tebufenozide, Tebufenpyrad, Tebuthiuron, Terbufos, Terbumeton, Terbutilazin, Tetraconazole, Thiabendazole, Thiacloprid, Thifensulfuron-methyl, Thiodicarb, Tolclofos-methyl, Tolyfluanid, Triadimenol, Triasulfuron, Triazophos, Tricyclazole, Trifloxystrobin, Triflumizole, Trifluralin, Triflusaluron-methyl, Triticonazole, Zoxamide.</p>		
<p>RESULTADO Os valores encontrados estão abaixo do LQ do método</p>		
<p>Obs: 1- Limite de quantificação do método (LQ): 0,03µg/L; 2- Método: POP TC 014 ver.4/ rev. 7 (Documentos do Sistema de Gestão da Qualidade do LabTox); 3- O escopo de Acreditação (Cgcre/inmetro CRL153) está disponível em www.inmetro.gov.br; 4- Os resultados deste ensaio/análise tem significação restrita e se aplica tão somente a (s) amostra (s) coletada(s) pelo cliente. O relatório de ensaio só pode ser reproduzido por completo.</p>		
 Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
LABTOX R102/2014 OS Nº 221/14		
<p>INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br</p>		

Anexo 4 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT11, coletada em dezembro de 2013.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 93933	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 93933
Recife, 20 de fevereiro de 2014		
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxicos MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 11 - Rita, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE</p>		
Recebimento da amostra: 15/01/2014		Início/Término da Análise: 16/01 - 03/02/2014
COMPOSTOS ANALISADOS:		
<p>3,4,5-Trimetacarb, Acetamiprid, Acibenzolar-S-methyl, Alacloro, Aldrin, Ametryn, Amidosulfuron, Analazine, Atrazine, Azinphos-ethyl, azmetiofos, Azoxystrobin, Benzoximate, Bitertanol, Boscalid, Bromacil, Bromopropylate, Bromuconazole, Bupirimate, Carbaryl, Carbendazim (Carbedazin+Benomyl+thiophanate methyl), Carbetamide, Carbofuran, Carboxin, Carpropamid, Chlomezone, Chlordane, Chlordane alfa, Chlordane gama, Chlorfenvinphos, Chlorfluazuron, Chlorpyrifos, Chlorsulfuron, Chlorthiophos, Chlortoluron, Clodinafop-propargyl, Clomazone, clorfenvinphos, Clothianidin, Cyanazine, Cyanofenphos, Cyanosulfuron, Cyazofamide, Cycloate, Cyproconazole, Cyprodinil, DDT total, Deltamethrin, Demeton-S-methyl, Desmetyrn, Dialifos, Diazinone, Dichlofluanid, Dichlorvos, Dieldrin, Difenconazole (1,2), Difenoxuron, Dimefuron, Dimethoate, Dimethomorph, Dimoxystrobin, Diniconazole, Diuron, Dodemorph, endosulfam (alfa, beta e sulfato), Endosulfan alpha, Endosulfan beta, Endosulfan sulfate, Endrin, Epoxiconazole, Ethion, Ethiprole, Ethoprophos, Etofenprox, Famoxadone, Fenamiphos, Fenbuconazole, Fenfuram, Fenhexamid, Fenoxycarb, Fenciclonil, Fenpropimorph, Fenpyroximate, Fenthion, Fenthion Sulfoxide, Fipronil, Flanprop-isopropyl, Flanprop-methyl, Fluazifop-P-butyl, Flufenacete, Flufenoxuron, Fluorometuron, Fluquinconazole, Flusilazole, Flutolanil, Flutriafol, Fosthiazate, Furathiocarb, Halofenozide, Haloxyfop-R-methyl, HCB, HCH (alpha, beta e delta), Heptachlor, Heptachlor epoxide, Hexaconazole, Hexythiazox, Imazalil, Imibenconazole desbenzyl, Imidacloprid, Indoxacarb, Iprovalicarb, Isazofos, Isofenphos, Isoprothiolane, Isoproturon, Isoxaflutole, Isoxathion, Kresoxim - methyl, Lindane, Linuron, Malaixon, Malathion, Mecarbam, Mefenacet, Mepanipyrim, Mephosfolan, Mepronil, Mesotrione, Metabenziazuron, Metalaxyl-M, Metconazole, Methacrifos, metiocarbe (sulfona e sulfóxido), Metobromuron, Metolachlor, Metosulan, Metoxichlor, Metoxifenozide, Metoxuron, Metsulfuron-methyl, Mevinphos (cis and trans), Monolinuron, Monuron, Myclobutanil, Napropamide, Neburon, Nuarimol, Ofurace, Oxadixyl, Paclobutrazol, paraoxona etílica, Parathion-ethyl, Parathion-methyl, Penconazole, Pencycuron, Pendimethalin, Phemediphan, Phenthoate, Phorate sulfoxide, Phosalone, Phosphamidon, Phoxim, Picoxystrobin, Piperonyl butoxide, Pirimicarb, Pirimicarb-desmethyl, Pirimiphos-ethyl, Pirimiphos-methyl, Prochloraz (Prochloraz + 2,4,6 Trichlorophenol), Procymidone, Profenofos, Promecarb, Prometon, Prometryn, Propachlor, Propanil, Propargit, Propazine, Propetamphos, Prophan*, Propiconazole (1 and 2), Propoxur, Propyzamide, Prosulfocarb, Prosuluron, Pyraclostrobin, Pyraclostrobin metabolite, Pyrazophos, Pyridaben, Pyridaphenthion, Pyrifenoxy, Pyrimethanil, Pyriproxyfen, Quizalofop-ethyl, Simetryn, Spinosad (A and D), Spiroxamine, Spiroxamine, Sulfotep, Tebuconazole, Tebufenozide, Tebufenpyrad, Tebuthiuron, Terbufos, Terbumeton, Terbutilazin, Tetraconazole, Thiabendazole, Thiacloprid, Thifensulfuron-methyl, Thiodicarb, Tolclofos-methyl, Tolyfluanid, Triadimenol, Triasulfuron, Triazophos, Tricyclazole, Trifloxystrobin, Triflumizole, Trifluralin, Triflurosulfuron-methyl, Triticonazole, Zoxamide.</p>		
RESULTADO		
Os valores encontrados estão abaixo do LQ do método		
Obs:		
<p>1- Limite de quantificação do método (LQ): 0,03µg/L; 2- Método: POP TC 014 ver.4/ rev. 7 (Documentos do Sistema de Gestão da Qualidade do LabTox); 3- O escopo de Acreditação (Cgcre/inmetro CRL153) está disponível em www.inmetro.gov.br; 4- Os resultados deste ensaio/análise tem significação restrita e se aplica tão somente a (s) amostra (s) coletada(s) pelo cliente. O relatório de ensaio só pode ser reproduzido por completo.</p>		
Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
LABTOX R103/2014 OS Nº 221/14		
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES RE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br		

Anexo 7 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT06, coletada em junho de 2014.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99406	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 9940
	Recife, 20 de junho de 2014	
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxico MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 06 - Sr. Pedro, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE Recebimento da amostra: 16/06/2014 Início/Término da Análise: 16 - 26/06/2014</p>		
<p>COMPOSTOS ANALISADOS: Dimethoate.</p>		
RESULTADO		
O composto acima relacionado não foi encontrado na amostra analisada		
<p>Obs: 1- Método utilizado: Standard methods for the examination of Water and wastewater, 18th Edition - 1992. 2- Limite de Quantificação do método: 0,03 µg/L. 3- Outras creditações: REBLAS, ANALI-021 e MAPA, Portaria 136 de 06/08/1998</p>		
		
Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
<p>LABTOX R2683/2014 OS Nº 1933/2014</p>		
<p>INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br</p>		

Anexo 8 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT08, coletada em junho de 2014.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99407	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99407
	Recife, 20 de junho de 2014	
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxico MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 08 - Sra. Conceição, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE Recebimento da amostra: 16/06/2014 Início/Término da Análise: 16 - 20/06/2014</p>		
<p>COMPOSTOS ANALISADOS: Dimethoate.</p>		
RESULTADO		
O composto acima relacionado não foi encontrado na amostra analisada		
<p>Obs: 1- Método utilizado: Standard methods for the examination of Water and wastewater, 18th Edition - 1992. 2- Limite de Quantificação do método: 0,03 µg/L. 3- Outras creditações: REBLAS, ANALI-021 e MAPA, Portaria 136 de 06/08/1998</p>		
		
Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
<p>LABTOX R2684/2014 OS Nº 1933/2014</p>		
<p>INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES RE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br</p>		

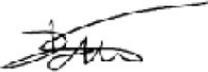
Anexo 9 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT10, coletada em junho de 2014.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99408	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99408
	Recife, 20 de junho de 2014	
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxicos. MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 10 - Sr. José, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE Recebimento da amostra: 16/06/2014 Início/Término da Análise: 16 - 20/06/2014</p>		
<p>COMPOSTOS ANALISADOS: Dimethoate.</p>		
RESULTADO		
O composto acima relacionado não foi encontrado na amostra analisada		
<p>Obs:</p>		
<p>1- Método utilizado: Standard methods for the examination of Water and wastewater, 18th Edition - 1992. 2- Limite de Quantificação do método: 0,03 µg/L. 3- Outras creditações: REBLAS, ANALI-021 e MAPA, Portaria 136 de 06/08/1998</p>		
		
Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
LABTOX R2685/2014 OS Nº 1933/2014		
<p>INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES RE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br</p>		

Anexo 10 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT11, coletada em junho de 2014.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99409	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99409
	Recife, 20 de junho de 2014	
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxico MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 11 - Sra. Rita, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE Recebimento da amostra: 16/06/2014 Início/Término da Análise: 16 - 20/06/2014</p>		
<p>COMPOSTOS ANALISADOS: Dimethoate.</p>		
RESULTADO		
O composto acima relacionado não foi encontrado na amostra analisada		
<p>Obs: 1- Método utilizado: Standard methods for the examination of Water and wastewater, 18th Edition - 1992. 2- Limite de Quantificação do método: 0,03 µg/L. 3- Outras credenciações: REBLAS, ANALI-021 e MAPA, Portaria 136 de 06/08/1998</p>		
		
Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
LABTOX R2686/2014 OS Nº 1933/2014		
<p>INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES RE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br</p>		

Anexo 11 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT21, coletada em junho de 2014.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99410	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99410
	Recife, 20 de junho de 2014	
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxico MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 21 - Sr. Zé Maria, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE Recebimento da amostra: 16/06/2014 Início/Término da Análise: 16 - 20/06/2014</p>		
<p>COMPOSTOS ANALISADOS: Dimethoate.</p>		
RESULTADO		
O composto acima relacionado não foi encontrado na amostra analisada		
<p>Obs: 1- Método utilizado: Standard methods for the examination of Water and wastewater, 18th Edition - 1992. 2- Limite de Quantificação do método: 0,03 µg/L. 3- Outras creditações: REBLAS, ANALI-021 e MAPA, Portaria 136 de 06/08/1998</p>		
		
Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
<p>LABTOX R2687/2014 OS Nº 1933/2014</p>		
<p>INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br</p>		

Anexo 12 – Laudo ITEP/LABTOX referente à amostra PT22, coletada em junho de 2014.

	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99411	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 99411
	Recife, 20 de junho de 2014	
<p>NATUREZA DO TRABALHO: Análise de Resíduos de Agrotóxico MATERIAL: 01 amostra de água, ref. PT 22 - Sr. Geraldo, colhida e remetida pelo cliente. CLIENTE: Associação Técnica Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF ENDEREÇO: Rua Guerra - S/N PICI 60450665 Fortaleza- CE Recebimento da amostra: 16/06/2014 Início/Término da Análise: 16 - 20/06/2014</p>		
<p>COMPOSTOS ANALISADOS: Dimethoate.</p>		
RESULTADO		
O composto acima relacionado não foi encontrado na amostra analisada		
<p>Obs: 1- Método utilizado: Standard methods for the examination of Water and wastewater, 18th Edition - 1992. 2- Limite de Quantificação do método: 0,03 µg/L. 3- Outras creditações: REBLAS, ANALI-021 e MAPA, Portaria 136 de 06/08/1998</p>		
		
Danuza Leal Telles Coordenador Técnico da Qualidade - CRQ 01.300.541		
<p>LABTOX R2688/2014 OS Nº 1933/2014</p>		
<p>INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP LABORATÓRIO DE ANÁLISES RE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS f. DE BEBIDAS ALCOÓLICAS - LABTOX Av. professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE CEP: 50.740-540 PABX: 81 3272.4399 FAX: 81 32724313 www.itep.br e-mail: itep@itep.br</p>		