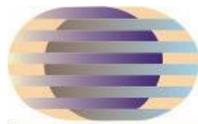




UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE DA ASSOCIAÇÃO
PLENA EM REDE DAS INSTITUIÇÕES
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE



**Doutorado em Desenvolvimento
e Meio Ambiente**

**Associação Plena
em Rede**



SAULO ROBERIO RODRIGUES MAIA

**ESTUDO HIDROQUÍMICO-AMBIENTAL DO AQUÍFERO COSTEIRO DO
MUNICÍPIO DE ICAPUÍ-CE**

FORTALEZA

2018

SAULO ROBERIO RODRIGUES MAIA

ESTUDO HIDROQUÍMICO-AMBIENTAL DO AQUÍFERO COSTEIRO DO MUNICÍPIO
DE ICAPUÍ-CE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. George Satander Sá Freire.

Coorientadora: Dr^a. Diolande Ferreira Gomes.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M188e Maia, Saulo Roberto Rodrigues.

Estudo hidroquímico - ambiental do aquífero costeiro do município de Icapuí - CE / Saulo Roberto Rodrigues Maia. – 2018.
109 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. George Satander Sá Freire.

Coorientação: Profa. Dra. Diolande Ferreira Gomes.

1. Geologia médica. 2. Meio ambiente. 3. Hidroquímica. I. Título.

CDD 333.7

SAULO ROBERIO RODRIGUES MAIA

ESTUDO HIDROQUÍMICO-AMBIENTAL DO AQUÍFERO COSTEIRO DO MUNICÍPIO
DE ICAPUÍ-CE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 17/01/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. George Satander Sá Freire (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr^a. Diolande Ferreira Gomes (Co-orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Reynaldo Amorim Marinho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Prof. Dr. Adervan Fernandes de Sousa
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Dr. Herbart dos Santos Melo
Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE)

Às minhas flores Mirna, Mayra e Samile
Araújo Maia (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

À FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Aos professores Prof. Dr. George Satander Sá Freire e Prof^a. Dr^a. Diolande Ferreira Gomes pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora por suas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas da turma de doutorado, pela amizade, companheirismo, e no âmbito acadêmico, por críticas e sugestões aos estudos desenvolvidos.

Aos colegas de laboratório por vossas contribuições nas análises, trabalhos de campo e reflexões em torno do tema.

Aos pesquisadores do NISAC, por ótimos momentos de discussão acerca da tese e suas etapas de execução.

RESUMO

Águas subterrâneas são conhecidas por possuírem boa qualidade para o consumo humano, principalmente quando comparada à água superficial, além do menor custo. Atualmente, observa-se uma política de exploração mundial crescente dessas águas, inclusive na América do Sul, tendo como justificativa atender às necessidades sociais e econômicas. Entretanto, a extração excessiva do recurso hídrico pode gerar problemas como: intrusão salina, subsidência do solo e rebaixamento do nível freático. No caso do município de Icapuí, por ser uma área sem serviço de esgotamento sanitário, aumenta o risco de contaminação do aquífero, por efluentes despejados diretamente no solo, oriundos a partir da infiltração de fossas negras. Doenças desencadeadas após o consumo prolongado de água de má qualidade nem sempre são de fácil diagnóstico. Por exemplo, alguns tipos de câncer, problemas neurológicos, intestinais, renais, hepáticos, podem estar associados à água do local de moradia do indivíduo. Estudar a qualidade da água do aquífero costeiro de Icapuí e a possível relação com riscos de saúde da comunidade local é o objetivo principal deste estudo. Foram realizadas análises nas águas coletadas em 22 poços, análise do tipo: físico-químicas, elementos traço, bacteriológicas e isótopos – $\delta^{18}\text{O}$ e, obtiveram-se resultados anômalos como: presença de bactérias, *Escherichia coli* e coliformes totais, compostos nitrogenados e cromo, acima do valor permitido para o consumo humano, nas águas coletadas em alguns poços. O aumento dos casos de doenças diarreicas observado em Icapuí no período entre 2014 a 2015, e o reaparecimento da hepatite viral, podem estar associados aos dados de qualidade da água.

Palavras-chave: Geologia Médica. Saúde. Meio Ambiente. Hidroquímica.

ABSTRACT

Groundwaters are known to have good quality when compared to water of surface and, too have a lower cost. Nowadays, the policy of exploitation of the water has been an increasing global, including in South America, with the justification of meet the social and economic needs. However, in case of excessive extraction of the water resource it can generate problems such as: saline intrusion, soil subsidence and groundwater relegation. In the case of the municipality of Icapuí, that it is an area without sewage system, the risk of contamination of the aquifer increases, due to effluents dumped directly into the soil, originating from the infiltration of cesspits. Diseases triggered after prolonged consumption of poor quality water are not always easy to diagnose. For example, some types of cancer, neurological, intestinal, renal, liver problems may be associated with water of the place. Studying water quality of the coastal aquifer of Icapuí and the possible relation with health risks of the local community is the main objective of this study. The waters of the 22 wells were analysed: physical-chemical, trace elements, bacteriological and $\delta^{18}\text{O}$ isotopes and, anomalous results were obtained it to: bacteria presence, *Escherichia coli* and total coliforms, nitrogen compounds and chromium, above of the allowable value for human consumption, in the waters collected in some wells. The increase in cases of diarrheal diseases observed in Icapuí between 2014 and 2015, and the reappearance of viral hepatitis, may be associated with this bad water quality data.

Keywords: Medical Geology. Health. Environmental. Hydrochemical.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Aquífero livre e aquífero confinado.....	26
Figura 2	- Distribuição das espécies químicas CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} na água em função do pH.....	29
Figura 3	- Diagrama de Eh-pH com os limites de estabilidade da água e ambientes naturais, em função do Eh e pH.....	31
Quadro 1	- Doenças causadas por microorganismos frequentemente relacionadas a ingestão de água contaminada.....	33
Quadro 2	- Algumas espécies químicas e as doenças conhecidas no homem, quando ingeridas em excesso.....	34
Figura 4	- Ciclo do Nitrogênio.....	35
Quadro 3	- Classes de vulnerabilidade absoluta de aquíferos à contaminação.....	36
Figura 5	- Médias pluviométricas mensais em Icapuí durante a série histórica (1988-2015) e nos anos de estudo (2014-2015).....	40
Figura 6	- Fazenda Belém, campo terrestre maduro da PETROBRÁS.....	42
Figura 7	- Localização da área de estudo e distribuição dos poços nos sistemas aquíferos..	45
Figura 8	- Comunidades do município de Icapuí abastecidas pelos poços estudados.....	46
Figura 9	- Poço IS02 na Praia de Ponta Grossa.....	48
Quadro 4	- Descrição litológica do poço IS03 por profundidade.....	49
Figura 10	- Perfil construtivo do poço IS03.....	49
Figura 11	- Poço IS05 na estrada entre Ponta Grossa e Redonda.....	50
Figura 12	- Poço IS09 na comunidade da Praia da Peroba.....	51
Quadro 5	- Dados Litológicos do poço IS10.....	52
Figura 13	- Perfil construtivo do poço IS10.....	52
Figura 14	- Poço IS15, com bombeamento manual, localizado na zona urbana.....	53
Figura 15	- Poço IS16, com bombeamento por ação eólica, com uso para irrigação de capim elefante.....	54

Figura 16	- Poço em Ibicuitaba, distrito de Icapuí.....	55
Figura 17	- Poço na Praia de Tremembé.....	55
Figura 18	- Perfil construtivo do poço IS20.....	56
Figura 19	- Poço na comunidade de Melancias de Cima.....	57
Quadro 6	- Resumo dos parâmetros analisados no estudo hidroquímico e o método aplicado.....	59
Figura 20	- Método de vulnerabilidade GOD.....	63
Figura 21	- Diagrama de <i>Piper</i>	65
Quadro 7	- Características dos poços com presença de coliformes totais em março de 2014.....	67
Figura 22	- Valores de pH das águas coletadas nas quatro campanhas.....	80
Figura 23	- Valores de STD das águas coletadas nas quatro campanhas.....	81
Figura 24	- Correlação STD versus CE das águas coletadas nas quatro campanhas.....	82
Figura 25	- Salinidade dos poços e o risco em níveis de STD e sódio.....	90
Figura 26	- Classificação das águas dos poços estudados segundo a composição iônica.....	91
Figura 27	- Distribuição dos valores de Oxigênio-18 ($\delta^{18}\text{O}$) em águas de poços de Icapuí-CE, durante o período de seca nov/14 e de chuva mar/15.....	92
Figura 28	- Concentração média dos elementos traço nos poços IS01, IS03, IS05, IS08, IS10, IS17 e IS20.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porosidade total nos sedimentos e rochas sedimentares.....	24
Tabela 2 – Evolução do IDHM e seus componentes para Icapuí-CE (1991 a 2010).....	43
Tabela 3 – Principais indicadores de saúde do município de Icapuí em relação ao Ceará – 2013.....	44
Tabela 4 – Casos confirmados de doenças de notificação compulsória em Icapuí 2010-2013.....	44
Tabela 5 – Coordenadas dos poços do estudo, em UTM.....	47
Tabela 6 – Formação Geológica do poço de abastecimento na zona urbana.....	54
Tabela 7 – Dados Litológicos do poço IS20.....	57
Tabela 8 – Valor médio de δ^{18} para o município de Fortaleza.....	61
Tabela 9 – Valores da importância para seus atributos ambientais e ponderação equivalente.....	64
Tabela 10 – Valores da magnitude para seus atributos ambientais e ponderação equivalente.....	64
Tabela 11 – Quantidade de colônias de bactérias coliformes totais (UFC/100mL) e bactérias E. coli (UFC/100mL) nos poços do estudo ao longo de 2015.....	66
Tabela 12 – Teores médios de N-nitrato, N-nitrito e N-amoniaco, em mg.L^{-1} , coletados nos períodos de nov/14 a nov/15.....	68
Tabela 13 – Concentração, em mg.L^{-1} , de amônia não ionizada (NH_3) com base na equação de Johansson e Wedborg (AMINOT; CHAUSSEPIED, 1983).....	69
Tabela 14 – Casos confirmados das doenças de notificação compulsória em Icapuí 2010-2014.....	71
Tabela 15 – Casos confirmados de doenças diarreicas agudas em Icapuí 2006-2015.....	71
Tabela 16 – Casos confirmados das doenças de notificação compulsória em Jijoca de Jericoacoara 2010-2012.....	72

Tabela 17 – Taxa de mortalidade infantil, segundo os municípios, Icapuí e Aracati, e a média do Estado do Ceará, no período de 2010 a 2014.....	73
Tabela 18 – Valores dos atributos de magnitude e importância para as etapas de obtenção e uso da água subterrânea.....	74
Tabela 19 – Dados de nível estático, em metros, observado nos poços de estudo.....	75
Tabela 20 – Vulnerabilidade à contaminantes do aquífero em Icapuí-CE.....	76
Tabela 21 – Estimativa da recarga subterrânea (Infiltração efetiva, I_e), por meio do balanço hídrico, usando dados meteorológicos de 2004-2012, no município de Icapuí.....	77
Tabela 22 – Estimativa da recarga subterrânea (Infiltração efetiva, I_e), por meio do balanço hídrico, usando dados meteorológicos dos anos de estudo 2014-2015, no município de Icapuí.....	78
Tabela 23 – Variação do nível estático, em metros, entre nov/14 a nov/15.....	78
Tabela 24 – Resultados de parâmetros físico-químicos da primeira campanha (nov/14)..	83
Tabela 25 – Resultados de parâmetros físico-químicos da segunda campanha (mar/15)..	84
Tabela 26 – Resultados de parâmetros físico-químicos da terceira campanha (jun/15)....	85
Tabela 27 – Resultados de parâmetros físico-químicos da quarta campanha (nov/15)....	86
Tabela 28 – Teores médios de brometo e fluoreto, em mg.L^{-1} nas águas coletadas nos períodos de nov/2014 a nov/2015.....	88
Tabela 29 – Classificação das águas coletadas segundo o USSL.....	89
Tabela 30 – Valores de Oxigênio-18 ($\delta^{18}\text{O}$) em águas de poços de Icapuí-CE, durante o período de nov/14 a nov/15.....	92
Tabela 31 – Teores de elementos traços nas águas coletadas nos poços durante a primeira campanha (nov/14), utilizando o método ICPMS, em $\mu\text{g.L}^{-1}$	94
Tabela 32 – Teores de elementos traços nas águas coletadas nos poços durante a quarta campanha (nov/15), utilizando o método ICPMS, em $\mu\text{g.L}^{-1}$	94
Tabela 33 – Correlação linear (R) entre os elementos traço nas amostras de duas campanhas (nov/14 e nov/15).....	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NISAC	Núcleo Interdisciplinar em Sustentabilidade e Áreas Costeiras
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S.A.
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PGAGEM	Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica
REGAGEM	Rede de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas do Estado do Ceará,
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	16
1.2	Problemática	17
1.3	Hipótese	17
1.4	Objetivos	18
2	GEOLOGIA MÉDICA: A CIÊNCIA DA SAÚDE E DO MEIO AMBIENTE	19
2.1	Doenças associadas ao meio	20
2.2	Breve histórico da Geologia Médica	21
2.3	Geologia Médica no Brasil	22
3	ÁGUA SUBTERRÂNEA	24
3.1	Tipos de aquíferos	25
3.1.1	<i>Aquífero costeiro</i>	26
3.1.2	<i>Aquífero costeiro de Icapuí</i>	27
3.2	Qualidade das águas subterrâneas	28
3.2.1	<i>Geoquímica das águas subterrâneas e suas origens</i>	28
3.2.1.1	<i>Hidrogeoquímica das águas subterrâneas</i>	29
3.2.2	<i>Isótopos Ambientais ($\delta^{18}O$)</i>	31
3.2.3	<i>Contaminação das águas subterrâneas e doenças veiculadas</i>	32
3.2.4	<i>Vulnerabilidade à poluição de aquíferos</i>	35
4	METODOLOGIA	37
4.1	Área de estudo	37
4.1.1	<i>Localização</i>	37
4.1.2	<i>Caracterização física de Icapuí</i>	37
4.1.2.1	<i>Geologia</i>	37
4.1.2.2	<i>Clima</i>	39
4.1.3	<i>Caracterização da biota de Icapuí</i>	40
4.1.4	<i>Aspectos socioeconômicos</i>	41
4.1.5	<i>Saúde</i>	43
4.2	Levantamento bibliográfico	44
4.3	Amostragem de Água	45

4.4	Procedimento analítico.....	46
4.4.1	<i>Descrição dos poços.....</i>	46
4.4.2	<i>Análise bacteriológica.....</i>	57
4.4.3	<i>Análise de compostos nitrogenados na água da subterrânea.....</i>	58
4.4.4	<i>Elementos maiores.....</i>	58
4.4.4.1	Balanço iônico.....	59
4.4.5	<i>Elementos traço.....</i>	60
4.4.6	<i>Isótopos.....</i>	60
4.5	Balanço hídrico.....	61
4.6	Vulnerabilidade.....	62
4.7	Matriz de Impactos Ambientais.....	63
4.8	Diagrama de Piper.....	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
5.1	Grupo coliformes.....	66
5.2	Compostos Nitrogenados.....	67
5.3	Doenças notificadas no município e no Estado do Ceará.....	71
5.4	Mortalidade infantil em Icapuí, Aracati e no Estado do Ceará.....	72
5.5	Valoração dos impactos causados pela exploração do aquífero de Icapuí....	74
5.6	Classificação da vulnerabilidade do aquífero de Icapuí.....	75
5.7	Cálculo do balanço hídrico no município de Icapuí.....	77
5.8	Parâmetros físico-químicos e elementos maiores.....	79
5.8.1	<i>pH.....</i>	79
5.8.2	<i>Sólidos Totais Dissolvidos.....</i>	80
5.8.3	<i>Classificação das águas pelos íons dominantes.....</i>	90
5.9	Isótopos Oxigênio-18 ($\delta^{18}\text{O}$).....	91
5.10	Elementos traço.....	93
6	CONCLUSÃO.....	97
	REFERÊNCIAS	99
	APÊNDICE A – RESUMO DO ARTIGO.....	106
	APÊNDICE B – CERTIFICAÇÃO DAS ANÁLISES.....	107
	APÊNDICE C – ACEITE DE ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO.....	108

1 INTRODUÇÃO

Mudanças ambientais perceptíveis visualmente e/ou por odores desagradáveis são amplamente divulgadas e estudadas nas escolas, universidades e com espaço nas mídias televisiva, escrita e outras. Contudo, algumas interações no meio ocorrem de forma não sensorial e com pouca informação/divulgação para a população.

Quando surgem agravos de saúde e/ou epidemias, por vezes, relacionadas com o local e oriunda do material geológico e seus processos naturais (COOK, 2013), leva-se toda a sociedade a perguntar e questionar a falta de conhecimento e a imprecisão nos diagnósticos das mesmas.

Doenças por meio de ingestão direta da água, ou indireta, consumindo vegetais e animais, pertencentes ao mesmo ambiente dessa água, nem sempre são de fácil diagnóstico. Alguns tipos de câncer, problemas neurológicos, intestinais, renais, hepáticos, podem estar associados ao local de morada do indivíduo ou de origem do alimento. Espécies químicas, mesmo em pequenas quantidades no meio, em partes por milhão/bilhão, são geralmente tóxicas sendo possuidoras de função biológica para o homem limitada ou inexistente, figurando nessa lista, conhecidos elementos traço como: mercúrio, chumbo, arsênio etc (CENTENO *et al.*, 2013).

O estudo da influência de fatores geológicos ambientais, geogênica ou antropogênica, na saúde dos seres vivos e a sua distribuição geográfica é área de pesquisa da Geologia Médica (SELINUS, 2006). Tal ciência tem tido maior divulgação e preocupação em escala global devido aos avanços na fiscalização e atuação de órgãos ambientais, assim como, empresas e indústrias também estão atentas e imbuídas em descobrir quem é o vilão para incidência de doenças ou eventos de saúde das mais diversas e que às vezes são classificadas como epidemias, ultrapassando fronteiras e causando conflito político.

Relação entre saúde e o meio onde o indivíduo vive vem desde filósofos pretéritos como Hipócrates (460-377 a.C); textos da medicina chinesa, como do período da Dinastia Song e Paracelsus (1493-1541). Elementos químicos como chumbo, prata, ouro e outros foram descritos com um potencial tóxico por povos antigos, o que se confirmou com estudos de arqueologistas contemporâneos e historiadores médicos em múmias e cadáveres pré-históricos (DAVIES *et al.*, 2013). Esta relação doenças e o ambiente são apresentadas e discutidas no Capítulo 2, intitulado, GEOLOGIA MÉDICA: A CIÊNCIA DA SAÚDE E DO MEIO AMBIENTE.

O ambiente natural contém teores de elementos químicos fundamentais para a vida como, ferro, iodo, cálcio, magnésio, zinco e outros, nas rochas e solos que ao entrar em contato com as águas, superficiais e subterrâneas, influenciam na vida de uma população, por meio da ingestão hídrica, da agricultura, pecuária e lazer. A quantidade e a especiação química destes elementos definem níveis tóxicos ou de deficiência em escala local e até regional. O uso da água subterrânea, seus níveis toleráveis para a ingestão humana e as espécies químicas na sua composição estão apresentadas e discutidas no Capítulo 3, ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.

A descrição do local de estudo com seus poços catalogados, tipos e períodos de coletas das águas, instrumentos de campo, análises laboratoriais e demais ferramentas metodológicas aparecem contidas no Capítulo 4, METODOLOGIA.

Os resultados e discussões com dados primários, obtidos por técnicas de campo e laboratoriais, e com dados secundários, por meio de visitas físicas e eletrônicas a órgãos estatais, estão descritos no Capítulo 5, RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Após as conclusões, Capítulo 6, seguem as referências e os apêndices, com a certificação das análises e dois aceites de artigos produtos dessa tese.

1.1 Justificativa

Cerca de 0,6% do abastecimento total de água do mundo, tem como fonte bruta as águas subterrâneas (BAIRD; CANN, 2011). Por apresentarem melhor qualidade, comparada à água superficial, e por ser de baixo custo, têm-se utilizado para uma política de exploração desse recurso hídrico. Algo em torno de 1,5 bilhão de pessoas no planeta usa para o consumo primário a água subterrânea, inclusive na América do Sul (BOCANEGRA, 2010).

O município de Icapuí e a sua importância ambiental para o Ceará, visto que foi classificado nos estudos realizados durante o Zoneamento Econômico-Ecológico Costeiro do Estado do Ceará como pólo de interesse ecológico, deve ter pelos gestores locais um cuidado com a extração do recurso hídrico, pois a extração excessiva e concentrada pode acarretar num futuro próximo problemas graves como: a intrusão salina, a subsidência do solo e o rebaixamento do nível freático (ALIEVI, 2012).

Outra atividade econômica em Icapuí, a agricultura, principalmente a produção de caju, côco-da-Bahia, cana-de-açúcar, mandioca, milho, feijão e aspargo, que dependem de fertilizantes sintéticos para um maior rendimento, podem estar afetando a qualidade dessa

água. Sabe-se que o custo ambiental vem na forma desequilibrada do ciclo do nitrogênio, contrabalanceando fatores bióticos e abióticos que, nem sempre, o ambiente está apto a assimilar. Este excedente pode ser carregado por lixiviação para os mananciais próximos ao cultivo, como rios, lagos, lagoas, aquíferos. Provocando eutrofização, comprometendo a sua qualidade hídrica (BRAGA *et al.*, 2005).

1.2 Problemática

Contando com uma população que se aproxima dos 20 mil habitantes e com mais de 5.200 residências permanentes, o município de Icapuí, tem na ausência de uma rede coletora de esgotos, um problema pontual que se destaca. Enquanto a oferta de serviços de abastecimento de água pela rede geral de distribuição alcança 82% das residências do município, apenas 3,7% das habitações, possuem ligação a uma rede de esgotos e/ou de drenagem pluvial. As outras 96,3% das residências, tem o serviço realizado por fossa séptica (IBGE, 2010).

Araújo e Pinese (2013) observaram que dados anômalos hidrogeológicos podem ser correlacionados com algumas endemias na população que se serve desta água. O Ministério da Saúde do Brasil (2014) registrou para Icapuí, no período de 2001 a 2012, trinta e um (31) casos por hepatite viral, doença que tem a forma de veiculação por meio hídrico.

1.3 Hipótese

O não tratamento, e nem captação, adequado dos efluentes do município, sejam eles domésticos, industriais, comerciais ou hospitalares podem ser causadores de poluição na água subterrânea e por via indireta, pode causar algumas enfermidades nos munícipes, doenças do tipo: dermatológicos, gastrointestinais e outras.

1.4 Objetivos

Estudar sob o aspecto hidroquímico e ambiental o aquífero costeiro do município de Icapuí-CE.

Objetivos específicos do trabalho:

1. Avaliar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos (coliformes totais e *Escherichia coli*) do aquífero costeiro, quanto ao uso da água para o consumo humano, nos períodos de chuva e estiagem;
2. Detectar a interação, ou não, do aquífero com outros mananciais por meio de traçadores hidrogeológicos ($\delta^{18}\text{O}$);
3. Identificar as fontes de contaminação do aquífero por meio de medidas de elementos traços e nutrientes (nitrogênio nas formas: amônia N-NH_3 , nitrito N-NO_2^- , nitrato N-NO_3^-);

2 GEOLOGIA MÉDICA: A CIÊNCIA DA SAÚDE E DO MEIO AMBIENTE

Interpretar problemas de saúde coletiva e ambientais de forma integrada, atendendo aos anseios de uma sociedade cada vez mais complexa, economicamente e socialmente, e com múltiplos meios e usos de novos materiais e substâncias, espera-se para tal análise um olhar multidimensional e que, encontra, ainda nos dias de hoje, como fator limitante, a formação disciplinar da maioria dos cientistas.

Responder a questões envolvendo endemias e sua origem que, quase sempre, necessitam de uma abordagem holística, se faz pertinente agregar dados de pesquisas e pesquisadores nas diversas áreas do conhecimento como: Geologia, Geoquímica, Geografia da Saúde, Química Ambiental, Biologia, Medicina, Medicina Veterinária, Odontologia e tantas outras.

Hipócrates (460-370 a.C), médico grego do Período Clássico, já associava o local aos agravos de saúde e o fator ambiental afetando a distribuição das doenças. Principalmente em sua obra, *Dos Ares, das Águas e dos Lugares*.

[...] quem quiser investigar medicina corretamente, deve proceder assim... Nós devemos considerar, também, as qualidades das águas pois, como elas diferem umas das outras em sabor e peso, também assim elas o fazem, e muito, em suas qualidades [...] (Davies *et al.*, 2013, p.2)

Selinus (2006) define Geologia Médica como “a ciência que estuda a influência de fatores geológicos ambientais relacionados à distribuição geográfica das doenças humanas e dos animais”. O mesmo autor complementa a conceituação com o seguinte “[...] e visa entender a influência de fatores ambientais ordinários na distribuição geográfica de tais problemas de saúde”. Neste conceito de Geologia Médica, Capitani (2006), considera que a palavra “fator” e a expressão “problemas de saúde” nessa definição nos levam a relação de “causa e efeito”, que por sua vez, na área da saúde, leva ao termo “epidemiologia”, ou seja, inclui a disciplina de Epidemiologia no conceito de Geologia Médica.

Nielsen e Jensen (2013) conceituam Epidemiologia Ambiental como sendo destinada a “estudar as associações entre exposição ambiental e a ocorrência de doenças de uma população”. Poucas serão as situações em que uma exposição específica será a causa da doença encontrada, o mais comum é ter exposições a produtos químicos diversos causando a mesma doença ou agravando uma doença pré-existente.

Estas exposições são ainda mais agravadas por fatores sociais, econômicos e demográficos, tais como, formas de moradia sem a estrutura de saneamento básico e próximo a depósitos de lixo, adensamento populacional, que é uma problemática até mesmo em bairros com a presença de ações do poder público, inexistência em algumas localidades de uma medicina preventiva, população sem consciência ambiental por não ter acesso à educação de qualidade e outros.

2.1 Doenças associadas ao meio

A percepção da relação entre o ambiente e a saúde não vem de agora, textos da Medicina Chinesa, datados do terceiro século a.C., cita casos de envenenamento por chumbo presente na rocha do local. Assim como relatos de bócio, doença causada por deficiência de iodo na dieta alimentar, nos ancestrais chineses, gregos, egípcios e também nos incas (DAVIES *et al.*, 2013; SELINUS, 2006).

A falta de conhecimento da toxicidade de espécies químicas e, em alguns casos, da sua ocorrência, foi percebida pela humanidade com o passar dos tempos. Camponeses antigos tinham o costume de ingerir solo, conhecido como geofagia. Outro exemplo de ingestão de elementos do solo por falta de sabedoria foi relacionado com o perfil psicológico, não tão convencional, de imperadores romanos (50-250 a.C). Acredita-se que eles, assim como a aristocracia romana, sofriam de doenças causadas por envenenamento pelo chumbo, trazendo-lhes distúrbios mentais e esterilidade, por exemplo. O elemento químico citado estava presente na forma de sal, para preservar frutas e verduras, e também era inserido no vinho, com o intuito de parar um futuro processo de fermentação, além de acrescentar cor e sabor a bebida (DAVIES *et al.*, 2013).

O uso medicinal de espécies químicas que hoje são conhecidamente tóxicas era comum, pois desde o período de Aristóteles, que se preparam medicamentos derivados do solo, como meio de obter cura de doenças (SELINUS, 2006). O mercúrio, para os romanos, tinha aplicabilidade para aliviar as dores de dente das crianças e, mesmo conhecendo sua toxicidade, continuou sendo utilizado no século XVI no tratamento contra sífilis. Arsênio, por sua vez, em pequenas doses, tinha para gregos, romanos e árabes, utilização com o fim de melhorar a aparência da pele do rosto, embora já conhecessem a capacidade de envenenamento em dosagens maiores do elemento.

Doença em animais, associada ao meio, também foi notada por Marco Polo

(1254-1324) em viagem pelo território chinês, no ano de 1270, na província de Suchau, onde ele percebeu que certa erva do local causava queda dos pelos dos cavalos, o mesmo não acontecia com os animais do local já que estes evitavam comê-la, tal envenenamento é conhecido hoje por acúmulo de selênio nos vegetais (DAVIES *et al.*, 2013).

Relatos associados a doenças de animais na Noruega, principalmente vinculados a osteomalácia, enfraquecimento e desmineralização de ossos maduros, cuja solução do problema, durante centenas de anos não percebido pelos camponeses, estava na pastagem, devido a pobreza de fosfato no solo. Após a descoberta, os fazendeiros deixaram de acrescentar ossos triturados na alimentação animal para colocar fertilizantes fosfatados no solo.

Emissões vulcânicas podem levar as pessoas a sofrerem efeitos fisiopatológicos, associados ao modo de dispersão (emissão gasosa durante e após a erupção; fluxos de lavas; desgaseificação; lixiviação das cinzas; pluma de dispersão das cinzas), formas de prejuízo (irritação; asfixia; mucos; pele etc.), efeitos sistêmicos agudo (respiratório, como pneumonite; neurológico, como enxaqueca; dermatológico, como irritação na pele etc.), e efeitos sistêmicos crônicos ou recorrentes (respiratório, como silicose crônica; neurológico, como neurotoxicidade). Isso devidamente associado ao agente tóxico e sua forma ativa, como exemplo o mercúrio na forma de vapor, que durante a erupção o gás emitido, irritante, provoca efeitos nos sistemas respiratório (bronquite, pneumonite, edema pulmonar) e neurológico (intoxicação por mercúrio crônica ou aguda) (WEINSTEIN *et al.*, 2013).

2.2 Breve histórico da Geologia Médica

Geomedicina ou Geologia Médica está relacionada com elementos traço desde o início, despontando, como ciência nova, nas últimas décadas. Nos anos 1960, o tema ganhava espaço nos encontros acadêmicos, sendo o primeiro evento organizado em 1967 (Primeira Conferência Anual sobre Substâncias Traço na Saúde Ambiental) (DAVIES *et al.*, 2013).

Em 1972, ocorre um simpósio na extinta Alemanha Ocidental e na sequência a Sociedade para Geoquímica Ambiental e Saúde é oficializada. Países do norte da Europa e os Estados Unidos desenvolvem nesse período, nas décadas 1960-1970, pesquisas na sua maioria buscando compreender as funções dos elementos traço no ambiente e os efeitos deles na saúde (DAVIES *et al.*, 2013).

Vários encontros aconteceram com o patrocínio das escolas britânicas no final dos

anos 1970 até que, em 1985, o Primeiro Simpósio Internacional sobre Geoquímica e Saúde, em Londres, e no mesmo ano, saiu a primeira edição da revista científica específica da área, intitulada “Minerals and the Environment”, hoje “Environmental Geochemistry and Health” (DAVIES *et al.*, 2013).

Não só de pesquisadores Europeus, principalmente Noruegueses, ou estadunidenses são contadas as experiências em Geologia Médica. Na África crescem pesquisas com forte relação entre ambiente e suas variações local e regional e, doenças como, bócio, cretinismo, fluoroses e diversos tipos de câncer.

Em Nairobi, no ano de 1999, ocorreu o primeiro *workshop* sobre o tema, que reuniu 60 cientistas interdisciplinares (DAVIES *et al.*, 2013).

Na China, além de possuir uma história antiga em Geologia Médica, como já citado por dinastias do terceiro século antes de Cristo, no século XX e no atual tem-se destaque as pesquisas relacionando a deficiência de selênio e iodo com doenças dos ossos (Kashin Beck), deficiência de selênio com doenças do coração - miocardiopatia (Keshan), além dos conhecidos bócio (dieta com deficiência de iodo) e fluorose (excesso de flúor) endêmicos (SELINUS, 2006).

Por ser uma ciência interdisciplinar, sua abordagem holística revela questões/problemas onde são envolvidos de forma integrada conhecimentos das Ciências da Terra e Ciências da Saúde, e que torna fundamental a formação de uma equipe de pesquisadores multidisciplinares (SELINUS, 2006).

Para tal propósito, em 1996, um grupo de pesquisadores ligados a *International Union of Geological Sciences*, tendo como meta principal a conscientização entre cientistas, médicos e outros para esta correlação entre fatores ambientais e bem-estar e saúde, iniciaram atividades para melhorar a cooperação e comunicação entre pesquisadores no mundo e, em 1997, o termo Geologia Médica foi adotado. Na sequência foi criado em janeiro de 2006 a IMGA (*International Medical Geology Association*) (SELINUS, 2006).

2.3 Geologia Médica no Brasil

No Brasil, tais estudos integrados se davam pela Geografia Médica, um braço da disciplina Geografia, que estudava a distribuição espacial das doenças ou das patologias com um olhar próprio.

A posterior foi acrescentada a ela, outra ciência, a Geomedicina, que era um ramo

da medicina que estudava a influência do meio sobre a saúde, tal ramo da Medicina, na época, tinha as doenças de regiões tropicais, principalmente as infectocontagiosas, como objeto predominante e a sua localização, usando de mapas como ferramenta, porém, sem relacionar os fatores geológicos (SILVA *et al*, 2006).

Na contramão dessa corrente, na década de 1950, a antiga Fundação Manguinhos, atual FIOCRUZ, iniciou a análise da relação causa-efeito, geografia/geologia de uma região e evento e/ou prevalência de doenças. Casos de bócio em áreas mais centrais do Brasil, em detrimento ao litoral, foram bastante evidenciados. Com o passar dos anos, aumentaram os estudos no Brasil, que relacionavam causas, naturais ou antrópicas, tendo como efeito, doenças e epidemias em populações locais. Novos casos surgiram com essa relação, como fluorose dentária, por excesso de flúor na água e, também, envenenamento por excesso de metais tóxicos na água (SELINUS, 2006).

Com o crescimento do número de pesquisadores e universidades interessados na área de Geologia Médica (ainda é uma atividade inovadora e desconhecida no Brasil), criou-se a Rede de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica – REGAGEM, em 2002, que na sequência o grupo trabalhou para conceber o Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica – PGAGEM tendo como sítio www.cprm.gov.br.

Os membros da REGAGEM têm realizado inúmeras atividades de divulgação científica. Universidades como, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP e a Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC/GO, incluíram em seus programas de pós-graduação alguns conteúdos de Geologia Médica e espera-se, num futuro próximo, a presença da nova disciplina, também, nos cursos de graduação e pós-graduação das Ciências da Saúde, além da Geologia. Após a criação da REGAGEM, tem-se aumento no número de pesquisadores no setor, visto que, em 2000, o quantitativo não chegava a uma dezena (SILVA *et al*, 2006). e, atualmente, devam estar atuando na área de Geologia Médica, em torno de 230 pesquisadores no Brasil (CPRM, 2018)

3. ÁGUA SUBTERRÂNEA

A água subterrânea forma-se quando a água da chuva se infiltra no solo e em outros materiais superficiais não consolidados. No entanto, a denominação de água subterrânea para a Hidrologia é geralmente atribuída à água que circula na zona saturada. Nesta zona todos os vazios existentes estão preenchidos por água. Na sua parte superior, ou seja, no topo, encontra-se a franja capilar, onde a água preenche todos os poros, mas está presa à rocha pelo efeito da capilaridade.

Na zona não saturada (zona vadosa ou zona de aeração), onde os poros são parcialmente preenchidos por gases e água, encontra-se o lençol freático, onde parte desta água é utilizada nos processos biológicos, como as raízes das plantas para as funções de transpiração e nutrição, outra quantidade evapora e retorna para a atmosfera e, por gravidade, o excedente se move de forma descendente (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

Quanto maior a porosidade da rocha, maior a sua capacidade de armazenar água (Tabela 1), porosidade está relacionada ao número de vazios num volume total e, além do diâmetro das partículas, também está relacionada à variação granulométrica, sendo preferível a uniformidade dos grãos.

Tabela 1 – Porosidade total nos sedimentos e rochas sedimentares

Sedimentos	Diâmetro da partícula (mm)	Porosidade total dos sedimentos (%)	Rochas sedimentares	Porosidade total das rochas (%)
Cascalho	>2,0	24-38	Arenito	5-30
Areia grossa	0,2-2,0	31-46	Siltito	21-41
Areia fina	0,02-0,2	26-53	Calcário/Dolomito	0-40
Silte	0,002-0,02	34-61	Calcário cárstico	0-40
Argila	<0,002	34-60	Folhelho	0-10

Fonte: CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983.

O fluir da água subterrânea está diretamente relacionado à permeabilidade do meio, esta propriedade indica a facilidade da fluidez da água através da rocha, depende de fatores como o tamanho e o volume dos poros interconectados, da distribuição e da variação do tamanho dos grãos. A transmissão de água aumenta com a interconexão entre os poros devido à homogeneidade dos fatores anteriormente citados.

Nem sempre elevada porosidade e alta capacidade de armazenamento de água indica capacidade de uso, por exemplo, argilito, possui elevada porosidade (35-60%), mas é pouco permeável, inviabilizando a exploração da reserva mineral.

Dependendo da formação geológica podemos ter: aquífero, aquíclode, aquícardo e aquífugo.

Aquífero é uma formação geológica que permite a circulação de água através de seus poros ou fissuras, permitindo o uso desta água pelo homem, em quantidades econômicas significativas para satisfazer as suas necessidades (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

Aquíclode é o contrário do aquífero, possui água, podendo até ser em grandes quantidades, mas a sua exploração é inviável por não ter transmissão em condições naturais. Como exemplos, lodo e lamas (geralmente camadas de argila). Destoando dos aquíferos que possuem, geralmente, camadas de areias, cascalhos e arenitos.

No aquícardo sua formação geológica lembra uma membrana semipermeável, tornando lenta a transmissão da água, podendo atuar como depósito, sem retenção, para o aquífero. Argilas siltosas ou arenosas podem ter tal comportamento. Já o aquífugo, nem armazena nem transmite água. Exemplo, maciço granítico não alterado.

A descarga da água subterrânea nas águas de superfície é conhecida como escoamento básico, permitindo que o nível da água nos lagos e rios não diminuam na estiagem.

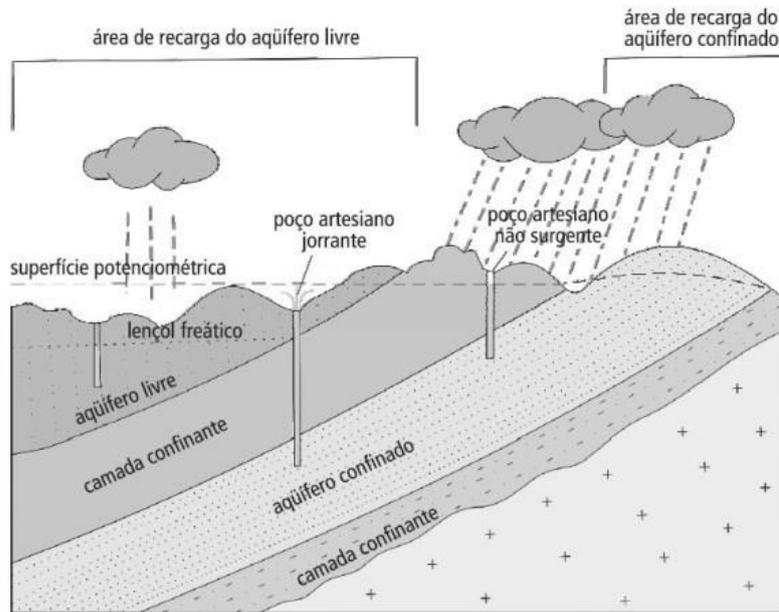
3.1 Tipos de aquíferos

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com a pressão hidrostática da água nas suas superfícies, em: confinados, drenantes ou não drenantes e livres (Figura 1).

Aquíferos confinados são aqueles em que a sua água está sob pressão maior do que a atmosférica. Aquíferos confinados não drenantes: possuem camadas limítrofes totalmente impermeáveis, não permitindo, assim, que haja fluxo entre as diferentes camadas. Aquíferos confinados drenantes: possuem, pelo menos uma das camadas confinantes semipermeáveis, permitindo a existência de fluxo entre as diferentes camadas. Este fluxo é nomeado de drenança, podendo ser ascendente ou descendente.

Aquíferos livres ocorrem próximo à superfície topográfica, tendo como limite superior a superfície freática, e a pressão pontual neste limite é igual à pressão atmosférica. Assim como os aquíferos confinados, podem ser drenantes ou não drenantes.

Figura 1 – Aquífero livre e aquífero confinado



Fonte: CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983.

3.1.1 Aquífero costeiro

A distribuição de um aquífero, em um sistema geológico, é controlada por fatores como: composição mineral (litologia); relações geométricas e cronológicas entre seus constituintes (estratigrafia) e características geométricas como produto de deformações (estrutura) (MANOEL FILHO, 2008a).

Em aquíferos costeiros, onde predominam sedimentos inconsolidados associados ao transporte de areias eólicas que se caracterizam pela ausência de siltes e argilas, tem-se favorecido, em escala local e até regional, uma granulometria e textura homogênea dos sedimentos. Sendo de permeabilidade moderável (10^{-4} a 10^{-6} m/s) e porosidade entre 30 % a 45 %, formando aquíferos em locais com espessura suficiente.

Estudos relacionando água doce com água salgada vêm desde o final do século XIX e tem ganhado força ultimamente devido ao crescimento demográfico na zona costeira, levando assim a grande demanda por exploração de águas subterrâneas.

Controlar a intrusão marinha no aquífero costeiro é objeto de pesquisas no mundo, utilizar o recurso mineral sem contaminar o aquífero com água do mar, atraindo a cunha salina, se dá pela compreensão desta zona de transição (mistura entre água doce e salgada). O bombeamento deve ser controlado levando em conta o cone de rebaixamento, visto que a

interfase marinha varia com as flutuações do nível do aquífero, amplitude da maré, pluviometria e outros.

Essas interações entre cátions e ânions presentes nos dois ambientes, marinho e costeiro, podem ser avaliados pelas razões entre concentrações, em meq.L⁻¹, de íons como: [Mg²⁺] / [Ca²⁺]; [K⁺] / [Na⁺]; [Cl⁻] / [CO₃H⁻]; [Br⁻] / [Cl⁻]; ICB (Índice de Cambio de Bases) e outros (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

3.1.2. Aquífero costeiro de Icapuí

O aquífero de Icapuí pertence à Bacia hidrográfica do Atlântico Sul-N/NE na Sub-bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, com 68 poços cadastrados na base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS. Destes, apenas 35 estão ativos, de acordo com o mesmo órgão (CPRM, 2014).

O fluxo subterrâneo do local é regulado pelas lagoas, laguna, banco de algas e estuários e se encontram dispostas ao longo da planície. Lagos interdunares, observados no campo de dunas e, lagoas costeiras, formadas entre sulcos e cavas dos cordões litorâneos nos terraços marinhos holocênicos, sofrem variação de nível d'água sazonal, períodos de chuva e estiagem.

Meireles e Santos (2012) afirmam a tendência de as lagoas sobre os terraços marinhos serem salobras, provavelmente por conexão com a cunha salina e, por observarem dados morfológicos como: proveniência de sedimentos das falésias, hidrodinâmica relacionada com a aportação de água doce do aquífero (nascentes e olhos d'água dos “morros” entre Ibicuitaba e a Serra da Mutamba) e os eventos de mudanças do nível do mar.

3.2 Qualidade das águas subterrâneas

3.2.1 Geoquímica das águas subterrâneas e suas origens

A relação entre a composição química da água com os processos e reações no ambiente de subsuperfície é objeto de estudo da Hidrogeoquímica. A sua composição está diretamente dependente da rocha por qual percola, logo, conhecer as interações água/rocha por meio dos processos físico-químicos e biológicos, adicionando a isso a hidrogeologia, o

clima e as fontes de poluição, permite determinar a qualidade da água e o uso adequado da mesma (MESTRINHO, 2008).

A origem das águas subterrâneas apresenta-se como: água meteórica, águas juvenis e águas fósseis. O que se observa, de modo geral, é a dependência das reservas subterrâneas com a pluviometria, fluxo de água superficial e a capacidade de permeabilidade da zona insaturada. Porém, nem só de águas meteóricas pode-se relacionar ao ciclo geológico ou de formação das rochas.

As maiorias das águas de sub-superfície são de origem meteórica, provavelmente originadas por meio de infiltração lenta, onde percola pelos horizontes do solo e sofre alterações nas suas características físicas e químicas devido às condições que irá encontrar como o tipo de rocha-mãe e o clima. Por exemplo, a acidez da água da chuva, relacionada com o gás carbônico contido nela, irá dissolver os ácidos húmicos e formas de carbono anidro no solo, gerando um resíduo ácido que irá solubilizar os constituintes deste solo e gerar um líquido insolúvel no horizonte B. Concomitante, o oxigênio dissolvido será consumido parcialmente ou totalmente pela matéria orgânica, podendo promover um ambiente redutor e permitir a solubilização de um constituinte químico como o ferro (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

As águas juvenis são formadas por eventos magmáticos, como o vulcanismo, e são bem menos abundantes que as originadas pela chuva. As condições de altas temperaturas e pressão e características químicas e físico-químicas próximas à das águas minerais, são traços que as identificam. Suas origens são: vulcânica, formada durante a fase final da atividade vulcânica próximo da extinção, tem na sua composição, a partir dos vapores de água exalados, os gases CO_2 , N_2 , H_2S , HCl , HF e SO_2 ; magmática, formada durante a formação dos cristais a partir do magma, presença de elementos como: F, Cl, S e B; mista, mistura entre a água juvenil e a meteórica por meio de um veio hidrotermal ou outro evento magmático; Reações químicas, ocorrem na crosta terrestre formando água.

Águas antigas, presas entre sedimentos e a uma profundidade maior que 1000 metros, são considerados fósseis. Possuem uma composição totalmente diferente da original devido ao grande tempo de contato com os minerais.

3.2.1.1 Hidrogeoquímica das águas subterrâneas

Compreender este sistema constituído de água, minerais, microrganismos e gases, seus processos físicos, químicos e bioquímicos, além da associação entre processos naturais e aos problemas de contaminação, torna essa área de estudo, fundamental para outras ciências.

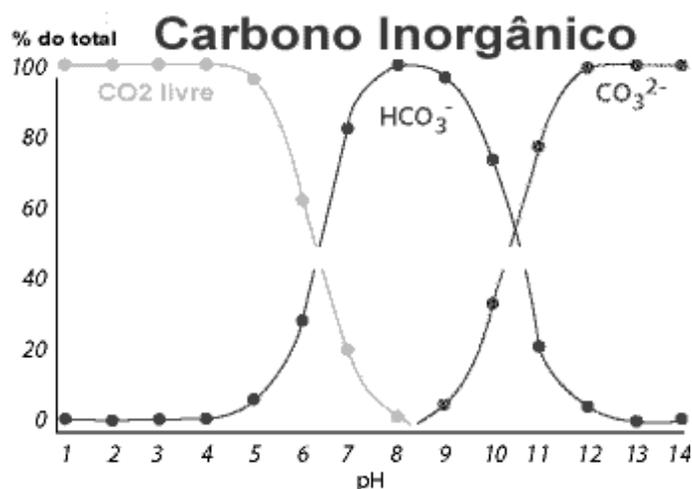
Os principais processos são: dissolução de gases; reação do tipo ácido-base; sorção e troca iônica; dissolução/precipitação de minerais; processos redox e processos biológicos (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

Gases como CO_2 e O_2 são importantes para o estudo do efeito da solubilidade na água e a sua qualidade. O teor de gás oxigênio dissolvido (OD) na água subterrânea geralmente é baixo, e isso se dá pelo consumo dos microrganismos terrestres e reações de oxidação de minerais de Fe, S e Mn. A ausência do oxigênio gasoso favorece a um ambiente anaeróbico favorável a produzir CO_2 , Fe (II), sulfetos ou metano, dando um gosto nada agradável à água (MESTRINHO, 2008).

O gás carbônico, entretanto, apresenta baixa concentração na chuva meteórica, sendo a sua contribuição principal para a água por meio de reações químicas e biológicas no solo, principalmente nos primeiros 20 cm do solo onde há abundância de matéria orgânica e microrganismos, dissolução de carbonatos presentes nos sedimentos e em águas juvenis.

A variação no pH das águas naturais (5-9), se dá pelo efeito tampão consequente do equilíbrio químico entre o dióxido de carbono e os íons bicarbonato e carbonato. Logo abaixo (Figura 2) se observa a prevalência do íon bicarbonato na faixa de pH normal para a maioria das águas.

Figura 2 – Distribuição das espécies químicas CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} na água em função do pH.



Fonte: ESTEVES, 1998.

As reações do tipo ácido-base são significativas na água para o registro do pH. Meio ácido, ou seja, águas cujas medidas de pH foram menores do que sete, tendem a exercer um ataque mais efetivo aos minerais tornando os elementos químicos presentes com maior mobilidade, o efeito contrário ocorre em águas básicas, onde, por exemplo, a imobilização de metais por hidróxidos ocorre (MESTRINHO, 2008).

Altos teores de matéria orgânica e de minerais argilosos na zona não saturada oportunizam reações envolvendo estruturas complexas. Tais complexos são formados na água devido à presença de substâncias húmicas, que são fortes agentes complexantes, e outros inorgânicos, SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- e OH^- , que possuem afinidade com cátions como Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} e com metais tóxicos como Cd, Pb, Hg etc.

Forças eletrostáticas entre espécies químicas presentes na água e nos minerais e orgânicos são responsáveis pelos fenômenos de sorção, absorção e adsorção, existentes no meio aquático. No caso das trocas por adsorção, que se dão na superfície do mineral, onde a substituição, mantendo a estequiometria, ocorre geralmente entre o íon contido na água por outro de mesmo sinal de valência presente no mineral. Minerais de argila ou óxi-hidróxidos de ferro e alumínio, e espécies orgânicas como húmus, atuam como colóides e possuem excesso de carga superficial negativa. De forma contrária, outras argilas atraem ânions.

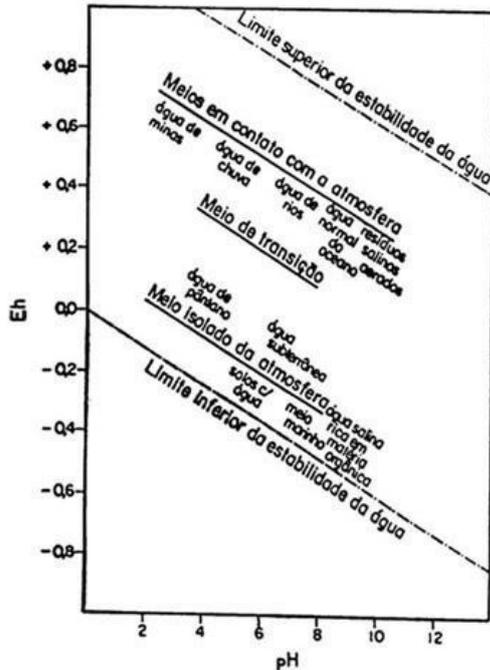
A ocorrência de precipitação em águas subterrâneas está geralmente associada à evaporação, casos de climas secos, ou durante a mistura de águas de outras origens. Outra forma se dá pela saturação da solução e/ou mudanças de Eh e pH do meio, alteram o produto de solubilidade (K_s), levando a precipitação de espécies metálicas, por exemplo. O índice de saturação é bastante utilizado para aquíferos, considerando na fórmula para cálculo o produto de solubilidade (MESTRINHO, 2008).

A solubilidade e a mobilidade das espécies químicas são monitoradas por meio das reações redox, um ambiente oxidante ou redutor, determinado com medidas de Eh e pH, permite determinar qual a forma livre daquela espécie se encontra no ambiente aquático. O diagrama de Eh-pH (Figura 3) permite determinar quais formas estáveis de certa espécie naquelas condições. Variações de pluviosidade de uma região, períodos de chuva e seca, alteram as condições oxidantes e redutoras no nível freático (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

Espécies químicas das mais diversas podem ser retiradas e/ou liberadas para a água por serem usadas no processo metabólico de microrganismos. O exemplo mais citado, para reações em ambiente oxidante, é do carbono orgânico, que é utilizado em reações de biodegradação, tem como produto, gás carbônico e água ou, biotransformação, em ambientes

redutores, tendo como produtos espécies reduzidas, como N_2 , $Fe(II)$, HS^- , CH_4 . Fatores como presença ou não de oxigênio, profundidade, presença de nutrientes (carbono orgânico, nitrogênio-amoniaco, fosfatos, nitratos e sulfatos), pH, Eh, tipos de sais, temperatura e permeabilidade do aquífero, irão definir a atividade microbiana.

Figura 3 – Diagrama de Eh-pH com os limites de estabilidade da água e ambientes naturais, em função do Eh e pH.



Fonte: GARRELS; CHRIST, 1965

3.2.2 Isótopos Ambientais ($\delta^{18}O$)

Isótopos naturais estáveis, como o oxigênio-18, são excelentes marcadores ou traçadores por ser parte integrante da composição da água e não apenas a acompanha (SANTIAGO *et al.*, 2008), além disso, encontram-se em quantidades abundantes facilitando a sua aplicação no estudo do ciclo hidrológico.

As medidas de ^{18}O , por meio de técnicas nucleares, são feitas em relação ao padrão VSMOW (Viena SMOW: Standard Mean Ocean Water), fornecido pela Agência Internacional de Energia Atômica em Viena/Áustria e expressas em valor de δ ‰ (delta por mil).

$$\delta \text{ ‰} = [(R-R_0) / R_0] \times 10^3 \quad (1)$$

onde:

R é a razão isotópica ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) entre o isótopo pesado ^{18}O e o mais abundante ^{16}O na Amostra; e R_0 : é a razão isotópica ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) do padrão.

As concentrações de ^{18}O podem ser influenciadas por efeitos de (a): Temperatura: vapor leve pobre em ^{18}O é observado em regiões frias; Continente, o vapor gerado apresenta um δ , ligeiramente, negativo, diminuindo ao passo que adentra no continente, causando uma perda de isótopos pesados nas águas das chuvas; Evaporação, zonas com maior exposição aos raios solares favoráveis a perda de elementos mais leves na forma vapor e tornando a água permanente rica em ^{18}O ; Altitude: A topografia elevada leva a diminuição da temperatura fazendo com que as chuvas sejam mais leves do que em regiões mais baixas; Quantidade: Períodos de chuvas mais longos proporcionam uma água mais empobrecida em isótopos pesados, devida o ^{18}O estar presentes nas primeiras chuvas (Santiago *et al.*, 2008).

3.2.3 Contaminação das águas subterrâneas e doenças veiculadas

Fossas sépticas, aplicação de fertilizantes e pesticidas no solo, aterros sanitários, mineração, intrusão marinha e outros, são algumas das formas de contaminação das águas subsuperficiais e que podem atingir o aquífero de forma direta ou indireta.

Um exemplo de contaminação direta é por meio de poços abandonados ou com deficiência construtiva e, de forma indireta, após diluição do contaminante durante a percolação no meio, além de sofrer mudanças físicas, químicas e biológicas durante o trajeto (MANOEL FILHO, 2008b).

O solo como barreira de contaminação justifica o uso deste tipo de reserva hídrica quando comparado às águas de superfície, que não possuem um protetor natural. Porém, uma vez contaminado, torna muito mais oneroso a remediação e, não muito incomum, a sua inutilização.

Os contaminantes, inorgânicos (metais, flúor, selênio, nitratos, radionuclídeos etc), orgânicos (organometálicos, derivados de petróleo, pesticidas, agriquímicos etc) ou biológicos (bactérias e vírus) (Quadro 1), estão presentes no meio, oriundos não só de atividades antrópicas, mas também, como no caso do flúor, arsênio, fósforo e selênio, como constituintes tóxicos naturais.

Quadro 1 – Doenças causadas por micro-organismos frequentemente relacionadas à ingestão de água contaminada

Micro-organismo	Doenças
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifoide
<i>Escherichia coli</i> e outros tipos de <i>salmonella</i> , <i>proteus</i> , <i>derby etc.</i>	Gastroenterite
Tipos enteropatógenicos de <i>Escherichia coli</i>	Diarréia infantil
<i>Leptospira sp.</i>	Leptospirose

Fonte: modificado de Santos, 2008.

O ambiente uma vez contaminado, ou a ausência natural de certos constituintes, pode trazer uma série de doenças associadas, que varia com a forma em que a espécie química se apresenta (valência, ligantes, teor de concentração etc).

Na dieta humana, dezesseis elementos são fundamentais para funções bioquímicas específicas, dentre estes estão os macronutrientes, necessários na nutrição em concentrações em partes por mil do elemento por massa corpórea, que são: cálcio, fósforo, magnésio, sódio, potássio e cloro, e os micronutrientes, necessários na nutrição em concentrações em partes por milhão ou bilhão do elemento por massa corpórea, caso do ferro, cobre, zinco, iodo, selênio, manganês, molibdênio, cromo, flúor e cobalto (ingestão humana na forma de vitamina B12) (COMBS JR, 2013).

Espécies químicas como chumbo e alumínio são geralmente tóxicas mesmo sendo possuidores de função biológica para o homem. Caso de excesso de íon nitrato em água pode causar, em recém-nascidos, a síndrome do bebê azul; e em adultos, pode ser responsável por causar câncer de estômago e, em mulheres, aumentar a probabilidade de câncer de mama. (AWWA, 1990; BOUCHARD *et al.*, 1992)

Espécies químicas usadas como suplementos em casos de debilitação humana, níquel, chumbo, arsênio, boro, vanádio e silício, apesar de essenciais, podem trazer danos à saúde humana quando ingeridos em excesso. Alguns são conhecidamente carcinogênicos, como: arsênio e seus compostos inorgânicos, cromo (VI), níquel e compostos, cádmio e compostos e o berílio e compostos (NORDBERG; CHERAIN, 2013).

Casos clássicos de doenças associadas a iodo e mercúrio são de conhecimento da humanidade. No caso do iodo, as doenças variam com a idade, vai desde o bócio, passando por hipotireoidismo até deficiência mental e psicomotora. Para o mercúrio, a sua forma mais tóxica é a orgânica, metil-mercúrio, que pode levar o indivíduo a problemas de desordem neurocomportamental, por exemplo e, no caso de crianças que tiveram contato com a espécie ainda no ventre da mãe, deficiência cognitiva. Outros agravos são citados abaixo (Quadro 2).

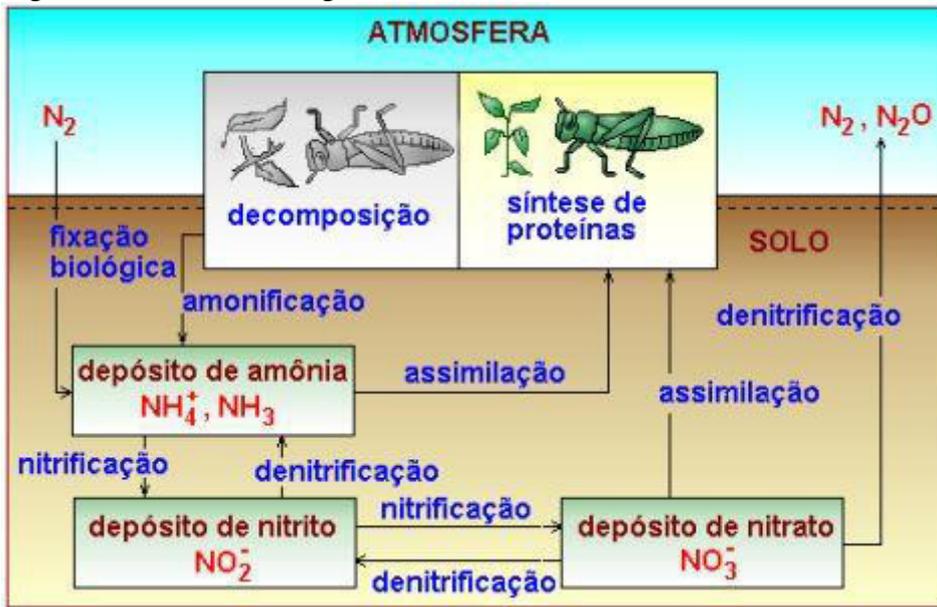
Quadro 2 – Algumas espécies químicas e as doenças conhecidas no homem, quando ingeridas em excesso.

Espécie química	Doenças
Cálcio	Formação de pedras nos rins; insuficiência renal; utilização comprometida de outros elementos como ferro, zinco, magnésio e fósforo; hipercalcemia.
Fósforo	Hiperfosfatemia que leva a hipocalcemia; desmineralização óssea; calcificação ectópica do rim.
Ferro	Doença cardíaca coronária
Zinco	Interfere no metabolismo do cobre, baixa a imunidade e reduz o colesterol HDL.
Cobre	Náusea; cirrose hepática; risco de ataque cardíaco.
Selênio	Cabelos e unhas quebradiços; erupção cutânea; parestesia; abatimento; diarreia.
Fluoreto	Fluorose no esmalte dentário e esquelética.
Cádmio	Itai-itai; disfunção tubular renal
Cobalto	Cardiomiopatia

Fonte: COMBS JR, 2013.

O íon nitrato, NO_3^- como poluente, pode ocorrer em aquíferos de zonas rurais e periferias urbanas. Sua origem (Figura 4) pode estar no uso de fertilizantes com nitrogênio aplicado no solo ou em plantações, inorgânicos ou de esterco animal; cultivo do solo; ausência de esgotamento sanitário proporcionando o carreamento do rejeito humano para o ambiente e, deposição atmosférica (BAIRD; CANN, 2011). Apesar de a indústria produzir herbicidas e pesticidas com menor tempo de vida útil, com processo de decomposição rápida no ambiente, porém, dependendo do tipo de solo e a sua capacidade de retenção de poluentes, pode haver a percolação do contaminante pelas camadas do subsolo, atingindo, ocasionalmente a água subterrânea na zona rural (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Figura 4 – Ciclo do nitrogênio



Fonte: INSTITUTO de BIOCÊNCIAS da USP, 2018.

3.2.4 Vulnerabilidade à poluição de aquíferos

Devido à dificuldade de remediação de uma água subterrânea contaminada, tem-se investido cada vez mais em estudos de vulnerabilidade de aquíferos, por meio de mapeamentos cartográficos utilizando ferramentas que avaliam os impactos negativos das atividades antrópicas já existentes e, a capacidade do terreno de suportar, ou não, futuros empreendimentos e usos.

Dentro das características a serem avaliadas por órgãos de gestão de recursos hídricos, além da sensibilidade a contaminantes antrópicos, características hidráulicas, também é levado em conta os aspectos socioeconômicos atuais e futuros, com possibilidades de mudanças por outras fontes, além do custo ambiental do uso do aquífero para a manutenção da vida no ambiente em que se encontra (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Foster e Hirata (1988) caracterizam a vulnerabilidade de um aquífero como dependente da interação das propriedades do material acima dele (zona não saturada e/ou aquítarde), a saber: acessibilidade hidráulica à penetração do contaminante atingindo a zona saturada e, capacidade de atenuação, por meio de dispersão, retardação e degradação, do contaminante nas camadas acima dele. Os mesmos autores sugerem uma classificação de vulnerabilidade absoluta de aquíferos por grupos de contaminantes (Quadro 3).

Quadro 3 – Classes de vulnerabilidade absoluta de aquíferos à contaminação

Classes de vulnerabilidade	Definição prática	Contaminantes
Extrema	Vulnerabilidade a muitos poluentes, incluindo os rapidamente degradáveis em muitos cenários de contaminação.	1,2,3,4,5
Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles muito pouco móveis e pouco persistentes.	2,3,4,5
Moderada	Vulnerável a alguns poluentes, e somente quando continuamente lançados.	3,4,5
Baixa	Somente vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançados.	4,5
Negligenciável	Não vulnerável, exceto em locais restritos que permitam o fluxo vertical (Ex: zonas de fraturas)	5

1. Pesticidas e catiônicos, metais pesados não associados à elevada carga orgânica ou em condições de pH e Eh extremados.
 2. Bactérias e vírus e compostos aromáticos.
 3. Hidrocarbonetos clorados e não-clorados.
 4. Sais e nitrato.
 5. Sais e nitrato quando hidraulicamente possível
- Fonte: copilado de Hirata e Fernandes (2008).

Para entender o comportamento dos contaminantes na subsuperfície, se faz uso de ferramentas da cartografia, apesar das limitações, como a falta de dados hidráulicos e de físico-química da água. Dos métodos conhecidos, o método GOD (G- *Groundwater hydraulic confinement*; O – *overlying strata*; D – *depth to groundwater table*) tem sido bastante utilizado devido a sua simplicidade de conceitos e aplicação.

G – confinamento do aquífero: confinado drenante, confinando não drenante ou livre;

O – natureza composicional da zona não saturada e/ou aquitardo e seu grau de faturamento;

D – profundidade do nível d'água ou da base da camada confinante do aquífero.

4. METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização

O município de Icapuí fica no extremo leste do estado do Ceará, entre as coordenadas geográficas longitudinais 039°30'W e 037°00'W e latitudes 05°00'S e 03°30'S, distante, em linha reta, 166 km da capital do Estado do Ceará, Fortaleza. Limítrofe ao norte e ao leste com o Oceano Atlântico, ao sul e oeste com o município de Aracati-CE e, com o Estado do Rio Grande do Norte, também ao sul (IPECE, 2014).

Seu território se estende ao longo de 64 km, com uma área de 423,4 km² e uma densidade demográfica de 43,43 hab/km², com um litoral de 40 km e, uma população estimada em 2013 de 19.129 habitantes. Sua emancipação se deu em 15 de janeiro de 1985, lei estadual de número 11003, sendo desmembrado do município de Aracati. Icapuí, Ibicuitaba e Manibu são os distritos que compõem o município desde a divisão territorial ocorrida em 18 de outubro de 1988 (IBGE, 2013).

O acesso via terrestre, para o município de Icapuí, com saída de Fortaleza, pode ser feito pela CE-040 até a cidade de Aracati e então pegar a BR-304 até a CE 261 (conhecido como triângulo). Outra via pode ser por meio da BR-116 até localidade conhecida como Boqueirão do Cesário (pertencente a Beberibe) e tomar a BR-304, passar por Aracati e entrar no acesso a Icapuí - CE-261.

4.1.2 Caracterização Física de Icapuí

4.1.2.1 Geologia

A geologia da costa do Ceará foi dividida em: Sedimentar Terciário/Quaternário (representado por clásticos continentais que cobrem discordantemente grande parte dos sedimentos mesozóicos, por exemplo, o Grupo Barreiras), cobertura Mesozóica/Paleozóica (representada por sedimentos clásticos e carbonáticos da parte emersa da Bacia Potiguar, pode-se citar a Formação Gangorra) e o embasamento Pré-Cambriano (corresponde a uma ampla região de dobramentos, chamada Nordeste Oriental, proveniente da evolução de uma

zona geossinclinal em mosaico, estabelecida no final do pré-cambriano, como o Maciço de Santa Quitéria) (FREIRE, 1985; FREIRE *et al.*, 2004).

Sobrepostas ao embasamento ocorrem rochas sedimentares atribuídas ao Grupo Barreiras, de idade de miocênica superior à pleistocênica, distribuem-se como uma faixa de largura variável (máximo de 30 km em direção ao interior) acompanhando a linha de costa e a retarguada dos sedimentos eólicos antigos e atuais. Litologicamente apresenta na sua formação sedimentos areno-argilosos, não ou pouco litificados, de cor avermelhada, creme ou amarela, muitas vezes de aspecto mosqueado. Sua granulação varia de fina a média.

Sobre os sedimentos da Formação Barreiras estão dunas com uma faixa de espessura variando em torno de 15 m, formadas por areias bem selecionadas, de granulação fina a média, por vezes siltosa, quartzosas e/ou quartzo-feldspáticas, com tons amarelados, alaranjados ou acinzentados. Geralmente são sedimentos inconsolidados, por tratar-se de uma geração mais antiga de dunas, apresenta desenvolvimento de processos pedogênicos, com a consequente fixação de vegetação de maior porte.

Em estudo litoestratigráfico da região feito por Sousa (2002), ao definir um cenário das ocorrências nas falésias costeiras de Icapuí e leste de Aracati, observou o domínio, nas falésias, de rochas siliciclásticas, na base e na parte superior, das formações: Barreiras (base), Potengi (topo) e, já em Aracati, Tibau (base). Com presença localizada, a oeste de Ponta Grossa, de carbonatos na base das falésias oriundos da Formação Jandaíra, unidade mais antiga.

Potengi – sucessão areno-quartzosa, com pouca argila, sem estrutura interna, com coloração amarelo-avermelhada, tornando-se mais escura em direção a costa. A variação de cor está associada ao processo de laterização.

Barreiras – arenitos médios a sílticos-argilosos, com coloração variando de amarelo, roxo e vermelho, em alguns casos mostrando bastante oxidada (óxido de ferro)

A planície costeira de Icapuí está inserida no bioma Caatinga, com complexos vegetacionais litorâneos específicos, amplamente representados pela mata de tabuleiro e ecossistema manguezal. Composta por dois sistemas fluviomarinhas, a saber: Barra Grande e Arrombado. Na Barra Grande, situado em frente da cidade de Icapuí, onde a atividade pesqueira se faz presente com o porto de barcos pesqueiros. Arrombado, mais ao leste da planície, atividade extrativista mineral, produção de sal, e carcinicultura, são diretamente notadas pelas diferentes formas de conservação do mangue (MEIRELES; SANTOS, 2012).

O Tabuleiro litorâneo é o relevo predominante do município e, quase sempre, encontra-se coberto por dunas antigas (Formação Potengi, segundo SOUSA, 2002). Seu limite interior marca o contato entre sedimentos tipicamente continentais (inconsolidados, arenosos e de coloração variegada) com os da planície costeira, delimitado por uma falésia morta com aproximadamente 30 km de extensão. Quando se aproxima do litoral, é representado pelas falésias vivas. Os solos principais são: Areias Quartzosas Distróficas, Areias Quartzosas Marinhas e Latossolo Vermelho-Escuro (IPECE, 2014).

4.1.2.2 *Clima*

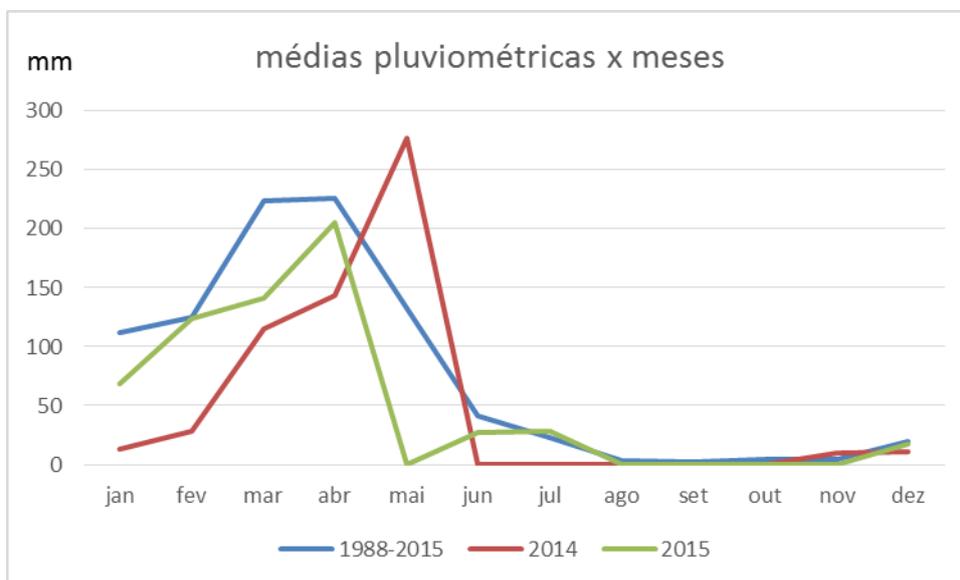
O litoral de Icapuí, a exemplo de outros municípios do litoral leste do Estado do Ceará, possui as maiores medidas de precipitações pluviométricas, em média da série histórica, registradas no período chuvoso. As chuvas ocorrem, de janeiro a maio, com destaque para os meses de março e abril, que no período entre 1988 e 2015, suas médias históricas, foram de 223,46 mm e 225,83 mm, respectivamente (FUNCEME, 2017).

O clima é Tropical Quente Semi-árido Brando, com temperaturas médias entre 26,1-28,3°C, com máximas entre 30°C a 31°C, e pluviosidade anual total, com média de 914,62mm (Série histórica 1988-2015, FUNCEME). A chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é a principal responsável pelas chuvas de janeiro a abril e, com o deslocamento da mesma, na sequência dos meses, na direção do hemisfério norte, observa-se um período de estiagem.

A menor média, na série histórica, em torno de 2,13 mm (Figura 5), é verificada no mês de setembro, junto com outubro são os meses de menor pluviosidade. No segundo semestre do ano apenas 10% da precipitação anual é vista nos registros da série histórica anteriormente citada. Durante as coletas, não ocorreram chuvas nos meses de agosto a outubro (Figura 5), e a pluviosidade anual ficou muito abaixo da média histórica, sendo registrados 596 mm em 2014 e 610 mm em 2015.

Em Icapuí, de janeiro a junho de 2014, o regime de chuvas foi atípico, como na maior parte do país que sofreu com uma seca severa. Choveu em Icapuí 35% a menos que a média histórica (1988-2015) e, o mês mais chuvoso foi maio com 25% a mais de chuva que março, o mês que historicamente possui maior pluviometria. O ano de 2015 também foi menos chuvoso que a média histórica, 33% a menos, porém com uma distribuição temporal mais próxima da média histórica.

Figura 5 – Médias pluviométricas mensais em Icapuí durante a série histórica (1988-2015) e nos anos de estudo (2014-2015)



Fonte: FUNCEME, 2017

Os ventos no litoral cearense, tem direções predominantes de SE, ESE, E e NE. As médias de velocidade chegam a superar os 4,5 m/s, sendo que no período de estiagem, ou seja, no segundo semestre, os ventos são mais intensos e, pode ultrapassar a velocidade de 11m/s, com o predomínio dos ventos de SE. No início da estação chuvosa, com a chegada da ZCIT, registram-se mudanças na direção dos ventos, passando a predominar os de NE.

4.1.3 Caracterização da Biota de Icapuí

Inserida no bioma Caatinga, com complexos vegetacionais litorâneos específicos, o ecossistema de Icapuí é constituído por campos de dunas, manguezais, falésias, carnaubais, lagunas, tabuleiros etc. (SANTOS, 2012), além disso, possui o segundo maior banco de algas do Brasil (DE OLHO NA ÁGUA, 2014). No ecossistema manguezal (Floresta Perenifólia Paludosa Marítima), as espécies vegetais arbóreas principais são: o mangue dos tipos vermelho, verdadeiro ou sapateiro (*Rhizophora mangle*), o mangue manso, branco ou rajadinho (*Laguncularia racemosa*), o canoé, preto ou síriba (*Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana*) e o mangue ratinho ou botão (*Conocarpus erectus*) (MEIRELES; SANTOS, 2012).

No apicium, o bredo do mangue (*Batis maritima*) e a beldroega (*Portulaca oleracea*) se destacam. A presença do bugi (*Dalbergia hecastophyllum*), como espécie

arbustiva, e plantas anfíbias, representadas pela samambaia do mangue (*Acrostichum aureum*) e pela tabuba (*Thypha domingensis*) se faz notada nos contatos do manguezal com os cursos de água doce ou nas proximidades de ressurgências hídricas. Nas Matas de Tabuleiro Litorâneo, destaque no extrato vegetal para a imburana (*Cammiphora leptophleos*), jucá (*Caesalpineia férrea*), catingueira (*Caesalpineia bracteosa*), juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) e outras (MEIRELES; SANTOS, 2012).

Nas áreas mais úmidas com presença de lagoas e de influência marinha, pode-se destacar, apesar da degradação, a formação da floresta mista dicótilo-palmácea (presença de carnaubais, *Copernicia prunifera*, por exemplo). Nas áreas de pós-praia e terrenos subsequentes, a restinga é destaque com a salsa (*Ipomoea pes-caprae*), o pinheirinho da praia (*Ramirea maritima*) e o pirrichiu (*Sesuvium portulacastrum*). O coqueiral, presente sobre os terraços marinhos, apesar de não ser uma espécie nativa, adaptou-se ao solo predominantemente arenoso (Neossolos Quartzoarênicos) e bem drenado, agregando valor paisagístico e econômico, por meio do seu fruto, ao município (AQUASIS, 2003).

Na sua fauna, o destaque é a presença do peixe-boi marinho, também conhecido como manati, que por ser um animal herbívoro, tem nas algas da localidade a sua principal refeição. Após a lagosta, principal recurso pesqueiro da região, os pescadores nativos citam como fonte de renda a pesca dos peixes: sirigado, cavala, camurupim, ariacó, carapicu e tapiro (PINTO; MOURÃO; ALVES, 2013).

A sua importância ambiental para o Ceará foi reconhecida por meio de sua classificação nos estudos realizados durante o Zoneamento Econômico-Ecológico Costeiro do Estado do Ceará como pólo de interesse ecológico, o que repercute tanto na definição do perfil dos empreendimentos que ali podem ser implantados como no fato de que as licenças ambientais para tais empreendimentos estão sujeitas a um controle mais rigoroso do que nas demais áreas do Estado (SOUSA, 2009).

4.1.4 Aspectos Socioeconômicos

De acordo com os dados do último censo oficial (IBGE, 2010), a maior parte da população icapuiense, 68,54%, mora na zona rural. Dos 18.392 habitantes, 68,49% são considerados potencialmente ativos, por estarem na faixa etária de 15-64 anos (IPECE, 2014).

A economia local tem sua base na agricultura, culturas como: caju, côco-da-Bahia, cana-de-açúcar, mandioca, milho, feijão e aspargo, e também na aquicultura, por meio dos

cultivos de camarão, algas e da pesca da lagosta. A atividade pesqueira envolve quase 90% das famílias do local e na sua grande maioria envolvidos com a cadeia produtiva da lagosta (MONTEIRO, 2010).

O cultivo de camarão em tanques necessita da retirada de parte da água doce local e, que após o seu uso é descartada de volta, com o devido tratamento do efluente. Para garantir tais obrigações são exigidas, por parte dos órgãos ambientais, análises físicas, químicas e biológicas da água que entra na fazenda e da sua saída, visto que os rejeitos do animal mais a ração e as espécies mortas produzem um aumento do teor de matéria orgânica no corpo hídrico, tal material particulado no rio pode capturar metais presentes por emissão dos efluentes domésticos, como zinco e cobre, e num processo de retroalimentação, voltar ao tanque da fazenda e ser assimilado pelo camarão (LACERDA *et al.*, 2004).

O setor industrial consta com três indústrias de produtos alimentares. A extração de petróleo pela PETROBRÁS na Fazenda Belém (Figura 6), e o setor do turismo aproveitando a extensa faixa litorânea, como as praias: Retiro Grande, Ponta Grossa, Redonda, Peroba, Picos, Barreira, Requenguela, Barra Grande, Quitérias, Tremembé, Melancias, Praia de Arrombado e Manibu. Sendo o setor de serviços, com 44,15%, a maior contribuição para o PIB do município e, a maioria dos empregos, quase 79%, na agropecuária (IPECE, 2014).

Figura 6 – Campo terrestre maduro da PETROBRÁS



Fonte: PETRONOTÍCIAS, 2017

Em Icapuí, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), que ajusta

o IDH global ao contexto brasileiro usando os dados do censo nacional, mas mantém como objeto de análise dimensões do IDH: vida longa e saudável, acesso ao conhecimento e padrão de vida, apresentou um crescimento de 104,65% entre o primeiro relatório de 1991 (0,301) e o produzido em 2010 (0,616), colocando o município na faixa do IDHM médio (ATLAS BRASIL, 2013).

Ressaltando que o índice varia de zero (nenhum desenvolvimento humano) até 1 (desenvolvimento humano total), sendo os países classificados: IDH baixo, de 0 a 0,499; IDH médio de 0,500 a 0,799; e, IDH alto de 0,800 a 1.

A análise dos resultados desagregados por componentes do IDHM (Tabela 2) apresenta uma evolução significativa nos resultados referentes ao fator educação, passando de 0,097 em 1991 para 0,541 em 2010, de forma contrária, foi observado, no mesmo período, uma evolução crescente, apesar de tímida, na renda. O que justifica o índice de quase 20% da sua população considerados extremamente pobre (renda per capita mensal de até R\$ 70,00) (IPECE, 2014).

Tabela 2 – Evolução do IDHM e seus componentes para Icapuí– CE (1991 a 2010)

IDHM e seus componentes	1991	2000	2010
IDHM Educação	0,097	0,338	0,541
% de 18 anos ou mais com ensino fundamental completo	7,52	19,37	38,67
% de 5 a 6 anos na escola	32,55	89,96	99,03
% de 11 a 13 anos nos anos finais do fundamental ou com ensino fundamental completo	10,38	51,92	77,45
% de 15 a 17 anos com fundamental completo	1,30	20,89	50,94
% de 18 a 20 anos com médio completo	0,00	16,03	27,99
IDHM Longevidade	0,578	0,650	0,757
Esperança de vida ao nascer (em anos)	59,67	64,00	70,44
IDHM Renda	0,488	0,498	0,572
Renda per capita/mensal	166,95	177,85	280,79

Fonte: IPECE, 2014.

4.1.5 Saúde

Icapuí possui 11 unidades de saúde ligadas ao Sistema único de Saúde – SUS, e todas pertencem ao poder público. Contando com apenas 139 profissionais de saúde, sendo que, em nível superior, 10 são médicos, 4 dentistas e 16 enfermeiros (IPECE, 2014).

Comparando os indicadores de saúde de Icapuí com os do Estado do Ceará, observa-se o distanciamento quantitativo de profissionais da saúde e de leitos (Tabela 3).

Índices de doenças de veiculação hídrica geralmente são altos em locais onde condições de urbanização, habitação e de saneamento básico são precárias. Algumas delas devem ser comunicadas às autoridades de saúde em, no máximo, 24 horas (exemplos: cólera, óbitos por dengue, febre tifóide) e outras em até sete dias (exemplos: casos de dengue, hepatites virais).

Doenças de Notificação Compulsória – DNC, como: cólera, coqueluche, difteria, dengue, febre tifóide, hepatites virais, leishmanioses, leptospirose, meningites, além da melioidose, considerada de notificação compulsória no Ceará. Podem ser controladas e prevenidas por meio de: Acesso os meios de prevenção; Vacinas; Acesso ao tratamento; Assistência pré-natal; Saneamento e Redução das desigualdades sociais.

Tabela 3 – Principais indicadores de saúde do município de Icapuí em relação ao Ceará - 2013

Discriminação	Município	Estado
Médicos / 1000 hab.	0,52	1,27
Dentistas / 1000 hab.	0,21	0,34
Leitos / 1000 hab.	0,73	2,37
Unidades de saúde / 1000 hab.	0,58	0,42
Taxa de internação por AVC (≥ 40 anos) / 10000 hab.	3,44	28,28
Nascidos vivos	161	124.583
Óbitos	2	1.564
Taxa de mortalidade infantil/1000 nascidos vivos	12,42	12,55

Fonte: IPECE, 2014

Doenças de notificação compulsória como: meningite, tuberculose, hanseníase, hepatite viral e dengue, foram registradas no município (Tabela 4).

Tabela 4 - Casos confirmados das doenças de notificação compulsória em Icapuí 2010-2013

Ano	Aids	Dengue	Hanseníase	Tuberculose	Hepatite viral	Meningite
2010	-	1	-	3	-	-
2011	2	11	-	4	-	-
2012	-	19	1	2	-	-
2013	-	11	-	2	1	1

Fonte: IPECE, 2014

4.2 Levantamento Bibliográfico

Objetivou a aquisição de dados referentes aos aspectos hidrogeológicos de aquíferos, geologia médica, geologia do local e agravos de saúde do município. O material pesquisado faz parte de acervos da Biblioteca de Ciências e Tecnologia da UFC, e de sites especializados em publicações científicas e de instituições estatais.

4.3 Amostragem de Água

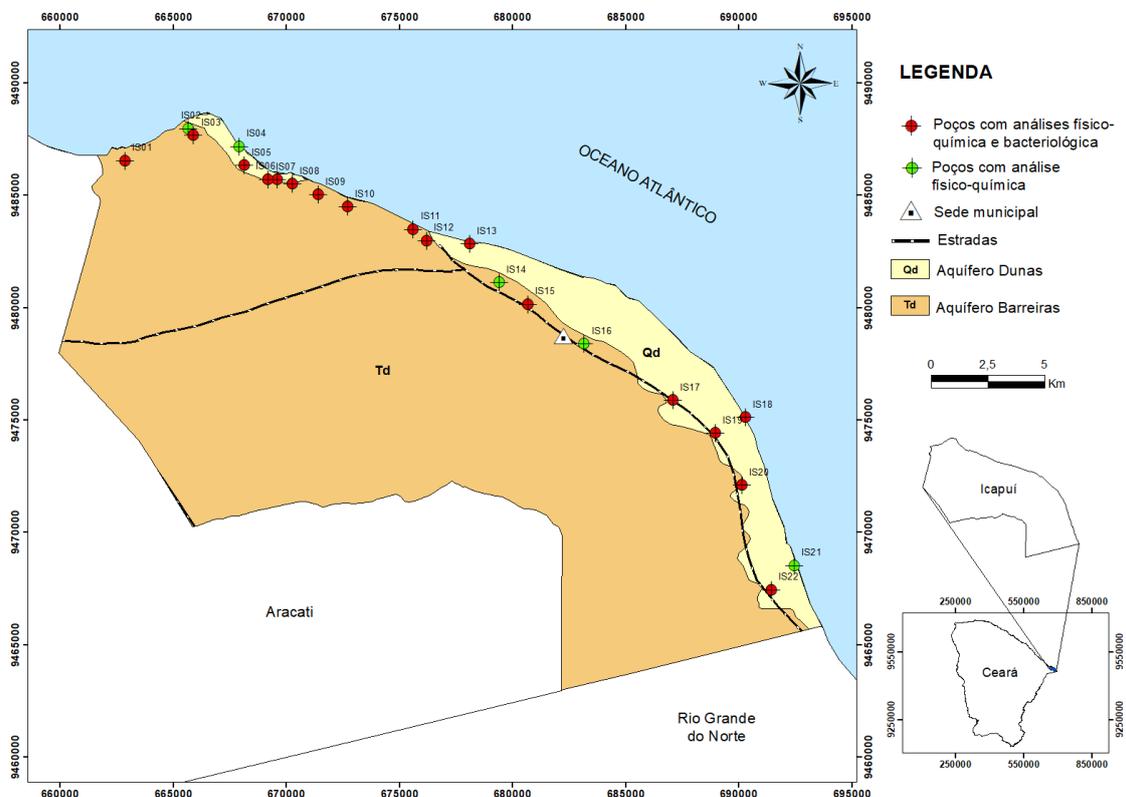
Foram realizadas quatro campanhas de amostragem, nos períodos abrangidos por época chuvosa e estiagem, anos de 2014 (novembro) e 2015 (março/junho/novembro). Organizando-se os frascos para coletas, todos devidamente descontaminados, rotulados e selecionados para um melhor controle e agilidade no trabalho.

Os poços foram plotados por um aparelho de navegação portátil - GPS (Global Position System) modelo GARMIN com o sistema de referência SAD69-South American Datum.

Para a investigação da área foram coletadas 22 amostras de água subterrânea captada por poços. Devido à limitação de recursos financeiros, nem todas as amostras foram analisadas quanto ao teor de metais tóxicos, isótopo ^{18}O e bacteriológico. O critério foi o uso da água, privilegiando os poços usados para o abastecimento das comunidades.

Dos 22 poços investigados, 17 poços são para o abastecimento humano e os 05 restantes para irrigação (Figura 7).

Figura 7 – Localização da área de estudo e distribuição dos poços nos sistemas aquíferos



Fonte: Modificado CPRM, 2003.

Os reservatórios destinados à água para análise bacteriológica foram esterilizados e, após a coleta, mantidos sob refrigeração. Nos poços, o nível estático foi obtido por um medidor de nível, com sinal sonoro, da marca Altronic.

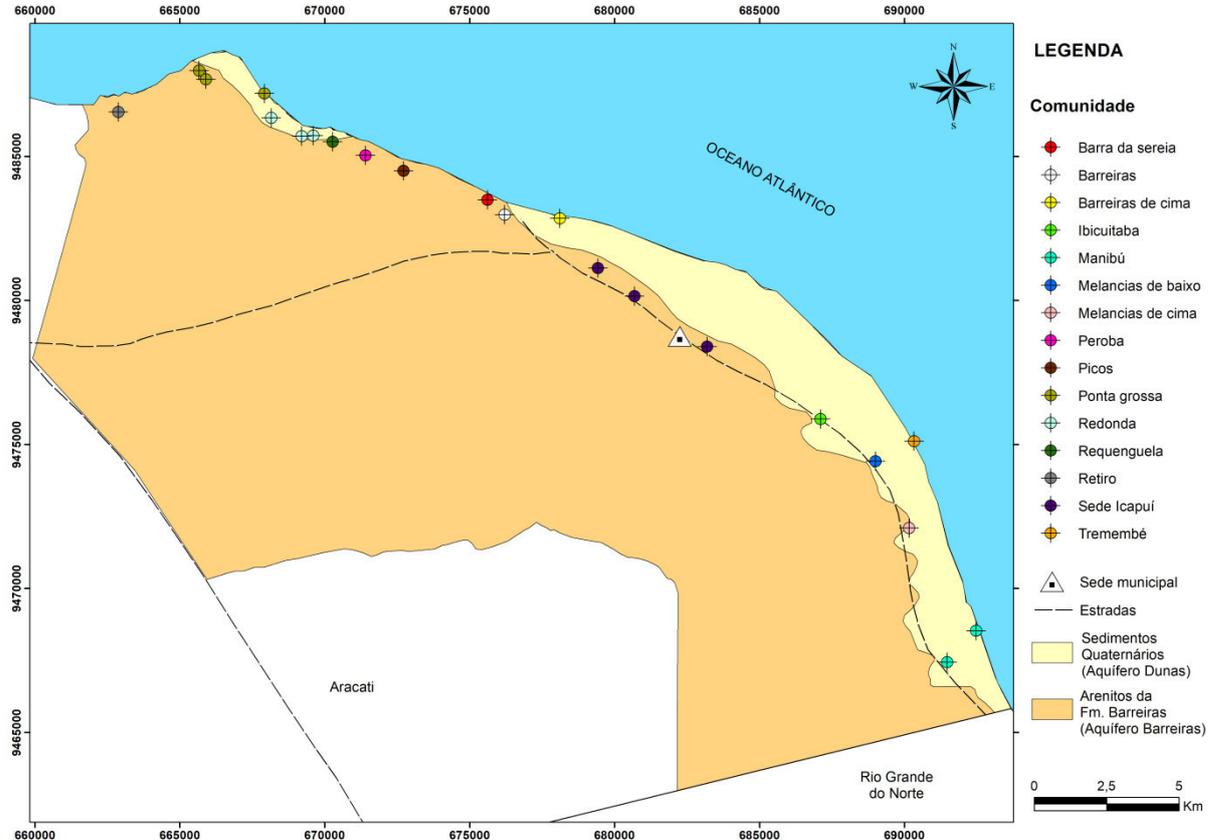
As coletas da água foram realizadas após cinco minutos de funcionamento do motor do poço, prática utilizada com o intuito de descartar e se evitar conter na amostra, água estagnada e/ou contaminada, não representativa do aquífero, pela tubulação.

4.4 Procedimento Analítico

4.4.1 Descrição dos poços

Os poços foram escolhidos por servirem a uma maior parte da população e por estarem na linha de costa, permitindo assim estudar o impacto direto na comunidade e a qualidade de sua água em diferentes usos e comunidades (Figura 8).

Figura 8 – Comunidades do município de Icapuí abastecidas pelos poços estudados



Fonte: Modificado CPRM, 2003.

Poços distribuídos (Tabela 5) na faixa de praia e outros na parte superior da falésia, também contribuem para um estudo mais amplo e indicativo de mudança, ou não, na composição química dessa água por passar em diversos meios.

Tabela 5 – Coordenadas dos poços do estudo, em UTM.

Poço	Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)	Poço	Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)
IS01	662872	9486543	IS12	676202	9482980
IS02	665665	9487981	IS13	678113	9482845
IS03	665902	9487678	IS14	679418	9481124
IS04	667910	9487187	IS15	680688	9480148
IS05	668148	9486341	IS16	683189	9478393
IS06	669601	9485717	IS17	687105	9475877
IS07	669203	9485699	IS18	690332	9475113
IS08	670266	9485508	IS19	688999	9474417
IS09	671404	9485033	IS20	690158	9472091
IS10	672714	9484502	IS21	692456	9468568
IS11	675612	9483493	IS22	691474	9467439

Fonte: Elaborada pelo autor, 2014.

O poço IS01 fica em cima da falésia, dentro da comunidade de Retiro, não possui dados de construção no sítio da CPRM (siagasweb), e é administrado pelo SAAE- Icapuí. Tem a forma tubular com bomba submersa, e seu uso é para o abastecimento de residências para o consumo humano. Observou-se no seu entorno, criação de galináceos e fossas sépticas de residências.

O SAAE informou que a profundidade do poço é de aproximadamente 60 metros e observou-se no local o uso de dessalinizador. A água, após o processo de dessalinização, abastece aquela comunidade que fica na extremidade ocidental e próximo a divisa com o município de Aracati.

O poço IS02 está localizado na faixa de praia, na Praia de Ponta Grossa e assim, permite ter uma comparação com as águas na parte superior da falésia. É de propriedade particular, na forma de amazonas (poço de grande diâmetro (1 metro ou mais), escavado manualmente e revestido com tijolos ou anéis de concreto. Capta o lençol freático e possui geralmente profundidade na ordem de até 20 metros) e seu uso é para jardinagem. Observou-se no seu entorno, fossas negras, e biosépticas (utilizando das raízes das bananeiras como meio filtrante de rejeitos humanos) de residências, pousadas e restaurantes.

O proprietário do poço amazonas (cacimba) informou que, a profundidade do poço é de apenas 02 metros e observou-se que o mesmo fica fechado, para seu uso, a água é retirada por uma bomba elétrica acoplada a uma mangueira (Figura 9).

Figura 9 – Poço IS02 na Praia de Ponta Grossa



Fonte: o autor, 2014.

O poço IS03 fica em cima da falésia e dentro da comunidade de Ponta Grossa, possui dados de construção no sítio do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014), sua litologia está descrita no site da CPRM (Quadro 4) e é administrado pelo SAAE- Icapuí. Tem a forma tubular com bomba submersa, e tem no seu uso o abastecimento de residências para o consumo humano. Observou-se no seu entorno, fossas sépticas de residências.

Segundo a CPRM o poço possui 78 metros de profundidade e foi construído em 24 de agosto de 2009 pela GEOHIDRO. Possui três filtros onde o primeiro está abaixo de 51 metros, o segundo de 61 metros e o terceiro, 69 metros (Figura 10).

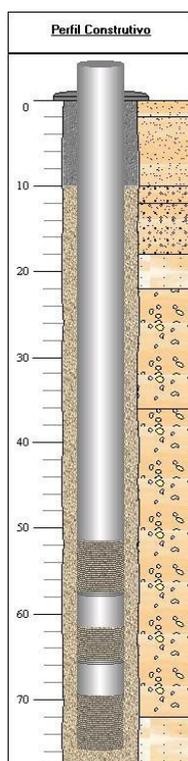
Quadro 4 – Descrição litológica do poço IS03 por profundidade

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	2	Areia média	Areia média, bem selecionada, variando de esbranquiçada a avermelhada.
2	10	Areia média	Areia média, bem selecionada, avermelhada.
10	12	Areia grossa	Areia média a grossa, bem selecionada, variando de esbranquiçada a avermelhada.
12	18	Areia grossa	Areia média a grossa, bem selecionada, esbranquiçada.
18	22	Arenito médio	Arenito médio de dureza baixa, bem selecionado, esbranquiçado.
22	36	Conglomerado	Conglomerado laterítico, medianamente selecionado, variegado com matriz laterítica.
36	72	Conglomerado	Conglomerado, dureza variada, bem a mal selecionado, esbranquiçado a variegado, matriz pouco a muito argilosa, vermelha.
72	78	Arenito médio	Arenito fino a médio, duro, medianamente selecionado, avermelhado.

Fonte: CPRM, 2014

O poço IS04 está localizado na faixa de praia, entre a Praia de Ponta Grossa e a Praia da Redonda. É de propriedade particular, na forma de “amazonas” e seu uso é para jardinagem e irrigação, sem bomba, apenas balde e corda. Nenhuma construção humana no seu entorno.

Figura 10 – Perfil construtivo do poço IS03



Fonte: CPRM, 2014

O poço IS05 é do tipo tubular com bomba submersa, e tem no seu uso o abastecimento de residências da comunidade da Redonda. Não há nenhuma residência no seu entorno. Localiza-se próximo a estrada que liga Ponta Grossa a Redonda (Figura 11), em cima da falésia com profundidade de aproximadamente 1000m. Há poucos dados de sua construção no sítio da CPRM, apenas que a perfuração foi feita pela PETROBRÁS. Também é administrado pelo SAAE- Icapuí.

Figura 11 – Poço IS05 na estrada entre Ponta Grossa e Redonda



Fonte: o autor, 2014.

O poço IS06 está localizado na faixa de praia, na Praia da Redonda. É de propriedade particular, possui forma tubular com bomba submersa, profundidade de 11 metros. O seu uso é para o consumo humano e na atividade de pesca, principalmente na fabricação de gelo que é utilizado na conservação do pescado. Muitas casas próximas e nenhuma com o esgotamento sanitário.

O poço IS07 abastece a caixa d'água da comunidade da Redonda, possui poucos dados de construção no sítio da CPRM como, a profundidade, de 60 metros e, o teste de bombeamento em 2006, onde os níveis estático e dinâmico eram de 28m e 38m, respectivamente. De propriedade da prefeitura e, também, administrado pelo SAAE- Icapuí, aos cuidados do SAAE-Icapuí.

Tem a forma tubular com bomba submersa, e tem no seu uso o abastecimento de residências e destina-se ao consumo humano. Observou-se no seu entorno, fossas sépticas de residências e escola.

O poço IS08 abastece a comunidade da Praia da Requenguela, não possui dados de construção no sítio da CPRM. De propriedade da prefeitura e, também, administrado pelo SAAE- Icapuí.

Tem a forma tubular com bomba submersa, e tem no seu uso o abastecimento de residências para o consumo humano. Observou-se no seu entorno, fossas sépticas de residências, chalés e pousadas.

O poço IS09 abastece a comunidade da Praia da Peroba (Figura 12) possui poucos dados de construção no sítio da CPRM, como: profundidade de 80m e nível estático de 36m no seu teste de bombeamento. De propriedade da prefeitura e, também, administrado pelo SAAE- Icapuí. Tem a forma tubular com bomba submersa, e tem no seu uso o abastecimento múltiplo. Observou-se no seu entorno, fossas sépticas de residências e pousadas.

Figura 12 - Poço IS09 na comunidade da Praia da Peroba



Fonte: o autor, 2014.

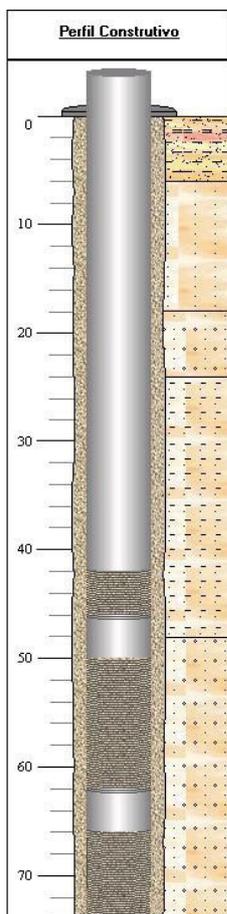
O poço IS10 abastece a comunidade da Praia de Picos possui dados de construção (Quadro 5), geológicos e de teste de bombeamento no sítio da CPRM (Figura 13). Perfurado pela SOHIDRA em 2009, possui profundidade de 74m e filtros abaixo dos 42m, segue na tabela os dados geológicos. Seu nível estático foi de 46m no seu teste de bombeamento. De propriedade da prefeitura e, também, administrado pelo SAAE- Icapuí.

Quadro 5 – Dados Litológicos do poço IS10

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	6	Solo argiloso	Solo argiloso de coloração avermelhado.
6	18	Arenito médio	Arenito médio, bem selecionado, quartzoso, coloração amarelada.
18	24	Arenito grosso	Arenito grosseiro com presença de cascalho de hematita e quartzo.
24	48	Arenito argiloso	Arenito fino argiloso, caulínico com presença de plintita, coloração amarelada.
48	74	Arenito grosso	Arenito médio a grosso, quartzoso de coloração avermelhada.

Fonte: CPRM, 2014

Figura 13 – Perfil construtivo do poço IS10



Fonte: CPRM, 2014

O poço IS11 está localizado na faixa de praia na Praia da Barreira da Sereia. É de propriedade particular e possui forma tubular com bomba manual. O seu uso é para o consumo humano. Muitas casas próximas e nenhuma com o esgotamento sanitário.

O poço IS12 está localizado na comunidade das Barreiras. É de propriedade particular com forma tubular contendo uma bomba injetora. Segundo informações do proprietário a profundidade do mesmo é de 5,5m. O seu uso é para o consumo humano. Muitas casas próximas e nenhuma com o esgotamento sanitário.

O poço IS13 está localizado numa propriedade hoteleira, na Praia de Barreiras de Cima. É de propriedade particular com forma tubular e possui uma bomba injetora. O proprietário informou que a profundidade do mesmo é de 9m.

O poço IS14 está na zona urbana de Icapuí. É de propriedade particular possui forma tubular com bomba injetora e seu uso é para jardinagem. Observou-se no seu entorno, fossas sépticas de residências e comércios.

Assim como o poço IS14, também, o poço IS15, está na zona urbana do município e é de propriedade particular, difere apenas no seu bombeamento, por ser manual (Figura 14).

Figura 14 - Poço IS15, com bombeamento manual, localizado na zona urbana de Icapuí



Fonte: o autor, 2014.

O poço IS16, localizado na zona urbana de Icapuí, é de propriedade particular com forma tubular com bombeamento por ação eólica (cata-vento), seu uso é para irrigação (Figura 15). Observou-se no seu entorno, fossas sépticas de residências.

Figura 15 – Poço IS16, com bombeamento por ação eólica, com uso para irrigação de capim elefante.



Fonte: o autor, 2015.

Os dados de construção de um poço, que está inativo, dentro da sede do município (coordenadas em UTM, 9477362, 683633) contribuem na interpretação do aquífero local na zona urbana, onde se observa a presença de rocha calcária (Tabela 6).

Tabela 6 – Formação Geológica do poço de abastecimento na zona urbana

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:	
0.00	2.00	Coberturas sedimentares indiferenciadas	
2.00	48.20	Formacao barreiras	
48.20	54.00	Formacao Jandaira	
Dados Litológicos:			
De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	20	Areia fina	Areia fina, esbranquiçada.
20	26	Argila arenosa	Argila arenosa, esbranquiçada.
26	40	Argilito	Argilito avermelhada.
40	45	Argilito	Argilito margoso.
45	54	Calcário	Calcário medianamente duro, cinza.

Fonte: CPRM, 2014

O poço IS17 (Figura 16) abastece o distrito de Ibicuitaba, de uso múltiplo, localizado dentro de uma escola municipal, possui poucos dados de construção no sítio da CPRM, como a profundidade que é de 67m. De propriedade da prefeitura e, também, administrado pelo SAAE- Icapuí.

Figura 16 – Poço IS17 em Ibicuitaba, distrito de Icapuí



Fonte: o autor, 2014.

O poço IS18 (Figura 17) está localizado na Praia de Tremembé próximo às barracas de praia, restaurantes e outros comércios. Tem forma tubular, com bomba injetora, está em espaço público apesar de ter sido construído por moradores em 2014. Informaram que a profundidade do mesmo é de 4,5m e com uso doméstico.

Figura 17 – Poço IS18 na Praia de Tremembé

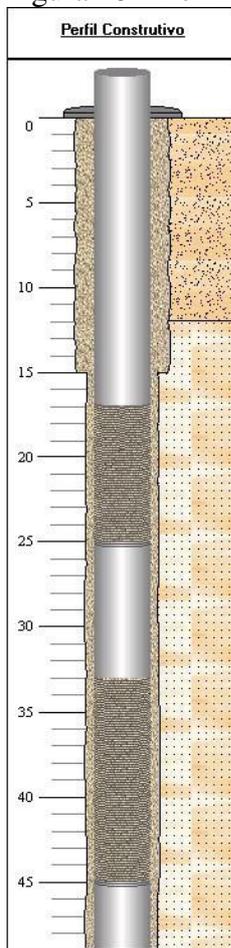


Fonte: o autor, 2014.

O poço IS19 está localizado na comunidade de Melancias de baixo. É de propriedade particular e possui forma tubular contendo uma bomba injetora. O seu uso é para fins domésticos. Algumas casas próximas e nenhuma com o esgotamento sanitário.

O poço IS20 (Figura 18) está localizado na comunidade de Melancias de Cima (Figura 19). É de propriedade da prefeitura, administrado pelo SAAE-Icapuí, possui forma tubular contendo uma bomba injetora. O seu uso é múltiplo e seus dados construtivos, geológicos, estão no sítio da CPRM (Tabela 7). No seu entorno, além de residências e comércios, também existe um cemitério a aproximadamente 200m.

Figura 18 – Perfil construtivo do poço IS20



Fonte: CPRM, 2014

Figura 19 – Poço IS20 na comunidade de Melancias de Cima



Fonte: o autor, 2014.

Tabela 7 – Dados Litológicos do poço IS20

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	12	Areia fina	Areia creme.
12	49	Arenito fino	Arenito de granulometria fina, essencialmente quartzoso, grãos bem selecionados e arredondados, cor creme.

Fonte: CPRM, 2014

O poço IS21 está localizado na faixa de praia, na Praia de Manibú. É de propriedade particular e possui forma tubular com uma bomba submersa. O seu uso é para jardinagem. Poucas casas próximas e nenhuma com o esgotamento sanitário.

O poço IS22 estava temporariamente desativado, administrado pelo SAAE e abastece a comunidade da Praia de Manibú.

4.4.2 Análise bacteriológica

O procedimento requereu, primeiramente, a esterilização do local de saída da água, utilizando-se de algodão em chamas, embebido em álcool 70%. Em seguida, os frascos foram fechados e acondicionados em caixa térmica, mantendo-as resfriadas. O procedimento analítico foi realizado em menos de 48 horas após as coletas em campo, com o objetivo principal de detectar bactérias do grupo dos coliformes fecais.

No laboratório, as amostras foram filtradas a vácuo, por meio de membrana filtrante, de éster de celulose (porosidade – 0,45 μm) com reticulado e 47 mm de diâmetro. A membrana foi acomodada em Placa de Petri contendo meio de cultura nutritivo, seletivo para coliformes e, imediatamente, acondicionadas na estufa de incubação a uma temperatura de 36 °C, por um período de 24 horas, sendo depois levada à contagem visual das colônias de coliformes (representadas por pontos de coloração verdes e azuis) por meio de fluorescência ultravioleta (KITLABOR, 2014).

A contagem de UFC's (Unidade Formadoras de Colônias) foi realizada da seguinte forma: pontos fluorescentes à luz ultravioleta indicam a presença de colônias de bactéria *E. coli* e, pontos azuis, opacos, as colônias de Coliformes Totais.

4.4.3 Análise de compostos nitrogenados na água subterrânea

Na determinação da concentração do nitrato foi empregado o método da coluna redutora de cádmio, o qual consiste na conversão do nitrato (NO_3^-) em nitrito (NO_2^-), por contato da amostra com grãos de cádmios tratados com cobre (Cd-Cu), obtendo-se a soma das concentrações em nitrato e nitrito (APHA, 2005). A concentração em nitrato pode ser obtida pela subtração da concentração em nitrito. A determinação do nitrito envolve procedimentos espectrofotométricos baseados na reação de Griess, na qual o nitrito reage com a sulfanilamida em meio ácido.

O nitrogênio amoniacal total (N-NH₃) foi determinado pelo método Fenato, no qual um composto de cor azul formado pela reação da amônia com hipoclorito e fenol, sendo estável por mais de 24 horas. O hipoclorito foi substituído por dicloisocianurato sódico dihidratado, conforme Aminot e Chaussepied (1983) e Aminot e K erouel (2004). A Determinação da análise da amônia iniciou-se *in situ* com a adição dos reagentes - R1 (reagente de fenol) e R2 (reagente de citrato de s odio) - à amostra imediatamente após a coleta. Estas amostras foram mantidas ao abrigo da luz até a chegada ao laboratório para leituras das absorbâncias a 630 nm.

4.4.4 Elementos Maiores

As análises físicas e químicas para determina o dos elementos maiores, menores e traços e, bacteriológicos foram realizadas no Laboratório de Geoquímica Ambiental, do

Departamento de Geologia, da Universidade Federal do Ceará, sendo referenciadas pelo *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2005).

Utilizou-se o programa QUALIGRAF (MÖBUS, 2003), disponibilizado no site da FUNCEME, para confecção dos gráficos hidroquímicos, no tocante à classificação de águas, quanto aos seus íons dominantes e, quanto à salinidade, baseada nos Sólidos Totais Dissolvidos - STD.

Na sequência do texto (Quadro 6) têm-se a descrição dos métodos aplicados para os principais íons analisados neste trabalho, de acordo com APHA (2005).

Quadro 6 – 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	Eletrométrico (2510B)
Dureza do cálcio (Ca ⁺²)	Titrimétrico com EDTA (2340B)
Dureza total	Titrimétrico com EDTA (2340B)
Ferro Total (Fe ⁺² e Fe ⁺³)	Ortofenantrolina (45000B)
Fluoreto (F ⁻)	Eletrodo de íon seletivo (4500C)
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	Coluna redutora de Cádmio (4500E)
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	Colorimétrico (4500B)
Nitrogênio Amoniacal total (N-NH _{3,4})	Fenato (4500F)
pH (H ⁺)	Eletrométrico (4500B)
Sódio (Na ⁺) e Potássio (K ⁺)	Fotometria de Chama (3500B/3500B)
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	Turbidimétrico (4500E)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

4.4.4.1 Balanço Iônico

Faz-se necessário 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 utilizou-se uma fórmula empírica para cálculo do balanço iônico, onde os valores dos íons dados em mg.L⁻¹ serão convertidos em meq.L⁻¹. (Eq. 01)

O balanço iônico constitui 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. O balanço iônico de uma análise química é perfeito (erro zero) quando se verifica que a soma dos ânions é igual à soma dos cátions em meq/L.

$$\text{Erro (\%)} = \frac{\sum\left(\frac{\text{Cátions, meq}}{L}\right) - \sum\left(\frac{\text{Ânions, meq}}{L}\right)}{\sum\left(\frac{\text{Cátions, meq}}{L}\right) + \sum\left(\frac{\text{Ânions, meq}}{L}\right)} \times 100 \quad (2)$$

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.

Em 90% das análises das amostras deste trabalho o erro máximo foi de 5% e no restante não passou de 10%. Além dos sete principais íons (sódio, potássio, magnésio, cálcio, cloreto e sulfato) comumente considerados no balanço cátions/ânions, também foi incluído o nitrato, por este ser um íon importante na composição química das águas da área estudada.

4.4.5 Elementos Traço

As amostras para determinação de metais foram armazenadas em frascos de polipropileno, acidificadas com HNO₃ até pH < 2 e refrigeradas. No laboratório, foram filtradas através de membrana de 0,45 µm e mantidas sob refrigeração até o momento da análise. A análise foi feita no *Activation Laboratories* LTDA (Ontario, Canadá) por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente - ICP/MS com alta sensibilidade e baixo limite de detecção, apropriado para medir as concentrações de elementos traço (0,01 – 10 µg.L⁻¹).

4.4.5 Isótopos

Foram utilizados frascos tubetes com o seguinte procedimento: coleta da água no frasco até a quase sua totalidade, deixando-se cerca de dois centímetros de vazio; logo após, a tampa foi rosqueada de forma bem firme, fechando-a hermeticamente e passando plástico filme ao redor da tampa, para se evitar escape de gases. Os frascos foram acondicionados em caixas apropriadas, mas sem refrigeração. Os frascos contendo as amostras foram enviados ao Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Piracicaba – São Paulo, e nelas, foi utilizado o método *Cavity Ring-down Spectroscopy* (CRDS), para a realização das análises laboratoriais.

Para os valores da chuva, no município de Icapuí, utilizou-se o mesmo valor de Fortaleza, referenciado pelo IAEA (1981). O valor médio obtido foi então, de $\delta^{18} = -2,90\%$. Conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Valor médio de δ^{18} para o município de 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)										-2,09

Fonte: IAEA (1981)

4.5 Balanço Hídrico

Para o cálculo de estimativa do balanço hídrico foi usado o banco de dados meteorológicos da FUNCEME, a série pluviométrica do município de Icapuí, correspondente ao período de 26 anos (1988 a 2014), bem como os valores médios da temperatura.

Os dados foram trabalhados e calculados, utilizando-se da fórmula de Thornthwaite para definir as variáveis inerentes ao resultado almejado. A variável “K” corresponde a um fator de correção da evapotranspiração potencial mensal, para ajustá-la ao número de dias do mês e da exposição ao brilho solar e, que varia para distintos valores de latitude (VILLELA, 1975). Após a organização dos dados referentes às médias anuais de temperatura (T) e ao fator de correção (K), calcula-se o Índice térmico (I), pela fórmula:

$$I_i = (T / 5)^{1,5} \quad (3)$$

Após, foi calculada a evapotranspiração potencial mensal, na seguinte equação:

$$ETP = 16 k (10 T / I)^a \quad (4)$$

Onde: a = termo obtido a partir do índice térmico, pela fórmula:

$$a = 0,49239 + (0,01792 \times I_{\text{anual}}) - (771 \times 10^{-7} \times (I_{\text{anual}})^2) + (675 \times 10^{-9} \times (I_{\text{anual}})^3) \quad (5)$$

(5)

Em seguida, para os valores da Evapotranspiração Real, utilizou-se seguinte regra: quando a diferença entre a precipitação total e a evapotranspiração potencial for negativa ($PPT - ETP < 0$), a ETR será igual à PPT e, não sobrar volume hídrico para o solo ($C = 0$); quando a diferença citada for positiva, ou seja, $PPT - ETP > 0$, o valor da ETR será igual a ETP e, alimentará a infiltração do solo até que o mesmo chegue ao seu valor máximo ($C = 100$).

O cálculo da I_e (Infiltração efetiva) foi obtido pela diferença entre os dados de totais mensais da precipitação e da evapotranspiração real, levando-se em conta a parcela

retida no solo (C). O resultado da I_e , depois de esgotada a capacidade da retenção de água no solo, pode ser obtido através da equação:

$$I_e = PPT - ETR \quad (6)$$

Onde: I_e = Infiltração efetiva; PPT = Precipitação Total; e, ETR = Evapotranspiração Real.

4.6 Vulnerabilidade

Para o estudo da vulnerabilidade foi utilizado o método GOD (FOSTER; HIRATA, 1988), onde foram atribuídos valores às seguintes variáveis: tipo de confinamento do aquífero, geologia ou litologia da zona não saturada e, profundidade do nível estático d'água ou teto do aquífero confinado.

O resultado do balanço hídrico indica a quantidade de água que circula entre a superfície e o aquífero, as quais servem de meio para transportar os elementos das contaminações e da dinâmica de recarga a ser considerada na área.

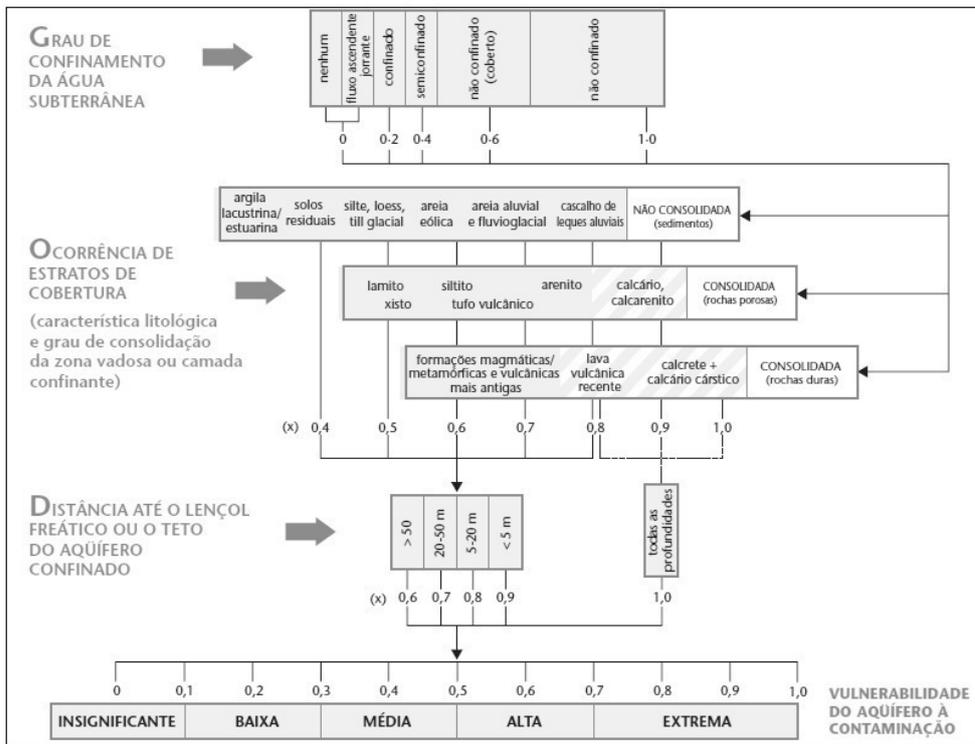
A geologia local do município compreende sedimentos inconsolidados formados por areias quartzosas distróficas, areias quartzosas marinhas e latossolo vermelho-escuro (IPECE, 2014). O aquífero costeiro, considerado como aquífero livre, para tal definição foi tomada com base em algumas descrições de perfis de poços apresentando dados de coordenadas, níveis estáticos e dinâmicos, litologia e ano de construção no site do SIAGAS/CPRM.

O nível estático foi conseguido através das medidas tomadas por um nível d'água eletrônico, condiz à altura na qual a água permanece no poço quando não está sendo retirada do aquífero e, geralmente, é medida pela distância do nível do solo até o nível da água, no interior do poço.

As variáveis foram tabuladas e foi atribuído um valor a cada uma delas. Ao final, esses valores foram multiplicados entre si, e o resultado obtido é, portanto, relacionado a um grau de vulnerabilidade.

Neste método cada fator recebeu uma pontuação que variou de 0 ou 0,3 a 1,0, na sequência os três valores multiplicados entre si definiram o grau de vulnerabilidade (Figura 20)

Figura 20 – Método de vulnerabilidade GOD



Fonte: FOSTER; HIRATA (1988).

4.7 Matriz de impactos ambientais

Os dados de valores ambientais foram registrados, por meio de fotos e visitas de campo, no período de março de 2014 a junho de 2016, permitindo assim a construção de uma matriz adaptada de Leopold (1971), sendo que a adaptação tem como referência, importantes autores, como Mota (2002), Rocha (2005), Richieri (2006) e Schneider (2011). Buscou-se assim, desenvolver uma matriz que representasse as ações impactantes, positivas e negativas, durante as etapas de exploração e exploração do aquífero de Icapuí, considerando as diversas características do meio, por fatores antrópico, biótico ou abiótico.

A construção da matriz desenvolveu-se em 3 etapas. Na primeira foram identificadas as atividades potencialmente impactantes ao meio ambiente e os aspectos ambientais existentes que podem ser afetados por essas atividades. Em seguida, cada cruzamento proposto pela matriz foi ponderado quanto à magnitude e importância. Para a magnitude foi considerada a soma dos pesos determinados para os atributos extensão, periodicidade e intensidade. Já a importância foi o resultado da soma dos valores dos atributos de ação, ignição e criticidade.

O resultado da ponderação de atributos não é uma medida do impacto, no sentido físico de uma grandeza que possa servir de padrão para avaliar outras do mesmo gênero, mas uma apreciação qualitativa da importância do impacto (SÁNCHEZ, 2006).

Nas Tabelas 9 e 10 estão expostas as ponderações de cada atributo para a formação do peso final.

Tabela 9 - Valores da importância para seus atributos ambientais e ponderação equivalente

IMPORTÂNCIA = AÇÃO + IGNIÇÃO + CRITICIDADE	VALOR PONDERADO
AÇÃO (Peso: 1 a 4) Número de efeitos que a ação causa	Primária (+1): 1 causa → 1 efeito; Secundária (+2): 1 causa → 2 efeitos; Terciária (+3): 1 causa → 3 efeitos; Enésima (+4): 1 causa → n efeitos.
IGNIÇÃO (Peso: 1 a 3) Tempo que a ação leva para aparecer. É o intervalo de tempo entre a ação e o efeito	Imediata (+1): causa → efeito simultâneo; Médio Prazo (+2): causa → efeito surge simultâneo e/ou tempo depois; Longo Prazo (+3): causa → efeito surge muito tempo depois, concomitante ou não com os casos anteriores.
CRITICIDADE (Peso: 1 a 3) Nível de relação entre a ação e o efeito que ela provoca	Baixa (+1): baixo nível de ação entre os fatores causa → efeito; Média (+2): médio nível de ação entre os fatores causa → efeito; Alta (+3): alto nível de ação entre os fatores causa → efeito.

Fonte: ROCHA, 2005

Tabela 10 - Valores da magnitude para seus atributos ambientais e ponderação equivalente

MAGNITUDE = EXTENSÃO + PERIODICIDADE + INTENSIDADE	VALOR PONDERADO
EXTENSÃO (Peso: 1 a 4) Tamanho da ação ambiental ou da área de influência real.	Pequena extensão (+1); Média extensão (+2); Grande extensão (+3); Muito grande extensão (+4).
PERIODICIDADE (Peso: 1 a 3) Duração do efeito da ação. Tempo que o efeito demora a terminar.	Ação temporária (+1): cessa quando para a ação; Ação variável (+2): não se sabe quando termina o efeito após cessar a ação; Ação permanente (+3): não cessa mesmo parando a ação.
INTENSIDADE (Peso: 1 a 3) Exuberância da ação impactante. Relação da dimensão da ação com a atividade.	Baixa (+1): pequena ação impactante; Média (+2): média ação impactante; Alta (+3): alta ação impactante.

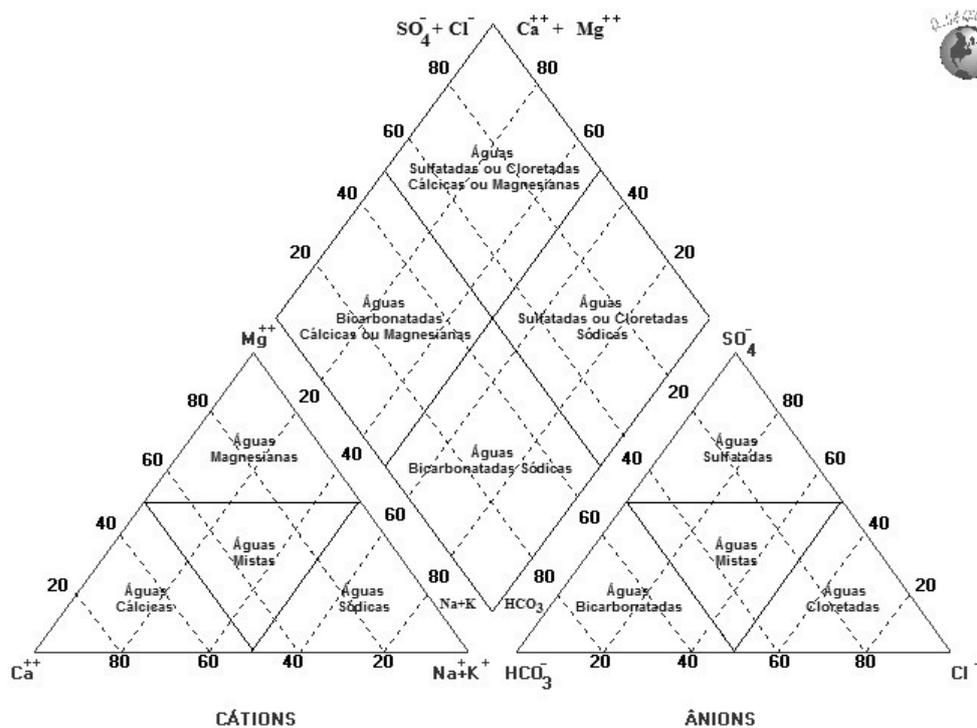
Fonte: ROCHA, 2005

A última etapa consistiu em cruzar o somatório dos valores obtidos para magnitude e importância, multiplicando um pelo outro, obtendo-se assim um índice final. Com esse índice foi possível identificar as atividades mais impactantes ao meio ambiente.

4.8 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. Para a classificação das águas, foi usado o método Diagrama de *Piper*. Neste método, transformaram-se as concentrações de cada íon, expressos em meq/L, em porcentagem do total de ânions e do total de cátions, sendo plotados em um triângulo de cátions e ânions que, em seguida, foram projetados em um polígono quadrilátero que descreve o tipo de água ou fácies hidroquímicas. A Figura 21 mostra o diagrama trilinear usado para classificar e comparar, com base na composição iônica, as diferentes amostras de água.

Figura 21 – Diagrama de *Piper*.



Fonte: MÖBUS, 2003.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Grupo coliformes

A qualidade da água, quanto à presença de coliformes, variou sazonalmente, com tendência a níveis críticos no período chuvoso, notadamente em março de 2015, período em que foi detectada a presença de coliformes totais em 35,3% das águas coletadas nos poços e, *Escherichia coli*, teve a presença em apenas uma amostra no mesmo período. Nas outras campanhas não ocorreu a presença de bactérias (Tabela 11).

Tabela 11 – Quantidade de colônias de bactérias coliformes totais (UFC/100 mL) e bactérias *Escherichia coli* (UFC/100 mL) nos poços do estudo ao longo de 2015

POÇOS	MAR/15		JUN/15		NOV/15	
	CT	EC	CT	EC	CT	EC
IS01	10	00	00	00	00	00
IS03	00	00	00	00	00	00
IS05	00	00	00	00	00	00
IS06	90	00	00	00	00	00
IS07	00	00	00	00	00	00
IS08	00	00	00	00	00	00
IS09	00	00	00	00	00	00
IS10	00	00	00	00	00	00
IS11	00	00	00	00	00	00
IS12	00	00	00	00	00	00
IS13	100	20	00	00	00	00
IS15	30	00	00	00	00	00
IS17	00	00	00	00	00	00
IS18	600	00	00	00	00	00
IS19	10	00	00	00	00	00
IS20	00	00	00	00	00	00
IS22	00	00	00	00	00	00

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

CT - Coliformes totais; EC - *Escherichia coli*.

Fatores como a pouca profundidade dos poços, erros na construção e a má manutenção dos mesmos, podem permitir a contaminação da água. A contaminação desses poços está relacionada à vulnerabilidade natural da área, tendo em vista a pouca profundidade e material sedimentar permeável do local, que favorece a infiltração da água contaminada oriunda do esgoto doméstico, principalmente, nos períodos chuvosos (Quadro 7).

O poço raso IS18 é o que apresentou maior quantidade de colônias de bactérias coliformes totais e, assim como os demais, ao sair da quadra chuvosa, não apresenta mais o referido contaminante. A ausência de colônias desse grupo de coliformes, em 100 mL de

amostra, torna a água em conformidade com a portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde para o consumo humano (BRASIL, 2011).

Quadro 7 – Características dos poços com presença de coliformes totais em março de 2014

Poço	UFC/ 100 MI	Localização	Uso	Tipo de poço	Prof.	Fontes potenciais de contaminação
IS01	10	Retiro	Abastecimento público	Tubular com bomba injetora	60	Criação de animais e fossas negras
IS06	90	Redonda	Consumo humano	Tubular com bomba injetora	11	Fossas negras
IS13	100	Barreiras	Consumo humano	Tubular com bomba injetora	9	Fossas negras
IS15	30	Sede	Consumo humano	manual	-	Fossas negras
IS18	600	Tremembé	Uso doméstico	Tubular com bomba injetora	4,5	Fossas negras e efluentes de barracas
IS19	10	Melancias	Uso doméstico	Tubular com bomba injetora	-	Fossas negras

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

5.2 Compostos Nitrogenados

Dezoito por cento (18%) dos poços, IS01, IS04, IS06 e IS17 apresentaram, em suas amostras, teores de nitrato acima do permitido. Desses, apenas os poços IS04 e IS06 não pertencem à rede de abastecimento (Tabela 12).

Apesar de estar dentro do permitido para o consumo humano, para teores de nitrato, os poços IS03, IS07, IS08, IS09, IS10, IS12, IS15 e IS18 (36%), possuem concentração de nitrato acima de 5 mg.L^{-1} , onde, nesta faixa de concentração de 5 a 10 mg.L^{-1} , faz-se necessário ações preventivas e uso de regras para aplicação de resíduos em solos agrícolas, nos processos de licenciamento e fiscalização ambiental (CETESB, 2013), visto que, indicam provável contaminação por atividades antrópicas como: fossas mal estruturadas, esgotamento sanitário danificado, disposição indevida de resíduos sólidos, cemitérios etc. Desses poços citados, apenas não pertencem a rede de abastecimento, os poços, IS12, IS15 e IS18.

A presença de nitrogênio amoniacal total significativa foi percebida em 9% dos poços amostrados, para poços como o IS18, a justificativa deve-se a falta de cuidado com o mesmo, haja vista que o mesmo estava em situação praticamente de abandono. Já para o poço

IS16 pode-se atribuir a utilização de fertilizantes na plantação de capim elefante, porém, esse poço, é utilizado somente para a irrigação.

Nas quatro campanhas realizadas para amostragem de água do aquífero, foram encontradas concentrações de nitrogênio amoniacal nos poços, IS16 e IS18, entre 0,5 mg.L⁻¹ e 3,6 mg.L⁻¹. Pode-se afirmar que há uma contaminação pontual contínua no aquífero causada, provavelmente, pela infiltração de esgotos domésticos oriundos de casas e restaurantes próximos ao poço IS18 e, pelo uso excessivo de fertilizantes na plantação próxima ao poço IS16.

Tabela 12 – Teores médios de N-nitrato, N-nitrito e N-amoniacal total, em mg.L⁻¹, coletados nos períodos de nov/2014 a nov/2015

POÇOS VMP*	N-nitrato 10,0	σ	N-nitrito 1,0	σ	N-amoniacal Total	σ
IS01	10,50	±1,80	<LD	-	0,10	0,00
IS02	2,30	±0,47	0,05	±0,01	1,00	±0,9
IS03	7,78	±0,73	<LD	-	0,05	0,05
IS04	16,53	±1,49	0,05	±0,01	0,10	0,00
IS05	0,40	±0,10	<LD	0,00	0,10	0,00
IS06	20,23	±5,93	0,01	0,00	0,20	±0,1
IS07	6,83	±1,49	0,01	0,00	0,10	0,00
IS08	8,03	±0,88	<LD	-	0,05	±0,05
IS09	7,05	±0,90	<LD	-	0,05	±0,05
IS10	5,30	±0,45	<LD	-	0,05	±0,05
IS11	<LD	-	<LD	-	0,10	0,00
IS12	5,78	±1,39	<LD	-	0,10	0,00
IS13	0,90	±0,10	<LD	-	0,09	±0,01
IS14	0,40	±0,10	<LD	-	0,15	±0,05
IS15	5,87	±3,69	<LD	-	0,47	±0,25
IS16	0,73	±0,22	0,03	±0,01	2,14	±1,1
IS17	10,05	±1,88	<LD	-	0,10	±0,1
IS18	5,23	±3,84	0,06	±0,02	2,37	±0,84
IS19	2,97	±1,62	<LD	-	0,10	±0,004
IS20	3,85	±0,20	<LD	-	0,10	0,00
IS21	3,95	±1,76	0,05	±0,02	0,13	0,00
IS22	3,73	±1,16	0,01	0,00	0,10	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

σ - Desvio Padrão

LD – Limite de detecção

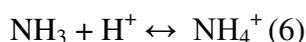
*VMP – Valor máximo permitido para potabilidade em mg.L⁻¹ (Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil, 2011)

A amônia é o produto inicial da decomposição de resíduos orgânicos nitrogenados e sua presença indica, na maioria das vezes, a existência destes resíduos (MANAHAN, 2003).

A legislação (Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil, 2011) estabelece o limite de 1,5 mg.L⁻¹ de amônia, como NH₃, a qual é tóxica. A Tabela 13 mostra os valores

de nitrogênio amoniacal total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4$), os quais são determinados por técnicas analíticas.

As duas formas de amônia estão em equilíbrio segundo a reação:



Onde, $K_1 = [\text{NH}_4^+] / [\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+]$ (7)

A Tabela 20 fornece a base de dados para o cálculo de concentração de NH_3 , através da equação de Johansson e Wedborg (AMINOT; CHAUSSEPIED, 1983), o qual estabelece a relação entre K_1 , salinidade e temperatura como:

$$\log K_1 = -0,46 + 0,00113 \times S + 2887,9 \times T^{-1} \quad (8)$$

onde: S = salinidade; T = temperatura da água, em Kelvin.

A percentagem da amônia é dada por:

$$\% \text{NH}_3 = 100 [1 + \exp_{10} (\log K_1 - \text{pH})] \quad (9)$$

O cálculo da concentração em NH_3 se efetua segundo:

$$[\text{NH}_3] = (\% \text{NH}_3 / 100) \times [\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+] \quad (10)$$

Tabela 13 – Concentração, em mg.L^{-1} , de amônia não ionizada (NH_3) com base na equação de Johansson e Wedborg (AMINOT; CHAUSSEPIED, 1983)

Amostra	pH da água	Temperatura da água em Kelvin (K)	Salinidade da água	$[\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+]$	$\log K_1$	% NH_3	$[\text{NH}_3]$
IS16	7,38	303,15	1,1	2,14	9,06	2,04	0,04
IS18	7,72	303,15	3,4	2,37	9,06	4,34	0,1

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Em laboratório determinou-se a amônia total $[\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+]$ e com base na temperatura da água amostrada, pH e salinidade, calcula-se a amônia tóxica ou não ionizada (NH_3). Destes três parâmetros (T, pH, S) o pH é o que mais influencia na concentração da amônia.

As amostras com maior concentração em amônia total (IS16 e IS18) na área de estudo possuem, respectivamente, concentrações de amônia em $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, dentro da potabilidade da água segundo a legislação brasileira.

Considerando que o valor de pH das amostras de água coletadas no aquífero costeiro de Icapuí estão entre 5,7 e 7,8 (Tabela 36), pode-se afirmar que os teores de amônia ficaram restritos a no máximo 5% da concentração do nitrogênio amoniacal total. Em apenas dois poços (IS04 e IS05) a água coletada possuía o valor de pH levemente alcalina, próximo a 8, nestas o percentual de amônia pode chegar a 17%.

Espécies químicas nitrogenadas inorgânicas precipitam com dificuldade e, podem

se estabilizar em ambientes redutores, com Potencial Redox (Eh) negativo. A sua capacidade de mobilidade no substrato, associada à efusão, na forma gasosa, permiti a migração das camadas superiores do solo para a água (FEITOSA, 2008).

O Ministério da Saúde do Brasil limita a concentração de nitrato (N-NO_3^-) em 10 mg.L^{-1} . Essa espécie nitrogenada, ocorre em teores, geralmente, no intervalo de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ a 10 mg.L^{-1} , nas águas subterrâneas, podendo chegar a 1000 mg.L^{-1} , em águas poluídas.

A amônia (N-NH_3) é um indicativo de poluição recente, onde a presença de níveis elevados de nitrogênio amoniacal prejudica a qualidade da água. A conversão da amônia para nitrito, e deste para nitrato resulta em consumo de oxigênio (ARAÚJO *et al.*, 2006).

Os poços tubulares, por serem construções ligadas diretamente ao aquífero, são considerados meios de contaminação indireta de um aquífero. Problemas de engenharia e de manutenção podem ocasionar a contaminação da água de um aquífero mais profundo pela entrada de sedimentos e água contaminada (FEITOSA, 2008).

Acidentes como rompimento de fossas sépticas e tubulação da rede de esgoto não são incomuns. Permitindo assim, a contaminação e poluição da água por compostos ricos em nitrogênio, fósforo e metais pesados (CASTANY, 1975).

Os efluentes industriais e domésticos apresentam em sua composição, uma ampla lista de poluentes, orgânicos e inorgânicos. Exemplos presentes em vasta literatura são: os compostos orgânicos refratários, vírus, bactérias patogênicas, detergentes, fosfatos, graxas e óleos, sais, metais, agentes quelantes, sedimentos, objetos flutuantes, nitrato etc. (GONÇALVES; SOUSA, 1997).

Mesmo com baixa densidade demográfica no município de Icapuí, $43,43 \text{ hab/km}^2$ (IBGE, 2013), o aquífero pode estar comprometido pelo adensamento populacional, visto que 54 % dos poços estudados requerem manejos de práticas ambientais devido ao teor de nitrato em sua composição química. Ao compararmos os resultados deste estudo para nitrato com outros, como, por exemplo, o realizado por Dovidauskas *et al.* (2015) na cidade de Monte Azul Paulista, uma cidade com densidade demográfica, $71,86 \text{ hab/km}^2$ (IBGE, 2017), encontraram 50% dos poços contaminados com nitrato, em área urbana antiga.

No estudo, Dovidauskas e colaboradores, mesmo encontrando vazamento na rede coletora de esgoto, somado a isso, um adensamento populacional maior, observa-se os teores medidos para nitrato, $0,3-16,4 \text{ mg.L}^{-1}$ se aproximam aos de Icapuí, $0,0-20,2 \text{ mg.L}^{-1}$, o que confirma a contaminação por proximidade de fossas sépticas e negras.

Fernandes *et al.* (2010), encontraram na região do semiárido cearense, valores

entre 0,0 mg.L⁻¹ a 83,0 mg.L⁻¹, apesar da baixa média de pluviosidade anual, 725,4 mm, os teores altos, paradoxal à pouca lixiviação do solo, pode estar associado ao uso excessivo de fertilizantes inorgânicos nitrogenados.

Frizzo (2006), encontrou no município vizinho, Aracati, valores entre 10,0 a 30,0 mg.L⁻¹ em poços tubulares da rede de abastecimento público, o que demonstra a falha na manutenção dos poços no extremo litoral leste do Ceará e falta, também, de medidas de prevenção, já citadas em parágrafos anteriores.

Contribui com esses resultados, a preocupação com qualidade da água distribuída, os valores altos de turbidez (acima de 5 uT), em todos os poços do estudo, onde os valores médios, somente nos poços de abastecimento, variaram de 6,5 a 11 uT.

5.3 Doenças notificadas no município de Icapuí e no Estado do Ceará

Casos confirmados de doenças de notificação compulsória como: meningite, tuberculose, hanseníase, hepatite viral e dengue, registradas no município (Tabela 14) e, assim como, casos de doenças diarreicas (Tabela 15), podem estar relacionados com os resultados citados anteriormente para grupos de coliformes e compostos nitrogenados no aquífero de Icapuí, porém, também pode estar associado à falta de higiene da população.

Tabela 14 - Casos confirmados das doenças de notificação compulsória em Icapuí 2010-2014

Ano	Dengue	Hanseníase	Tuberculose	Hepatite viral	Meningite
2010	01	00	03	00	00
2011	11	00	04	00	00
2012	19	01	02	00	00
2013	11	00	02	00*	01
2014	01	00	03	02*	00

Fonte: IPECE, 2014; MINISTÉRIO DA SAÚDE - SINAN, 2014.

*Segundo a Secretaria de Saúde de Icapuí-CE

Tabela 15 - Casos confirmados de doenças diarreicas agudas em Icapuí 2006-2015

Anos	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Casos	1093	818	609	425	549	800	495	515	390	501

Fonte: Secretaria de Saúde de Icapuí (SIVEP-DDA/MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

Os dados de doenças associadas à água, não apresentam diferenças significativas a outro município do Estado, quando comparada a Jijoca de Jericoacoara, que possui características próximas, por também ser um polo de interesse ecológico e população de aproximadamente 20mil (Tabela 16).

Tabela 16 - Casos confirmados das doenças de notificação compulsória em Jijoca de Jericoacoara 2010-2012

Ano	Dengue	Hanseníase	Tuberculose	Hepatite viral	Meningite
2010	00	01	03	01	01
2011	02	00	04	02	00
2012	03	02	05	00	01

Fonte: IPECE, 2014

Segundo matéria veiculada no jornal local, Diário do Nordeste (2016), do dia 16 de abril, os casos confirmados no Estado do Ceará, nos três primeiros meses do ano, já havia ultrapassado 120 mil casos de diarreia, superando a metade dos dados do ano passado. O destaque negativo foi o município de Maracanaú, na Grande Região Metropolitana de Fortaleza, com 7.853 casos, a capital, Fortaleza, com 4.179 casos. Icapuí, até o dia 12 de dezembro de 2016, segundo a Secretaria de Saúde do município, apresentou 630 casos.

A partir de 2012, observa-se no município de Icapuí, dados pluviométricos abaixo da média histórica (914 mm), e que coincide com um decréscimo nos casos de diarreia. Indicando a proliferação de bactérias na água por meio do aumento da pluviosidade, em anos de intensas chuvas e, por consequência, o aumento no volume de água no aquífero oriunda de contaminação.

5.4 Mortalidade infantil em Icapuí, Aracati e no Estado do Ceará

Quando se compara os dados de mortalidade infantil, entre o município de estudo e o adjacente (Aracati), percebe-se que Icapuí possui nos anos 2012 a 2014 valores superiores a Aracati para menores de um ano de idade (Tabela 17).

O dado comparativo, entre os dois locais, justifica-se não só pela localização e por geologia idênticas, mas principalmente, pela diferença na obtenção de água bruta, enquanto em Aracati é feita a captação por meio de adutora (Canal do Trabalhador), Icapuí, por sua vez, tem na sua totalidade de exploração do aquífero costeiro, por poços artesanais profundos. Também, têm entre eles, Icapuí e Aracati, outra diferença, no caso, as empresas gerenciadoras do sistema de abastecimento de água e esgoto. Aracati, a sua água e esgoto tem a gestão da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, e Icapuí, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).

No fator demográfico, observa-se que Aracati possui uma população estimada em

72.727 e, Icapuí, apenas, 19.418 (CEARÁ, 2015). Apesar de ter uma população quase quatro vezes maior, Aracati possui taxa de mortalidade infantil para cada mil nascidos menores de um ano de idade que os de Icapuí, fatores como melhor estrutura hospitalar e também o quantitativo de profissionais de saúde devem ser observados.

Tabela 17 - Taxa de mortalidade infantil, segundo os municípios, Icapuí e Aracati, e a média do Estado do Ceará, no período de 2010 a 2014

Municípios	Taxa de mortalidade infantil (por mil nascidos vivos)		
	2010		
	Neonatal	Pós-neonatal	Menores de 1 ano de idade
Ceará (1)	9,3	3,8	13,1
Aracati	5,7	1,9	7,6
Icapuí	13,2	4,4	17,6
Municípios	Taxa de mortalidade infantil (por mil nascidos vivos)		
	2011		
	Neonatal	Pós-neonatal	Menores de 1 ano de idade
Ceará (1)	9,1	4,2	13,3
Aracati	7,3	2,1	9,4
Icapuí	5,0	-	5,0
Municípios	Taxa de mortalidade infantil (por mil nascidos vivos)		
	2012		
	Neonatal	Pós-neonatal	Menores de 1 ano de idade
Ceará (1)	9,1	3,7	12,79
Aracati	13,7	3,2	16,81
Icapuí	5,7	17,2	22,99
Municípios	Taxa de mortalidade infantil (por mil nascidos vivos)		
	2013		
	Neonatal	Pós-neonatal	Menores de 1 ano de idade
Ceará (1)	8,9	3,6	12,6
Aracati	7,4	2,1	9,5
Icapuí	12,4	-	12,4
Municípios	Taxa de mortalidade infantil (por mil nascidos vivos)		
	2014		
	Neonatal	Pós-neonatal	Menores de 1 ano de idade
Ceará (1)	8,64	3,72	12,36
Aracati	7,87	1,12	9,00
Icapuí	5,71	5,71	11,43

(1) Inclusive os nascidos vivos sem informação do município.

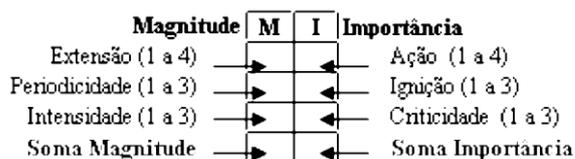
Fonte: CEARÁ (2015)

5.5 Valoração dos impactos ambientais causados pela exploração do aquífero de Icapuí

Na tabela a seguir (Tabela 18) são mostradas as matrizes com os seus aspectos qualitativos, no caso da valoração ambiental e, quantitativos, na matriz de Leopold.

Tabela 18 – Valores dos atributos de magnitude e importância para as etapas de obtenção e uso da água subterrânea

ATIVIDADES	ASPECTOS AMBIENTAIS																								MÉDIAS		ÍNDICE FINAL	
	ANTRÓPICO												BIO		FÍSICO													
	ECONOMIA LOCAL		INFRA-ESTRUTURA		TECNOLOGIA		QUALIDADE DE VIDA		SAÚDE		DESENVOLVIMENTO REGIONAL		PAISAGISMO		QUALIDADE DO PRODUTO FINAL		FLORA/FAUNA	AR		ÁGUA		SOLO						
	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I				
																												DIMINUIÇÃO DA DIVERSIDADE
EXPLORAÇÃO DO POÇO	1	1	N	N	2	2	N	N	N	N	2	2	N	N	N	N	N	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	4	4	16
	1	1	N	N	1	1	N	N	N	N	2	2	N	N	N	N	N	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI			
	1	1	N	N	1	1	N	N	N	N	1	1	N	N	N	N	N	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI			
	3	3	N	N	4	4	N	N	N	N	5	5	N	N	N	N	N	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI			
CONSTRUÇÃO DO POÇO	3	4	3	3	3	3	2	2	N	N	3	3	3	3	4	2	3	4	1	1	2	1	1	1	1	6	5,5	33
	1	1	2	2	2	2	1	1	N	N	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1			
	3	3	3	2	2	2	1	1	N	N	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1			
	7	8	8	7	7	7	4	4	N	N	7	7	7	7	8	6	6	7	4	3	5	3	3	1	1			
EXPLOTAÇÃO DO POÇO	2	2	2	2	1	1	4	2	4	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4,8	4,6	22,1
	2	2	2	2	1	1	1	3	1	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	2	2	2	2	1	1	3	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	6	6	6	6	3	3	8	8	8	8	6	6	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			



NI = Não Impactante

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016

A utilização de dados quali-quantitativos, permite a análise sistêmica do ambiente e suas variações nos campos mensuráveis e intangíveis da biodiversidade e seus atores.

Após a adaptação da matriz de Leopold observou-se que a atividade hierarquicamente mais impactante foi durante a construção dos poços, que teve como produto das médias o valor 33. Tal atividade envolve tanto contratação de técnicos especialistas, inclusive de outras cidades do Estado, como mão-de-obra local, compra e aluguel de maquinários, aumento na hospedagem das pousadas e hotéis, gera fluxo de capital ao comércio local, proporciona investimentos na malha elétrica e hidráulica e outros mais.

Durante a exploração do aquífero, desde que observado os cuidados com a manutenção dos poços, já que a princípio se têm uma água subterrânea de boa qualidade, como: o uso de filtros específicos, dessalinização quando necessária, adotar todas as medidas mitigadoras, serão encontrados altos índices de magnitude e importância nos fatores qualidade de vida e saúde.

5.6 Classificação da vulnerabilidade do aquífero de Icapuí

A partir das medições em campo (Tabela 19) e descrições de perfis de poços apresentando dados de coordenadas, níveis estáticos e dinâmicos, litologia e ano de construção, implantados pela SOHIDRA – Superintendência de Obras Hidráulicas do Estado do Ceará, conseguidos junto ao site da CPRM.

Tabela 19 – Dados de nível estático, em metros, observados nos poços de estudo

Poços	Nov/14	Mar/15	Jun/15	Nov/15
IS01	39,9	32,9	39,9	39,9
IS02	0,7	0,6	0,7	1,2
IS04	3,0	2,0	2,0	2,0
IS06	7,9	7,5	7,6	7,5
IS07	50,0	47,0	50,0	ND
IS12	5,0	5,0	5,0	5,0
IS13	2,2	0,7	2,8	3,1
IS14	1,0	0,6	0,7	1,0
IS16	1,5	1,5	1,0	1,5
IS18	2,0	2,0	1,8	2,0
IS21	ND	4,5	4,5	4,7
IS22	18,6	18,1	18,6	18,9

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

ND – Não Detectável

A zona vadosa foi classificada como grau 0,7, por possuir sedimentos inconsolidados, formados por areia quartzosa, areia fina, arenito e argilosos, e o tipo de aquífero como sendo livre (Tabela 20). A vulnerabilidade intrínseca do aquífero, na faixa de praia onde se encontra a maioria dos poços, é classificada como média, conforme a tabela 28. Apenas os poços em que o nível estático se encontrava a dezenas de metros de profundidade (IS01 e IS07), apresentaram vulnerabilidade baixa, o que indica menor propensão do aquífero à contaminação. No entanto, a pressão das atividades antrópicas sobre o meio ambiente, afetou a qualidade da água, visto que nestes poços foram encontrados coliformes e nitrato.

Tabela 20- Vulnerabilidade à contaminantes do aquífero em Icapuí-CE

POÇO	PARÂMETROS GOD			RESULTADOS	
	UNIDADE AQUÍFERA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE	VALOR	CLASSIFICAÇÃO
IS01	0,6	0,7	0,7	0,294	BAIXA
IS02	0,6	0,7	0,9	0,378	MÉDIA
IS04	0,6	0,7	0,9	0,378	MÉDIA
IS06	0,6	0,7	0,8	0,336	MÉDIA
IS07	0,6	0,7	0,7	0,294	BAIXA
IS12	0,6	0,7	0,8	0,336	MÉDIA
IS13	0,6	0,7	0,9	0,378	MÉDIA
IS14	0,6	0,7	0,9	0,378	MÉDIA
IS16	0,6	0,7	0,9	0,378	MÉDIA
IS18	0,6	0,7	0,9	0,378	MÉDIA
IS21	0,6	0,7	0,9	0,378	MÉDIA
IS22	0,6	0,7	0,8	0,336	MÉDIA

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

Os poços localizados nas coordenadas plotadas em IS01 e IS07, possuem uma cota topográfica maior, o que os relaciona a uma maior profundidade do poço e distanciamento do lençol freático, conseqüentemente, menor risco de contaminação antrópica e, além do mais, possuem no seu entorno, um solo, composto na sua maioria por argila que, podem capturar os contaminantes, por meio de trocas catiônicas realizadas no sedimento pela matéria orgânica e, caracterizando-se por sua baixa permeabilidade, dificultando a percolação dos mesmos. Tal descrição do solo pode ser visualizada no perfil do poço IS03 (Quadro 4).

Porém, os dados de nitrato, e de coliformes totais, mostram que o adensamento demográfico próximo ao poço IS07 e, a criação de animais, no entorno do poço IS01, mesmo com a baixa vulnerabilidade do aquífero, comprovam que ele está contaminado por fontes difusas, como: rejeitos humanos e rejeitos de animais de criação.

5.7 Cálculo do balanço hídrico no município de Icapuí

Apesar de ser um ambiente costeiro, os valores pluviométricos na série histórica, associado às elevadas médias de temperaturas, as quais são mais elevadas na quadra chuvosa, apresentam resultados de quase nulidade em termos de infiltração efetiva no local, o que, de certo modo, responde as questões da população e dos gestores quanto a escassez de poços e a sua salinização.

A Tabela 21 apresenta que, apenas 8,10% das águas meteóricas que ocorreram no local foram responsáveis pela recarga do aquífero no período de 2004 a 2012. O que podemos estimar que, o aquífero não está mais sendo abastecido e, muito provavelmente, atingiu o seu limite de exploração.

Tabela 21 – Estimativa da recarga subterrânea (Infiltração efetiva, I_e), por meio do balanço hídrico, usando dados meteorológicos de 2004-2012, no município de Icapuí.

Mês	T °C	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	Ie (mm)
JAN	27,80	13,11	1,06	168,4	115,6	-52,8	0,00	115,6	0,00
FEV	28,04	13,28	0,95	156,0	184,1	28,1	28,10	156,0	0,00
MAR	28,05	13,29	1,05	172,7	237,8	65,1	93,20	172,7	0,00
ABR	28,18	13,38	1,00	167,4	249,5	82,0	100,00	167,4	75,30
MAI	27,77	13,09	1,02	161,3	171,0	9,7	100,00	161,3	9,70
JUN	26,74	13,37	0,99	135,2	44,9	-90,2	9,80	44,9	0,00
JUL	26,36	12,11	1,02	131,7	21,9	-109,8	0,00	21,9	0,00
AGO	26,56	12,24	1,03	137,0	5,8	-131,2	0,00	5,8	0,00
SET	26,83	12,43	1,00	138,3	2,7	-135,7	0,00	2,7	0,00
OUT	27,17	12,67	1,05	152,5	1,3	-151,2	0,00	1,3	0,00
NOV	27,61	12,98	1,03	159,3	3,3	-156,0	0,00	3,3	0,00
DEZ	27,88	13,17	1,06	170,2	14,4	-155,8	0,00	14,4	0,00
I anual =		154,10	Totais	1850,01	1052,3			867,3	84,90
			anuais=					Ie =	8,10%
a=		3,8932							

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: Elaborada pelo autor, 2016.

Durante os dois anos de estudo a infiltração efetiva foi nula, devido às poucas precipitações nos meses da quadra chuvosa e as altas temperaturas (Tabela 22).

Tabela 22 – Estimativa da recarga subterrânea (Infiltração efetiva, Ie), por meio do balanço hídrico, usando dados meteorológicos dos anos de estudo 2014-2015, no município de Icapuí.

Mês	T (média) °C	Im (mm)	K	ETP (mm)	PPT (mm)	PPT-ETP (mm)	C (mm)	ETR (mm)	Ie (mm)
JAN	27,80	13,11	1,06	168,4	40,50	-127,85	0,00	40,5	0,00
FEV	28,04	13,28	0,95	156,0	76,00	-80,00	0,00	76,0	0,00
MAR	28,05	13,29	1,05	172,7	128,00	-44,67	0,00	128,0	0,00
ABR	28,18	13,38	1,00	167,4	174,00	6,57	6,57	167,4	0,00
MAI	27,77	13,09	1,02	161,3	138,00	-23,32	0,00	138,0	0,00
JUN	26,74	13,37	0,99	135,2	13,50	-121,66	0,00	13,5	0,00
JUL	26,36	12,11	1,02	131,7	14,00	-117,72	0,00	14,0	0,00
AGO	26,56	12,24	1,03	137,0	0,00	-136,98	0,00	0,0	0,00
SET	26,83	12,43	1,00	138,3	0,00	-138,33	0,00	0,0	0,00
OUT	27,17	12,67	1,05	152,5	0,00	-152,53	0,00	0,0	0,00
NOV	27,61	12,98	1,03	159,3	5,00	-154,28	0,00	5,0	0,00
DEZ	27,88	13,17	1,06	170,2	14,00	-156,24	0,00	14,0	0,00
I anual =		154,10	Totais anuais=	1850,01	603,00			596,40	0,00
								Ie =	0,00%
a=		3,8932							

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: Elaborada pelo autor, 2016.

No entanto, analisando as medidas de nível estático para o mesmo período, observaram-se pequenas flutuações do nível da água ao longo do tempo amostral (Tabela 23), correspondendo a recargas e descargas naturais ou devido ao bombeamento dos poços.

Tabela 23 - Variação do nível estático, em metros, entre nov/14 a nov/15

Poço	Nov/14	Mar/15	Δ NE (Nov/14- Mar/15)	Jun/15	Δ NE (Mar/15 - Jun/15)	Nov/15	Δ NE (Jun/15 - Nov/15)
IS01	39,9	32,9	+7,0	39,9	-7,0	39,9	0
IS02	0,7	0,6	+0,1	0,7	-0,1	1,2	-0,5
IS04	3,0	2,0	+1,0	2,0	0	2,0	0
IS06	7,9	7,5	+0,4	7,6	-0,1	7,5	+0,1
IS07	50,0	47,0	+3,0	50,0	-3,0	0,0	-3,0
IS12	5,0	5,0	0	5,0	0	5,0	0
IS13	2,2	0,7	+1,5	2,8	-2,1	3,1	-0,3
IS14	1,0	0,6	+0,4	0,7	-0,1	1,0	-0,3
IS16	1,5	1,5	0	1,0	+0,5	1,5	-0,5
IS18	2,0	2,0	0	1,8	+0,2	2,0	-0,2
IS21	-	4,5	-	4,5	0	4,7	-0,2
IS22	18,6	18,1	+0,5	18,6	-0,5	18,9	-0,3

(+) subida do nível estático; (-) descida do nível estático.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

De novembro de 2014 a março de 2015, o nível da água em 08 poços subiu entre

0,1m a 6,5m. Esta recarga foi produzida pelas chuvas ocorridas no primeiro trimestre do ano de 2015, chuvas acumuladas de 333 mm, evidenciando uma rápida reação do aquífero. Nos outros poços não houve variação no nível. As medidas do nível estático de junho e de novembro, ambos em 2015, mostraram uma contínua descida neste nível na maioria dos poços, esperado pelo fim da quadra chuvosa, em outros três permaneceu constante. Esse comportamento reflete a falta de chuva e a intensificação no uso da água subterrânea.

O único caso anômalo ocorreu no poço IS06, cujo nível teve uma pequena recarga, tal evento pode estar associado à entrada de águas de fossas próximas ao poço, o mesmo encontra-se em local de grande adensamento populacional com construções sem o esgotamento sanitário e muito próximas umas das outras.

5.8 Parâmetros físico-químicos e elementos maiores.

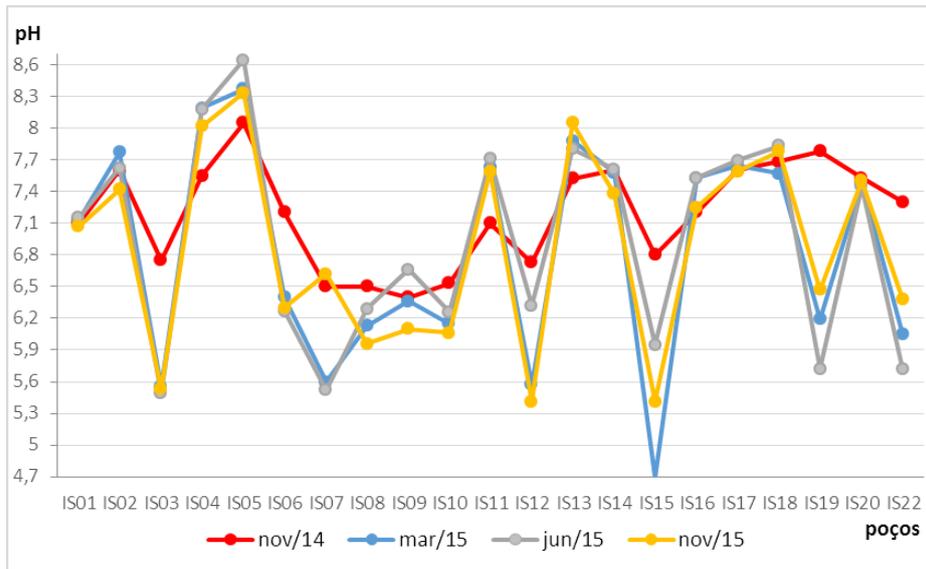
5.8.1 pH

O pH das amostras de água subterrânea coletadas nos poços variaram de 4,7 a 8,6, sendo que os valores na faixa do alcalino foram observados apenas em dois poços, o IS04 e o IS05 (Figura 22). O poço profundo IS05 foi o que apresentou águas mais alcalinas durante todo o estudo, entre 8,1 e 8,6. Isso é um indicativo que o poço capta águas armazenadas numa litologia diferente da qual está o restante dos poços, provavelmente formada por rochas carbonáticas da Formação Jandaíra.

Na primeira amostragem, novembro de 2014, foi observada a menor variação nos valores de pH das amostras, que ficou entre 6,4 e 8,1. Já na segunda amostragem, março de 2015, a variação foi a maior, os valores ficaram entre 4,69 e 8,37. A recarga do aquífero pelas chuvas do primeiro trimestre causou mudanças na hidroquímica, refletida no pH, o qual foi levemente menor na maioria dos poços.

De acordo com Santos (1988) os valores de pH da água subterrânea comumente estão entre 5,5 e 8,5. Desta forma, alguns poços, em determinada época do ano, apresentam valores fora do esperado, pH menor que 5,5. Isso pode ser uma causa natural ou influência da infiltração de esgotos domésticos, aumentando a quantidade de ácidos orgânicos na água.

Figura 22 – Valores de pH das águas coletadas nas quatro campanhas



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

5.8.2 Sólidos Totais Dissolvidos - STD

Um dos principais problemas que inviabiliza o uso da água subterrânea, para o consumo humano, é o excesso em sais, ou seja, quando a concentração em sólidos totais dissolvidos (STD) for superior a estabelecida pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (MS), que é 1000 mg.L^{-1} (BRASIL, 2011).

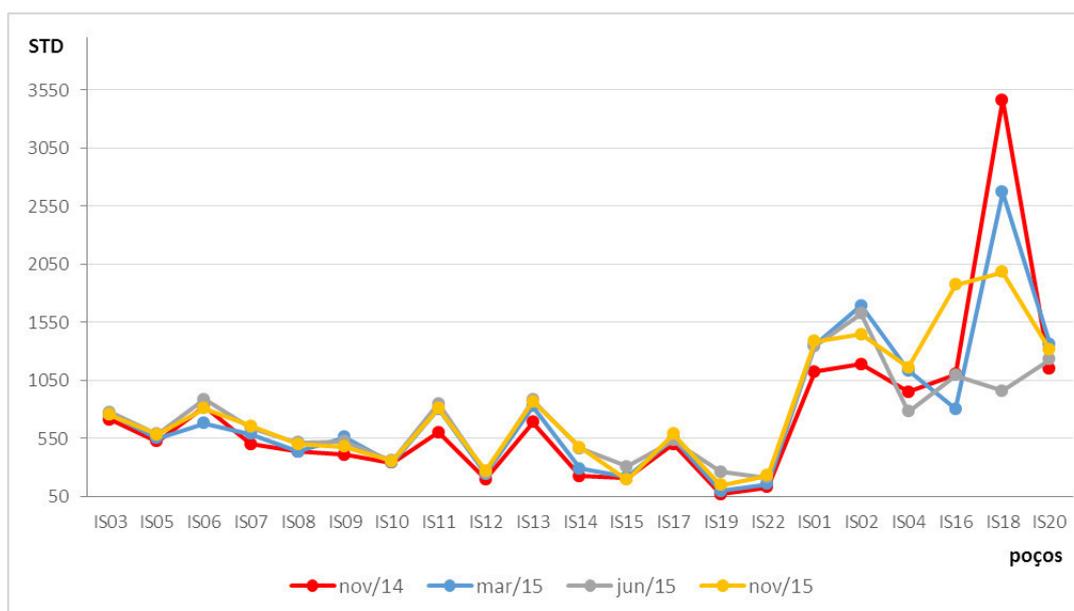
Na faixa costeira do Estado, os poços geralmente captam uma água de melhor qualidade, quanto à salinidade, do que os poços do cristalino, no interior do Estado (ROCHA, 2015) Em Icapuí, o STD médio, resultante de todas as 88 amostras, foi de água classificada como potável, $752 \pm 562 \text{ mg.L}^{-1}$, embora seis destes poços (IS01, IS02, IS04, IS16, IS18 e IS20) apresentaram águas, em 85% das amostras, acima do padrão (Figura 23). Nesses seis poços o teor de cloreto esteve acima do padrão, 250 mg.L^{-1} , em todas as amostras e, o sódio excedeu o padrão de 200 mg.L^{-1} em duas amostras.

Os poços de água mais salobra (IS01, IS02, IS04, IS16, IS18 e IS20) não estão concentrados numa determinada área, estão dispersos em toda a área de estudo, tanto na parte baixa, mais próxima do mar, como na parte alta, sobre as falésias e, na zona urbana. O IS18 é um poço raso, 4,5 m e está localizado nas barracas de praia, onde o terreno é arenoso e permeável, tem bomba injetora que retira a água para usos domésticos. Essas condições associadas aos elevados valores de STD e maior variabilidade de dados de STD ao longo do tempo, com $CV = 40\%$, sugerem que a água captada por esse poço seja uma mistura da água

do mar com água de escoamento superficial na época de chuva.

As águas dos poços IS01, IS02, IS16, IS18 e IS20, mostraram-se inadequadas para o consumo humano com relação ao teor de sólidos totais dissolvidos (STD), na maioria das campanhas (Figura 23). Exceção nas campanhas da quadra chuvosa para as amostras de água do poço IS16, na segunda campanha, e da água do poço IS18, na terceira campanha.

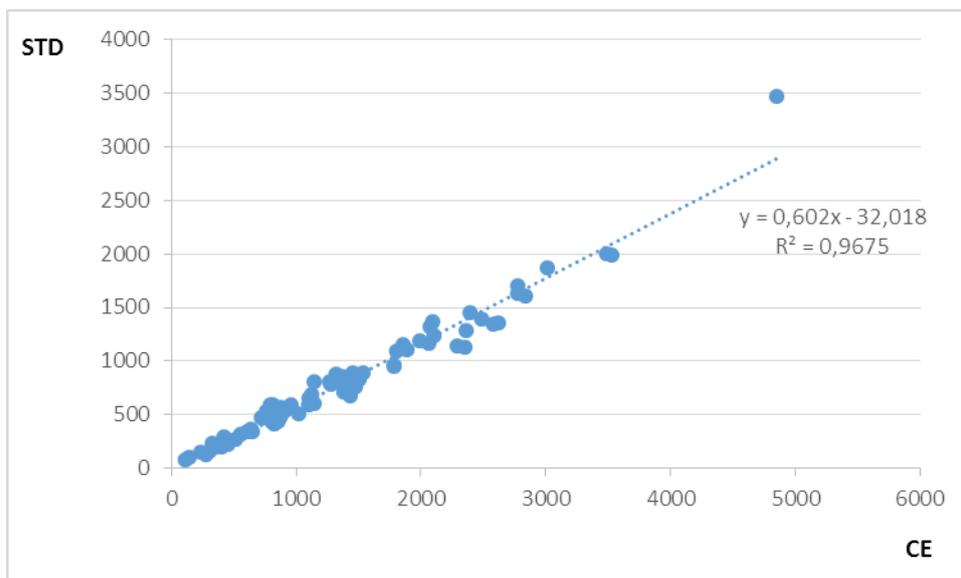
Figura 23 – Valores de Sólidos Totais Dissolvidos das águas coletadas nas quatro campanhas



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Os valores de STD, obtido pela somatória dos cátions e ânions maiores das 88 amostras, mostrou boa correlação com a condutividade elétrica (propriedade de condutância da água) que está diretamente associada com a presença de concentrações elevadas dos íons Na^+ e Cl^- em aquíferos costeiros. O valor do coeficiente de determinação, $R^2 = 0,96$, e a equação $\text{STD (mg/L)} = 0,602 * \text{CE}(\mu\text{S/cm})$ (Figura 24). Confirmaram a relação linear entre as duas medidas realizadas nas águas.

Figura 24 – Correlação STD versus CE das águas coletadas nas quatro campanhas



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Os demais parâmetros físico-químicos que foram utilizados para classificação das águas coletadas nos aquíferos pelo Diagrama de Piper estão descritos nas tabelas que segue 24, 25, 26 e 27.

Na Tabela 24 não aparece os dados para o poço IS21, pois o mesmo encontrava-se inacessível por sendo dentro de uma propriedade privada e não estar o proprietário no local. Observaram-se amostras contendo teores de íon sódio acima do valor máximo permitido (VMP) para o consumo humano em 19% pertencentes aos poços IS01, IS16, IS18 e IS20; já para o íon cloreto ocorreram 38% das águas coletadas pertencentes aos poços IS01, IS02, IS03, IS04, IS06, IS16, IS18 e IS20. A primeira campanha estava dentro do período de estiagem da região.

Tabela 24 – Resultados dos parâmetros físico-químicos da primeira campanha (nov/14)

Poços	Na ⁺ mg.L ⁻¹	Cl ⁻ mg.L ⁻¹	K ⁺ mg.L ⁻¹	Ca ²⁺ mg.L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	Mg ²⁺ mg.L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ mg.L ⁻¹	Condut. µS.cm ⁻¹	STD
VMP*	200	250					250		1000
IS01	207	330	5	13	266	148	75	2360	1011
IS02	180	411	6	4	323	78	173	1992	1188
IS03	155	337	6	10	22	18	120	1386	708
IS04	167	383	3	4	158	62	107	1786	950
IS05	120	77	1	2	276	2	42	767	520
IS06	173	304	5	13	47	14	149	1442	819
IS07	133	210	6	10	25	12	69	1022	500
IS08	92	159	6	11	42	9	73	804	432
IS09	81	171	6	15	49	11	38	830	406
IS10	78	119	5	11	42	8	48	609	337
IS11	94	133	3	4	229	58	76	1145	597
IS12	51	54	3	3	15	4	41	406	197
IS13	89	167	5	4	311	75	29	1133	684
IS14	20	34	5	30	104	4	25	337	222
IS15	54	67	9	7	30	6	24	343	206
IS16	220	363	8	50	224	37	195	1895	1101
IS17	75	119	9	3	153	37	50	837	499
IS18	782	1610	5	40	283	274	425	4860	3463
IS19	17	20	1	3	7	2	13	120,2	67
IS20	279	320	3	4	330	52	139	1860	1145
IS22	22	50	3	10	5	4	22	281	125

*VMP – Valor máximo permitido para potabilidade em mg.L⁻¹ (Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil, 2011)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

A Tabela 25 contém dados dos 22 poços estudados. Observaram-se valores acima do permitido para o consumo humano do íon sódio em 22,7% das águas coletadas pertencentes aos poços IS01, IS02, IS18, IS20 e IS21; já para o íon cloreto ocorreram 36,4% das águas coletadas pertencentes aos poços IS01, IS02, IS03, IS04, IS06, IS18, IS20 e IS21. Apesar de estarem no período de chuvas os resultados mostram que a quantidade de água meteórica não foi suficiente para uma diluição nas concentrações destes íons.

Tabela 25 – Resultados dos parâmetros físico-químicos da segunda campanha (mar/15)

Poços	Na⁺	Cl⁻	K⁺	Ca²⁺	HCO₃⁻	Mg²⁺	SO₄²⁻	Condut.	STD
	mg.L⁻¹	mg.L⁻¹	mg.L⁻¹	mg.L⁻¹	mg.L⁻¹	mg.L⁻¹	mg.L⁻¹	µS.cm⁻¹	
VMP*	200	250					250		1000
IS01	244	633	23	6	261	94	92	2630	1353
IS02	277	556	27	7	350	89	386	2777	1692
IS03	191	355	23	14	17	19	136	1476	755
IS04	186	534	14	6	153	76	163	2298	1132
IS05	115	102	3	5	276	2	44	811	547
IS06	133	256	17	35	79	15	140	1434	675
IS07	143	228	20	19	25	10	141	1104	586
IS08	97	176	14	13	42	12	78	860,6	432
IS09	118	241	14	43	49	2	89	877,3	556
IS10	68	136	10	17	42	7	58	649,3	338
IS11	124	154	14	10	227	58	215	1146	802
IS12	69	61	10	10	12	5	73	453,4	240
IS13	93	211	14	6	283	86	130	1315	823
IS14	35	46	14	46	118	4	25	425,4	288
IS15	61	87	14	10	12	6	25	457,3	215
IS16	122	246	27	36	222	26	124	1366	803
IS17	110	144	20	7	153	38	71	917,7	543
IS18	745	1237	36	6	237	125	284	5464	2670
IS19	23	38	8	4	10	5	8	149	96
IS20	382	377	18	3	335	59	186	2100	1360
IS21	382	849	18	3	493	152	100	3497	1997
IS22	38	59	10	14	7	6	18	316,9	152

*VMP – Valor máximo permitido para potabilidade em mg.L⁻¹ (Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil, 2011)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

A Tabela 26 contém dados dos 22 poços estudados na campanha logo após o período de chuvas. Observaram-se valores acima do permitido para o consumo humano do íon sódio em 27,3% das águas coletadas pertencentes aos poços IS01, IS02, IS06, IS18, IS20

e IS21; já para o íon cloreto ocorreram 36,4% das águas coletadas, o mesmo percentual da segunda campanha com alternância de valores acima do permitido na água do poço IS04 para a água do poço IS16.

Tabela 26 – Resultados dos parâmetros físico-químicos da terceira campanha (jun/15)

Poços	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Condut.	STD
	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	µS.cm ⁻¹					
VMP*	200	250					250		1000
IS01	248	582,2	19	15,2	258,8	84	104,6	2586	1342
IS02	308	503,9	32	7,2	372,1	92,6	297,5	2780	1621
IS03	192	347,3	19	9,6	17,3	20,2	137,5	1461	773
IS04	158	215,3	10	10,4	160,2	46,6	108	1279	777
IS05	173	90	1	4	271,1	2,4	44	818,6	587
IS06	215	293,5	24	27,2	81,3	17,3	157,3	1545	883
IS07	166	225	19	8	24,6	15,4	161,3	1112	640
IS08	143	172,2	14	12	46,8	12,5	82,6	891	513
IS09	136	193,7	19	15,2	46,8	14,4	71,4	875,2	522
IS10	78	121,3	13	12	39,4	8,6	62,8	647,9	354
IS11	151	171,2	10	18,4	229,2	71,5	197,5	1379	849
IS12	63	60,7	8	3,2	17,3	4,3	80,2	416,8	250
IS13	132	220,1	14	10,4	280,9	90,2	131,5	1455	879
IS14	58	101,8	14	55,2	160,2	13,4	58,8	729	463
IS15	58	90	19	15,2	19,7	8,6	44,8	563	305
IS16	256	322,9	50	40	256,3	37,4	124,5	1811	1089
IS17	82	131,1	20	32	155,3	22,6	61,2	925,7	532
IS18	211	347,3	19	25,6	184,8	53,8	108	1787	957
IS19	54	101,8	9	21,6	9,9	7,2	45	520,4	260
IS20	327	342,4	16	18,4	340,1	48	119,9	2109	1229
IS21	252	547	9	27,2	241,5	96,5	85,7	2373	1284
IS22	44	78,3	11	7,2	7,4	10,1	32,5	396,4	207

*VMP – Valor máximo permitido para potabilidade em mg.L⁻¹ (Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil, 2011)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

Na Tabela 27, observaram-se valores acima do permitido para o consumo humano do íon sódio em 36,4% das águas coletadas pertencentes aos poços IS01, IS02, IS04, IS06, IS16, IS18, IS20 e IS21; já para o íon cloreto ocorreram 31,8% das águas coletadas pertencentes aos poços IS01, IS02, IS03, IS04, IS18, IS20 e IS21.

Tabela 27 – Resultados dos parâmetros físico-químicos da quarta campanha (nov/15)

Poços	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Condut.	STD
	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	µS.cm ⁻¹					
VMP*	200	250					250		1000
IS01	276	564	23	10	259	108	93	2496	1386
IS02	288	445	26	8	333	97	237	2399	1443
IS03	200	326	23	11	17	18	121	1417	751
IS04	264	449	15	16	148	64	135	2072	1161
IS05	172	79,4	2,5	3,2	273,5	1,9	45,4	793,4	580
IS06	209	250	26	27	79	21	134	1495	805
IS08	126,1	174,7	15	13,6	41,9	10,6	76,1	873,1	497
IS09	110,4	174,7	17,5	16	41,9	13	65,5	875,7	474
IS10	80,4	121,1	11,2	13,6	37	8,2	53,2	645	349
IS11	129	159	10	11	237	73	185	1273	805
IS12	61,4	61,5	7,5	4,8	7,4	3,8	92	425,3	267
IS13	126	207	18	37	298	60	119	1324	867
IS14	67,8	123,1	12,5	35,2	147,9	22,1	58,5	737,2	469
IS15	37,4	67,5	11,2	6,4	7,4	6,2	36,7	354,5	191
IS16	459	576	38	68	288	48	390	3024	1870
IS17	93,1	142,9	17,5	16,8	155,3	35	75,1	959,5	586
IS18	489	824	25	80	229	53	269	3531	1982
IS19	24,4	41,7	6,3	11,2	12,3	1,4	21,9	244,5	143
IS20	312	342	15	21	340	50	213	2082	1311
IS21	315	635	19	10	375	141	101	2847	1605
IS22	43	87	10	14	10	7	34	432,1	228

*VMP – Valor máximo permitido para potabilidade em mg.L⁻¹ (Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil, 2011)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

Apesar de estarem no período de chuvas os resultados mostra que a quantidade de água meteórica não foi suficiente para uma redução no número de amostras com concentrações acima do VMP para o íon sódio, principalmente se compararmos com a primeira campanha do estudo, já com relação ao íon cloreto nas águas, houve sim uma pequena redução no número de amostras acima do VMP.

O poço IS07, na última campanha, encontrava-se seco, tal evento contribui para inferir sobre o esgotamento do aquífero, visto que era um poço que tinha uma profundidade de 50 m e abastecia uma cisterna de grande porte e, na sequência, a água era distribuída para uma das maiores comunidades, Praia Redonda.

O íon brometo tem um comportamento químico semelhante ao do íon cloreto. É um elemento extremamente reativo e corrosivo, estando presente na água do mar em concentrações acima ou igual a 65 mg/L e também é usado como traçador geoquímico para intrusão salina (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983). Nenhuma das amostras apresentaram características de água do mar com relação ao constituinte brometo (Tabela 28).

Flúor em pequenas quantidades ($1-3 \text{ mg.dia}^{-1}$) é necessário para a prevenção de cáries dentárias e bom desenvolvimento dos ossos. Concentrações de fluoreto na água para consumo humano entre $0-0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ tem como efeito crônico na saúde o surgimento de cáries dentárias, já valores entre $1,5-4 \text{ mg.L}^{-1}$, leva a formação de fluorose dentária, perceptível por meio de manchas nos dentes (EDMUNDS; SMEDLEY, 2013). Os dados apresentados na Tabela 36 mostraram que 68,2% das amostras apresentaram valores médios igual ou inferior a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$, o que leva a população a buscar complementação na sua dieta alimentar para o elemento flúor.

Tabela 28 – Teores médios de brometo e fluoreto, em mg.L⁻¹ nas águas coletadas nos períodos de nov/2014 a nov/2015

POÇOS	Brometo	σ	Fluoreto	σ
	mg.L⁻¹		mg.L⁻¹	
VMP*			1,5	
IS01	2,64	0,86	0,02	0,02
IS02	2,17	1,13	0,60	0,10
IS03	1,22	0,38	0,02	0,02
IS04	1,56	0,52	0,30	0,05
IS05	1,33	0,98	0,50	0,15
IS06	1,73	0,88	0,05	0,02
IS07	1,01	0,39	0,02	0,02
IS08	1,40	0,95	0,01	0,01
IS09	1,49	0,85	0,02	0,02
IS10	1,15	0,92	0,02	0,02
IS11	1,62	0,89	0,73	0,14
IS12	0,68	0,46	0,01	0,01
IS13	1,64	0,98	1,30	0,35
IS14	1,15	0,78	0,03	0,02
IS15	1,11	1,06	0,03	0,01
IS16	1,91	1,13	0,60	0,20
IS17	1,30	1,00	0,02	0,02
IS18	2,46	1,04	0,83	0,19
IS19	0,73	0,94	0,03	0,03
IS20	2,39	0,91	0,11	0,04
IS21	3,40	0,73	0,67	0,22
IS22	0,95	0,78	0,01	0,01

σ - Desvio Padrão

*VMP – Valor máximo permitido para potabilidade em mg.L⁻¹ (Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil, 2011)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

Por ter no estudo cinco poços destinados à irrigação, utilizou-se o Diagrama do *United States Salinity Laboratory* – USSSL com o intuito de classificar a água para fins agrícolas, cujo padrão é mais simples e utiliza das concentrações de alguns íons como: sódio, potássio, cloreto, sulfato, bicarbonato, STD e condutividade elétrica (SANTOS, 2008).

A maioria das amostras (mais de 50%) apresentaram alto risco de salinidade (Figura 25), tendo a condutividade entre 750 e 2250 $\mu\text{Mho}\cdot\text{cm}^{-1}$, são classificadas como C₃-S₁ (águas fracamente sódicas), C₃-S₂ (águas medianamente sódicas) e C₃-S₃ (águas altamente sódicas) (Tabela 29), onde só podem ser utilizadas em solos bem drenados com cultivo específico de vegetais de alta tolerância salina (halófitas), cultivos como da *Atriplex nummularia* (forrageira).

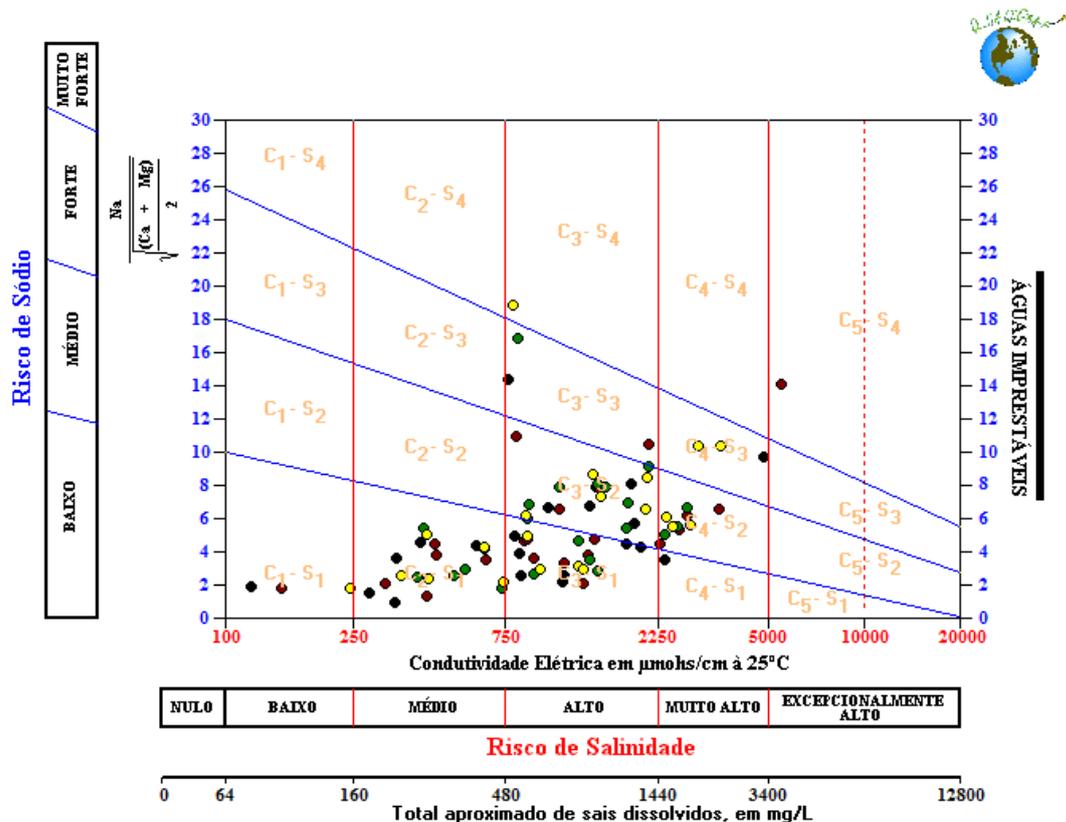
Tabela 29 – Classificação das águas coletadas segundo o USSSL

Categoria	Nº de amostras	Poços
C ₃ -S ₁	25	IS03, IS07, IS08, IS09, IS11, IS13, IS17 e IS22
C ₃ -S ₂	19	IS02, IS05, IS06, IS16 e IS20
C ₃ -S ₃	3	IS04

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

O poço IS18 apresentou os resultados mais altos para sódio e condutividade, seguido pelos poços IS04, IS20 e IS21 (Figura 25).

Figura 25 – Salinidade dos poços e o risco em níveis de STD e sódio



Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

Primeira campanha novembro/14

Segunda campanha março/15

Terceira campanha junho/15

Quarta campanha novembro/15

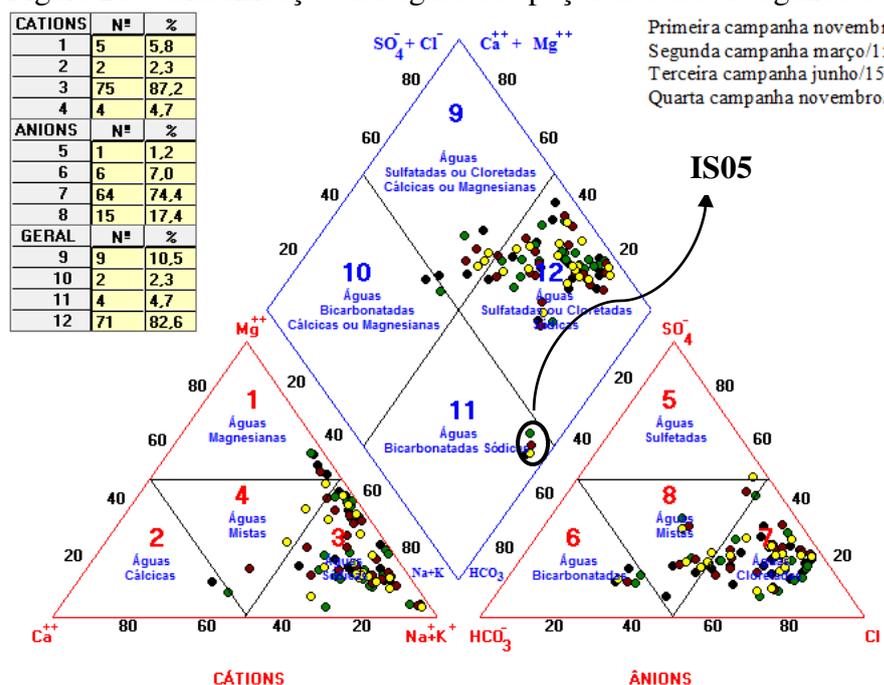
5.8.3 Classificação das águas pelos íons dominantes

O sódio foi o cátion principal em 87% das amostras de água subterrânea, e o cloreto o principal entre os ânions, com dominância de 74%. Isso resultou em águas do tipo cloretada sódica na maior parte do aquífero e ao longo do tempo. Portanto, os eventos de chuva registrados alteraram a salinidade da água, como visto para alguns poços, porém não alterou o tipo de água que permaneceu devido, provavelmente, à água de recarga ser também cloretada-sódica.

Águas cloretadas sódicas estão no contexto de um aquífero costeiro livre, onde a recarga dar-se-á por chuvas de litoral, as quais são ricas em espécies químicas marinhas e, também, por águas superficiais enriquecidas de sais devido ao processo evaporativo das águas rasas das lagoas e lagunas costeiras presentes na região, as mesmas chegam ao aquífero por infiltração no solo arenoso.

Águas bicarbonatadas foram encontradas no poço profundo IS05, nas quatro amostragens, o qual também apresentou pH alcalino em todas as amostras. Portanto, isso corrobora com a hipótese de que os poços profundos da área captam água de um aquífero carbonático (Figura 26).

Figura 26 – Classificação das águas dos poços estudados segundo a composição iônica



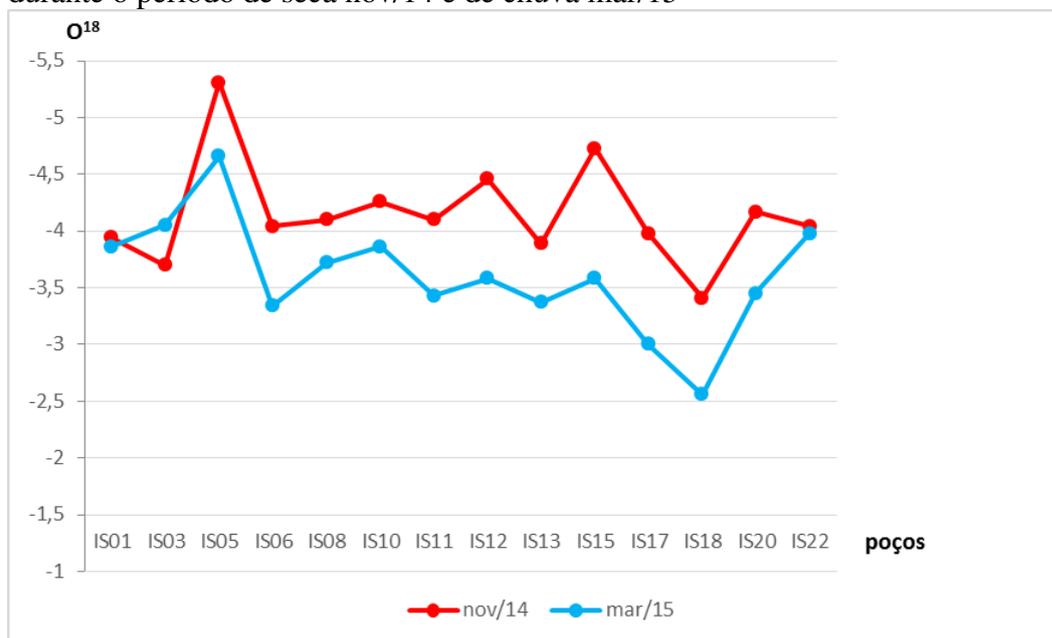
Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

5.9 Isótopos Oxigênio-18 ($\delta^{18}\text{O}$)

A água subterrânea não sofre evaporação, portanto, se as águas pluviais se infiltram rapidamente alimentando os aquíferos, a água subterrânea deverá apresentar a composição isotópica correspondente a média ponderada da chuva. No entanto, diversos fatores como a mistura com água de origem não meteórica e influência de águas fósseis, podem determinar a composição isotópica de águas subterrâneas (SALATI *et al.*, 1971).

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ encontrados, foram sempre negativos e variaram de -2,56 a -5,31 (Figura 27). Visto que a área de estudo é litorânea, considerou-se como valor de referência os da chuva de Fortaleza, obtidos pela IAEA (1981) (Tabela 30).

Figura 27 – Distribuição dos valores de Oxigênio-18 ($\delta^{18}\text{O}$) em águas de poços de Icapuí-CE, durante o período de seca nov/14 e de chuva mar/15



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Tabela 30 - Valores de Oxigênio-18 ($\delta^{18}\text{O}$) em águas de poços de Icapuí-CE, durante o período de nov/14 a nov/15

Poços	$\delta^{18}\text{O}$	Poços	$\delta^{18}\text{O}$	Poços	$\delta^{18}\text{O}$	Poços	$\delta^{18}\text{O}$
Nov/14		Mar/15		Jun/15		Nov/15	
IS01	-3,94	IS01	-3,86	IS01	-3,67	IS01	-3,86
IS03	-3,70	IS03	-4,05	IS03	-3,75	IS03	-4,03
IS05	-5,31	IS05	-4,66	IS05	-5,03	IS05	-4,96
IS06	-4,04	IS06	-3,34	IS06	-3,69	IS06	-3,76
IS08	-4,10	IS08	-3,72	IS08	-4,22	IS08	-3,98
IS10	-4,26	IS10	-3,86	IS10	-3,97	IS10	-3,87
IS11	-4,10	IS11	-3,43	IS11	-3,77	IS11	-3,33
IS12	-4,46	IS12	-3,58	IS12	-4,03	IS12	-3,46
IS13	-3,89	IS13	-3,37	IS13	-3,93	IS13	-3,18
IS15	-4,73	IS15	-3,58	IS15	-4,19	IS15	-4,06
IS17	-3,98	IS17	-3,00	IS17	-3,64	IS17	-3,24
IS18	-3,41	IS18	-2,56	IS18	-2,80	IS18	-2,15
IS20	-4,17	IS20	-3,45	IS20	-3,93	IS20	-3,69
IS22	-4,04	IS22	-3,98	IS22	-3,81	IS22	-3,81

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

Desta forma, pode-se deduzir que os valores encontrados de $\delta^{18}\text{O}$, nas amostras da área de estudo, correspondem a valores das precipitações atuais, as quais recarregam o aquífero. Outras fontes de alimentação do aquífero como intrusão marinha e infiltração a partir de águas superficiais evaporadas, como lagoas costeiras, não são importantes, visto que não foram observados valores positivos típicos dessas águas.

Mas, os valores de $\delta^{18}\text{O}$ de dois poços, IS05 e IS18 sugerem mecanismos diferentes de recarga em relação aos outros. O IS05 é o mais negativo e o IS18 é o menos negativo dentre todas as amostras. O IS05 por ser profundo e o $\delta^{18}\text{O}$ não ser comum das chuvas atuais, pode estar captando águas fósseis, isto é massas de água de origem meteórica, porém precipitadas em condições climáticas diferentes das atuais. Já os valores de $\delta^{18}\text{O}$ da água do poço IS18, indicam que o aquífero é alimentado por águas que sofreram evaporação antes de infiltrar, e são águas recentes, tendo em vista a presença de coliformes e amônia nas amostras desse poço.

5.10 Elementos traço.

Os elementos traço Zn, Al, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Ag, Cd, Pb e V foram detectados em todas as 14 amostras estudadas, mas, em concentrações que não oferecem risco à saúde (Tabela 31), ou seja, abaixo dos padrões para o consumo humano, estabelecidos pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Exceção se faz ao elemento cromo, presente em cinco amostras com concentração muito acima de $50 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 32). Essa anomalia de cromo foi verificada apenas nas amostras de novembro de 2015, onde os valores estiveram entre 64 a $311 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Tabela 31 – Teores de elementos traços nas águas coletadas nos poços durante a primeira campanha (nov/14), utilizando o método ICPMS, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

Elemento traço/poço	Al	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Pb
LD*	2	0,1	0,5	0,1	0,005	0,3	0,2	0,5	0,2	0,01	0,01
VMP**	200	100	50	100	-	70	2000	500	10	5	10
IS01	147	0,5	1,6	10,5	0,111	0,9	9,2	102	0,2	0,24	8,70
IS03	58	0,2	0,5	87,9	4,500	5,4	5,8	109	0,2	0,27	5,01
IS05	67	0,1	0,5	4,6	0,024	0,3	1,8	101	0,2	0,10	0,97
IS08	53	0,2	0,5	2,0	0,468	0,7	1,7	98,7	0,2	0,08	2,98
IS10	45	0,2	0,5	0,9	0,257	0,9	2,9	104	0,2	0,25	0,74
IS17	102	1,0	1,4	4,8	0,079	0,4	0,8	81,9	0,2	0,02	0,71
IS20	31	0,2	1,2	0,9	0,022	0,4	1,3	134	0,2	0,25	0,51

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

*Limite de detecção para o ICP/MS (ACTILAB), $\mu\text{g.L}^{-1}$

**VMP – Valor máximo permitido para potabilidade (Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil, 2011)

O cromo acima do VMP presente nas águas coletadas nos poços IS05, IS08, IS17 e IS20, na campanha de novembro de 2015 são de 50 a 100 vezes maiores que o encontrado nas coletas de novembro de 2014. O resultado anômalo para cromo em poços que chegam a distancias de aproximadamente 26 km, caso da distância entre IS05 para o IS20, mostra a contaminação por toda a extensão do Aquífero Barreiras.

Tabela 32 – Teores de elementos traços nas águas coletadas nos poços durante a quarta campanha (nov/15), utilizando o método ICPMS, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

Elemento traço/poço	Al	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Pb
LD*	2	0,1	0,5	0,1	0,005	0,3	0,2	0,5	0,2	0,01	0,01
VMP**	200	100	50	100	-	70	2000	500	10	5	10
IS01	38	0,9	41	8,7	0,055	0,9	1,4	83	2,9	0,13	1,51
IS03	56	1,2	46	94,1	4,210	5,0	3,0	111	3,2	0,27	3,04
IS05	70	1,1	64	14,1	0,063	0,5	0,2	109	0,2	0,18	1,47
IS08	196	10,3	311	99,7	0,849	1,6	8,4	449	5,3	0,85	7,69
IS10	59	1,3	33	14,0	0,323	1,1	2,0	111	2,0	0,25	2,74
IS17	63	2,5	114	14,4	0,074	0,4	2,4	111	5,7	0,20	2,87
IS20	97	1,7	147	13,6	0,087	0,5	2,1	98	1,2	0,13	2,15

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

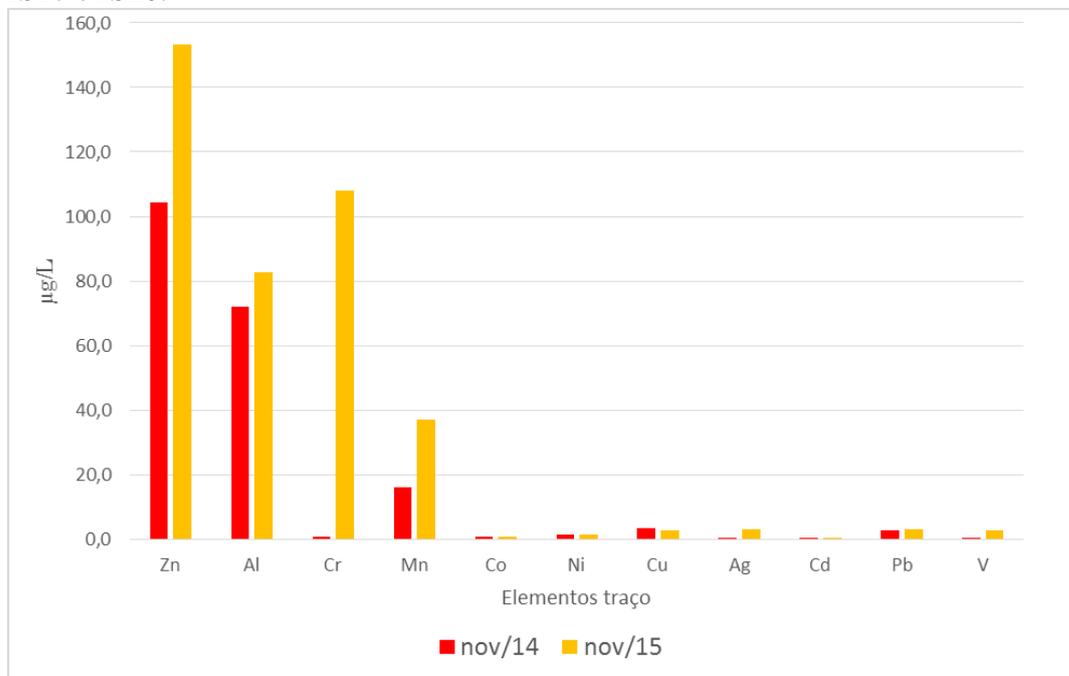
*Limite de detecção para o ICP/MS (ACTILAB), $\mu\text{g.L}^{-1}$

**VMP – Valor máximo permitido para potabilidade (Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil, 2011)

A Figura 28 mostra que os elementos traço Zn, Al, Cr e Mn são os mais abundantes. Al e Mn são elementos comuns nas águas naturais, por serem abundantes nas rochas da crosta terrestre. Os demais elementos aparecem em teores normais para o tipo de sedimento e rocha do local, destaque para o cromo e sua concentração anômala na coleta de

novembro de 2015.

Figura 28 – Concentração média dos elementos traço nos poços IS01, IS03, IS05, IS08, IS10, IS17 e IS20.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

A principal fonte de metais pesados para os corpos hídricos são os efluentes industriais, e do cromo, especificamente, é a indústria do curtume, sendo também bastante utilizado em eletrodepósitos para proteger metais de corrosão principalmente em materiais náuticos (BAIRD; CANN, 2011). Na área de estudo a principal fonte de contaminação para as águas subterrâneas seria o esgoto doméstico, o qual produz um aumento de matéria orgânica e, a principal atividade econômica da população local é a pesca da lagosta, a qual também não produz carga de metais tóxicos. Desta forma, atribuem-se as concentrações de metais pesados ao intemperismo das rochas e lixiviação dos solos da região.

Nos estudos realizados por SOUZA (2017), também no litoral de Icapui, sobre a geoquímica dos sedimentos da Formação Barreiras e lateritos, foram encontrados os elementos Ni, Cr, Pb e Ag, na camada laterítica sobre a Formação Barreiras. Assim, é muito provável ser essa a principal fonte desses metais para a água subterrânea e, como o valor do pH da água determina a solubilidade dos íons, é também provável que a variação nas concentrações desses metais se relacione com a recarga do aquífero, visto que valores de pH 5 não foram detectados na amostragem de novembro de 2014, um ano de seca, portanto sem recarga.

Espécies químicas com afinidades (Tabela 33) como cromo-vanádio-zinco, níquel-cobalto, cádmio-zinco, chumbo-cobre, podem indicar, por meio dessa correlação significativa, mesma origem ou fontes naturais e/ou antropogênicas, como, por exemplo, rochas sedimentares ricas em óxidos de ferro e manganês, apesar de, essas espécies serem moderadamente a fracamente mobilizáveis na faixa de pH 5-8, na qual estão inseridas todas as amostras.

Tabela 33 – Correlação linear (R) entre os elementos traço nas águas coletadas dos poços durante duas campanhas (nov/14 e nov/15)

	Al	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Pb
Al	1,00										
V	0,75	1,00									
Cr	0,67	0,94	1,00								
Mn	0,38	0,56	0,49	1,00							
Co	-0,11	-0,02	-0,06	0,81	1,00						
Ni	-0,07	0,01	-0,04	0,82	0,99	1,00					
Cu	0,73	0,49	0,37	0,54	0,28	0,34	1,00				
Zn	0,71	0,95	0,84	0,59	0,04	0,06	0,56	1,00			
Ag	0,29	0,70	0,73	0,45	0,08	0,10	0,22	0,54	1,00		
Cd	0,64	0,88	0,77	0,68	0,20	0,25	0,67	0,94	0,55	1,00	
Pb	0,75	0,51	0,42	0,54	0,26	0,32	0,94	0,53	0,29	0,62	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

O cromo nas formas trivalente e hexavalente têm significados biológicos. Sendo que, o valor do pH da água é determinante para estabelecer a forma predominante desta espécie química. Em meio ácido, predomina a forma trivalente Cr (III) e, em meio básico predomina a forma hexavalente Cr (VI). Nas águas subterrâneas, onde o meio geralmente é oxidante, prevalece à forma ionizada em água do Cr (VI), íon cromato, que é altamente solúvel em água (BAIRD; CANN, 2011). A espécie do cromo hexavalente é carcinogênica, tipos como câncer de pulmão e nos seios paranasais é conhecido pela medicina (NORDBERG; CHERAIN, 2013).

6. CONCLUSÃO

Nas áreas costeiras as fontes de metais pesados estão associadas à descarga de esgotos, disposição final de resíduos sólidos, lixiviação do solo, uso inapropriado do solo, altos níveis de matéria orgânica na coluna d'água, vazamentos de óleos das próprias embarcações do local ou que por lá trafegam, da combustão dos combustíveis, da lavagem de cascos dos barcos, áreas de produção agrícola (associado ao uso de pesticidas, fertilizantes e agroquímicos).

O uso da água nos permite relativizar o critério de poluição. No Brasil, a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (MS) dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância de qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011). Os parâmetros utilizados pela portaria do MS, suas quantificações e enquadramentos, são revistos e atualizados em função da evolução científica e tecnológica.

Atualmente, tal ciência tem tido maior divulgação e preocupação em escala global, devido, principalmente, aos avanços na fiscalização e atuação de órgãos ambientais, assim como, empresas/indústrias também estão atentas e imbuídas em descobrir o verdadeiro vilão. Conhecer e determinar o agente causador de doenças ou eventos de saúde, das mais diversas e que às vezes, são classificadas como epidemias, ultrapassando fronteiras e causando conflito político, tornou-se uma meta internacional.

A presença de bactérias, *Escherichia coli* e coliformes totais, e de compostos nitrogenados, nas análises de águas coletadas em alguns poços da rede, justifica o aumento dos casos, em Icapuí, de doenças diarreicas, período entre 2014 a 2015, e o reaparecimento da hepatite viral. Mesmo com a pluviosidade anual abaixo da média histórica, sendo registrados 596 mm em 2014 e 610 mm em 2015.

A contaminação por nitrato, e a não presença de valores anômalos para amônia, nos poços IS01, IS06 e 1S17, permite afirmar que a poluição não é recente e notadamente influenciada por um solo saturado de rejeitos humanos e de animais de criação. Visto que não se têm a presença de cultivos próximos que justificassem a aplicação de fertilizantes.

A presença de bactérias em algumas amostras é preocupante e pode estar associada a patógenos que justificam doenças no trato gastrointestinal. Pesquisas com médicos sanitários serão necessárias para um diagnóstico preciso, entende-se que, os exames dos níveis de nitrato em água precisam ser ampliados, com coletas periódicas de amostras de

água, realização do levantamento de dados sobre o câncer gastrointestinal e outras patologias associadas ao tema. Permitindo um zoneamento das espécies nitrogenadas e bacteriológicas, contribuindo para a divulgação científica e proteção da saúde comunitária, fomentando os dados da Secretaria de Saúde, possibilitando políticas públicas eficazes.

Os indicadores hidrogeológicos apontam para uma mistura da água marinha nas águas subterrâneas, porém, dados dos isótopos de oxigênio-18, anulam esta afirmativa e obteve-se como melhor resposta, para a composição salobra e salina dessa água subterrânea, a litologia do local, onde, por meio da percolação de águas antigas, em solo rico em cálcio, oriundo da formação jandaíra e favorável a precipitação de carbonatos. Interferindo assim nos resultados e causando uma falsa tendência a assinalar como intrusão marinha a causa da salinidade desse aquífero.

A média vulnerabilidade do aquífero, somado à salinidade desse solo e o adensamento populacional no entorno dos poços, justifica os resultados incompatíveis para o consumo humano na maioria dos poços.

Dados anômalos de cromo, no aquífero poroso, são originados da litologia, por meio dos processos químicos que ocorrem na infiltração da água meteórica no solo até o encontro com a água subterrânea.

Apesar de possuir serviço de distribuição de água em rede, a população local, continua construindo poços artesanais e, um dos argumentos utilizados pelos munícipes, é o sabor da água, que pode estar relacionado ao paladar dos mais antigos ou, a turbidez acima do permitido na água (valores acima de 5 uT foram encontrados em todas as amostras de água). Esse consumo direto da água de poço particular, pode ser o causador das doenças diarreicas.

Como o poço IS18 apresentou valores acima e/ou preocupantes em todos indicadores, sugere-se a comunidade de Tremembé a inativação do mesmo. Já o poço IS20, próximo do cemitério a 200 m, mostra que a litologia do local reteve os contaminantes estudados, porém, faz se necessária análise de outros metais traço, com maior frequência e com estudo de especiação química para viabilizar o mesmo.

REFERÊNCIAS

- ALIEVI, Alan Alves; PINESE, João Paulo Peccinini; CELLIGO, André. Inventário das áreas de concentração de poços tubulares na zona urbana de Londrina (PR) e implicações ambientais. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.6, n.13, p. 77-92, 2012.
- AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manual des Analyses Chimiques en Milieu Mari**, CNEXO, Brest, 395p, 1983.
- 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.
- AQUASIS. 2003. **A Zona costeira do Ceará: diagnóstico para a gestão integrada**. Aquasis, Fortaleza, p. 1-293.
- ARAÚJO, F.F.V.; CASTRO, M.A.H.; FIGUEIRÊDO, M.C.B. **Avaliação de impactos dos efluentes da carcinicultura em trecho do Rio Jaguaribe por meio de simulação**. In: Gestão sustentável no Baixo Jaguaribe, Ceará. Fortaleza: EMBRAPA – Agroindústria Tropical. 404p. Cap. 6. p.151-176. 2006.
- ARAUJO, Paulo Rogério; PINESE, João Paulo Peccinini. Anomalias na distribuição geográfica dos dados de saúde da bacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia, zona norte do município de Londrina/PR. **Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasileira de geografia**. Confins [En ligne], 17/2013. Disponível em: <<http://confins.revues.org/8174>>. Acesso em 28 jul. 2014.
- ATLAS BRASIL 2013. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil/icapui_ce>. Acesso em 11 de maio de 2014.
- AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. 4^a ed. New York, McGraw Hill, 1990.
- BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, cap. 13, p. 577-622, 2011.
- BOCANEGRA, Emilia; SILVA JR, Gerson Cardoso da; CUSTODIO, Emilio; MANZANO, Marisol; MONTENEGRO, Suzana. State of knowledge of coastal aquifer management in South America. **Hydrogeology Journal**, v.18, p. 261–267, 2010.
- BOUCHARD, D.C.; WILLIAMS, M.K.; SURAMPALLI, R.Y. Nitrate contamination of ground water: sources and potencial health effects. **J. Am. Water Works Ass.**, **84**: 85-90, 1992.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS nº 2.914/2011**. Brasília. Ministério da Saúde,

2011. 32 p.

CAPITANI, Eduardo Mello de. Epidemiologia e Geologia Médica. *In: SILVA, Cássio Roberto da et al. (Eds). **Geologia Médica no Brasil: Efeitos dos Materiais e Fatores Geológicos na Saúde Humana, Animal e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006, p. 15-18.*

CASTANY, G. **Prospeccion y exploracion de las aguas subterraneas**. Barcelona. Omega. 738p. 1975.

CEARÁ – GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Anuário Estático do Ceará 2015**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/anuario/anuario2015/>. Acesso em 01 de março de 2016.

CENTENO, José A.; MULLICK, Florabel G.; ISHAK, Kamal G.; FRANKS, Teri J.; BURKE, Allen P.; KOSS, Michael N.; PERL, Daniel P.; TCHOUNWOU, Paul B.; PESTANER, Joseph P. Environmental Pathology. *In: O. Selinus et al. (Eds.), **Essentials of Medical Geology: Revised Edition***, DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_25, Springer Science+Business Media Dordrecht (outside the USA), 2013, p. 569-596.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2010-2012**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; 2013.

COMBS JR, Gerald F. Geological Impacts on Nutrition. *In: O. Selinus et al. (Eds.), **Essentials of Medical Geology: Revised Edition***, DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_8, Springer Science+Business Media Dordrecht (outside the USA), 2013, p. 179-194.

COOK, Angus. Public Health and Geological Processes: An Overview of a Fundamental Relationship. *In: O. Selinus et al. (Eds.), **Essentials of Medical Geology: Revised Edition***, DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_2, Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, p. 15-32.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2003. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000, Brasil.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2014. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout>. Acesso em 18 de maio de 2014.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-Medica-41>. Acesso em 18 de janeiro de 2018.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterranea**. 2a Ed. Omega, Tomo I e II, Barcelona, 2350 p. 1983

DAVIES, Brian E.; BOWMAN, Charlotte; DAVIES, Theo C.; SELINUS, Olle Medical Geology: Perspectives and Prospects. *In: O. Selinus et al. (Eds.), **Essentials of Medical Geology: Revised Edition***, DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_1, Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, p. 1-13.

DE OLHO NA ÁGUA. Disponível em: <<http://www.deolhonaagua.org.br/site/icapui.php>>. Acesso em 13 de maio de 2014.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Surtos de diarreia aumentam no CE**. Caderno Cidade. Disponível em: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/cidade/surtos-de-diarreia-aumentam-no-ce-1.1532028>. Acesso em 12 de dezembro de 2016.

DOVIDAUSKAS, Sérgio; OKADA, Isaura Akemi; SOUZA, Joel Arantes de; Novas, Maria Aparecida de Jesus Hernandez; ROSSATO, Renato Alexandre. A interação entre Vigilância Sanitária e Laboratório de Saúde Pública na detecção da contaminação por nitrato em água subterrânea. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia** [2317-269X] v.3, n.1, p. 97 -104, 2015.

EDMUNDS, W. Mike; SMEDLEY, Pauline L. Fluorine in natural Waters. *In: O. Selinus et al. (Eds.), Essentials of Medical Geology: Revised Edition*, DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_13, Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, p. 311-336.

ESTEVEZ, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FEITOSA, F.A.C. *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ª ed. Revisada e Ampliada: CPRM. 812p. 2008

FERNANDES, Francisco Bergson Parente; ANDRADE, Eunice Maia de; FONTENELE, Sávio de Brito; MEIRELES, Ana Célia Maia; RIBEIRO, José Alberto. Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense. **Revista Agro@mbiente On-line**. v. 4, n. 2, p. 86-95, jul-dez, 2010.

FOSTER, Stephen S. D., HIRATA, Ricardo César Aoki. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology based on available data**. Lima, Peru: WHO – PAHO; HPE – CEPIS. 81p. 1988.

FREIRE, George Satander Sá. **Geologia marinha da plataforma continental do Ceará**. 1985, 132f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1985.

FREIRE, George Satander Sá; GOMES, Diolande Ferreira; LIMA, S. F.; MAIA, L. P.; LACERDA, L. D. Geochemistry of Continental Shelf Sediments of the Ceará Coast, North-Eastern Brazil. *In: Lacerda, L. D.; Santelli, R. E.; Duursma, E.; Abrão, J. J. (Eds.). Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments*. Berlin: Springer-Verlag, 2004, p. 365-377.

FRIZZO, Sérgio João. Elementos Químicos em Águas de Abastecimento Público no Estado do Ceará. *In: SILVA, Cássio Roberto da et al. (Eds.). Geologia Médica no Brasil: Efeitos dos Materiais e Fatores Geológicos na Saúde Humana, Animal e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006, p. 183-191.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. 2017. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em 18 de janeiro de 2017.

GARRELS, R.M; CHRIST, C.L. **Solutions, minerals and equilibria**. London, Harper & Row. 1965, 450p.

GONÇALVES, F. B.; SOUZA, A. P. de. **Disposição Oceânica de esgotos sanitários: História, teoria e prática**. Rio de Janeiro: ABES, 1997, 348p.

HIRATA, Ricardo; FERNANDES, Amélia João. Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. *In*: FEITOSA, Fernando A. C. et al.(org.). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008, p. 405-424.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation**. Vienna: IAEA. (Technical Reports Series, 206). 1981, 253p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=353150&search=sao-paulo|monte-azul-paulista>. Acesso em 01 de junho de 2017. 2017

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230535&search=ceara|icapui>. Acesso em 01 de maio de 2013. 2013

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**, Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DA USP. Disponível em: http://www.ib.usp.br/ecologia/ciclo_biogeoquimicos_print. Acesso em 29 de janeiro de 2018. 2018

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2014/index.htm. Acesso em 02 de junho de 2014. 2014

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Básico Municipal**, Fortaleza, 2013.

KITLABOR. **Manual de instruções**. Disponível em: www.kitlabor.com.br. Acesso em 10 de novembro de 2014. 2014.

LACERDA, Luís Drude de; SANTOS, Janaína Andrade dos; MARINS, Rozane Valente; MAIA, Saulo Roberio Rodrigues; VAISMAN, Ariel Gustavo. Impacto potencial da emissão antrópica de Cu e Zn sobre a carcinicultura na bacia inferior do Rio Jaguaribe, CE. **Revista da ABCC**. Ano 06, nº 01, 2004.

LEOPOLD, Luna B.; CLARKE, Frank E.; HANSHAW, Bruce B.; BALSLEY, James R. **A procedure for evaluating environmental impact**. Washington: U. S. Geological Survey, 13p. (circular 645), 1971.

MANAHAN, S.E. **Química Ambiental**. Tradução: Félix Nonnenmacher. Revisão Técnica: Wilson de Figueiredo Jardim. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

- MANOEL FILHO, João. Ocorrência das águas subterrâneas. *In:* FEITOSA, Fernando A. C. et al.(org.). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008, p. 53-75.a
- MANOEL FILHO, João. Contaminação das águas subterrâneas. *In:* FEITOSA, Fernando A. C. et al.(org.). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008, p. 381-404.b
- MEIRELES, Antônio Jeovah de Andrade; SANTOS, Ana Maria Ferreira dos. **Atlas de Icapuí**. 1. ed. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012.
- MESTRINHO, Suely Schuartz Pacheco. Geoquímica das águas subterrâneas. *In:* FEITOSA, Fernando A. C. et al.(org.). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008, p. 359-379.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Sistema de Informação de Agravos de Notificação – SINAN**. Disponível em: <<http://dtr2004.saude.gov.br/sinanweb/>>. Acesso em 13 de maio de 2014.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Secretaria de Vigilância em Saúde – SIVEP-DDA**. Disponível em: <http://sivepdda.saude.gov.br/>. Acesso em 12 de dezembro de 2016.
- MOBUS, G. 2003. **Qualigraf: software para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Fortaleza. Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.
- MONTEIRO, Érica Almeida; ARAUJO, Rogério César Pereira de; CASTRO, Francisco Tiago Costa de. **Diagnóstico Socioeconômica do Projeto de Alginocultura na Comunidade de Barrinha de Mutamba no Município de Icapuí, Ceará**. *In:* 48º Congresso Sober, Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Campo Grande, 2010, p. 1-19.
- MOTA, Suetônio; AQUINO, Marisete Dantas de. Proposta de uma matriz para avaliação de impactos ambientais. *In:* VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais SIBESA**, Vitória, 2002
- NIELSEN, Jesper B.; JENSEN, Tina Kold. Environmental Epidemiology. *In:* O. Selinus *et al.* (Eds.), **Essentials of Medical Geology: Revised Edition**, DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_23, Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, p. 537-547.
- NORDBERG, Monica; CHERIAN, M. George. Biological Responses of Elements. *In:* O. Selinus *et al.* (Eds.), **Essentials of Medical Geology: Revised Edition**, DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_9, Springer Science+Business Media Dordrecht (outside the USA), 2013, p. 195-214.
- PETRONOTÍCIAS. Disponível em: <https://www.petronoticias.com.br/archives/718732017>. Acesso em: 23 de outubro de 2017
- PINTO, Márcia Freire; MOURÃO, José da Silva; ALVES, Rômulo Romeu Nóbrega. Ethnotaxonomical considerations and usage of ichthyofauna in a fishing community in Ceará State, Northeast Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v.9, 2013.

RICHERI, Sônia Maria de Melo. **Estudo do impacto das mudanças climáticas globais nos mangues tropicais**. Dissertação (mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) Escola de Engenharia Mauá, 2006.

ROCHA, Ludmila Prazeres das Flores Oliveira. **HIDROQUIMICA DO AQUIFERO COSTEIRO DO MUNICIPIO DE ITAREMA - CEARÁ**. 2015. 311f. Tese (Doutorado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

ROCHA, J.S.M.; GARCIA, S.M.; ATAIDES, P.R.V. **Manual de avaliações de impactos e passivos ambientais**. Santa Maria: Ed. Palloti, 2005.

SALATI, E.; GUSMÃO, G. A.; MATSUI, E.; CERVellini, A . **Estudo Preliminar das Concentrações de ¹⁸O e D em Águas do Nordeste Brasileiro**. In: Boletim Científico BC-002. CENA/USP/CNEN, Piracicaba-SP, 1971.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. Ed. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2006.

SANTIAGO, M.F.; FRISCHKORN, H; SILVA, C.M.V.S. Métodos Isotópicos. In: FEITOSA, Fernando A. C. et al.(org.). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008, p. 255-271.

SANTOS, Almany Costa. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, Fernando A. C. et al.(org.). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008, p. 325-357.

SANTOS, Ana Maria Ferreira dos. Mapas Temáticos como Fundamentos para a Gestão Ambiental da Planície Costeira de Icapuí, Extremo Leste do Ceará. **Geosaberes**, Fortaleza, v.3, n.6, p. 102-114, jul./dez. 2012.

SCHNEIDER, V.E.; PERESIN, D.; CASTILHOS, C.A.; FETTER, D.S. **Proposta metodológica para avaliação das ações antrópicas impactantes aplicada a elaboração de planos ambientais municipais**. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2011.

SILVA, Cássio Roberto da; FIGUEIREDO, Bernardino Riberio; CAPITANI, Eduardo Mello de. Geologia Médica. In: SILVA, Cássio Roberto da *et al.* (Eds). **Geologia Médica no Brasil**. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006, p. 6-14.

SOUSA, Débora do Carmo. **Litoestratigrafia e deformação cenozoica na região de Icapuí, Ceará, e implicações para a estruturação de campos de petróleo na borda ocidental da bacia potiguar (NE do Brasil)**. 189f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

SOUSA, Sérgio de. Economia do litoral cearense é mapeada. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 24 jun. 2009. Negócios, p.1.

SOUZA, D. de P. **Estudo Geoquímico-Mineralógico de Litologias Aflorantes Na Orla Litorânea de Icapuí – Ceará**. 81f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SELINUS, Olle. Geologia Médica. *In: SILVA, Cássio Roberto da et al. (Eds). **Geologia Médica no Brasil: Efeitos dos Materiais e Fatores Geológicos na Saúde Humana, Animal e Meio Ambiente.*** Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006, p. 1-5.

SMITH, Neil. **Desenvolvimento Desigual: Natureza, Capital e a Produção de Espaço.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1988.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química ambiental.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M. **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Cengage Learning, 2013.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw Hill. 245p. 1975.

WEINSTEIN, Philip; HORWELL, Claire J.; COOK, Agnus. Volcanic Emissions and Health. . *In: O. Selinus et al. (Eds.), **Essentials of Medical Geology: Revised Edition**, DOI 10.1007/978-94-007-4375-5_10, Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, p. 217-238.*

APÊNDICE A – RESUMO DO ARTIGO

Capa > v. 8, n. 2 (2017) > **Maia**

AQUÍFERO COSTEIRO DE ICAPUI, CEARÁ, BRASIL: UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Saib Roberio Rodrigues Maia, George Satander Sá Freire, Diolande Ferreira Gomes

Resumo

A cidade de Icapuí, localizada na parte mais oriental do litoral do Estado do Ceará, nordeste do Brasil, foi classificada, no último zoneamento econômico-ecológico costeiro (ZEE), como polo de interesse ecológico da região e, dobrou o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), nas últimas duas décadas. Com uma população ativa, economicamente, em torno de 70%, mais de 90% destes estão envolvidos com a cadeia produtiva da lagosta. Destaque nas atividades econômicas do município vão para o turismo comunitário, a agricultura e a aquíicultura. Busca-se, neste estudo, subsidiar ações de políticas públicas, por meio de estudos de vulnerabilidade do aquífero, voltadas para melhorar a condição de vida e a valorização dos recursos naturais. Por meio de construção de matriz de valoração de impactos ambientais e, agregando outros valores intangíveis da biodiversidade, conclui-se que as riquezas naturais e o saber popular, podem ser melhor utilizados com uma maior participação de órgãos públicos e empresas privadas, proporcionando linhas de créditos mais específicas e presença de consultorias especializadas. Tais observações/sugestões, devidamente estudadas e implantadas, permitiriam um crescimento da localidade, sem perder a classificação de polo de interesse ecológico.

Palavras-chave

Economia ecológica, recursos naturais, vulnerabilidade de aquífero, avaliação ambiental, Icapuí/Brasil

DOI: <http://dx.doi.org/10.60089/2F1555>



A obra **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais** (ISSN 2179-6858) da Sustener Publishing Co., foi licenciada com uma Licença Creative Commons - Atribuição - Uso Não-Comercial - Obras Derivadas Proibidas 3.0 Não Adaptada, com base na obra disponível na Plataforma de Periódicos Científicos da Sustener Publishing Co.



Este periódico científico foi desenvolvido em Open Journal System, com suporte do IBICT do Ministério da Ciência e Tecnologia.

APÊNDICE B – CERTIFICAÇÃO DAS ANÁLISES

Quality Analysis ...



Innovative Technologies

Date Submitted: 11-May-16
Invoice No.: A16-04161
Invoice Date: 20-May-16
Your Reference:

Universidade Federal Do Ceara
 UFC Centro de Ciencias, Campus do Pici,
 Dept. de Geologia, 912-913, CEP: 60455-780
 Fortaleza CE
 Brazil

ATTN: Saulo Maia

CERTIFICATE OF ANALYSIS

14 Water samples were submitted for analysis.

The following analytical package(s) were requested:

Code 6 Natural Waters (1-50) Natural Waters with low TDS - Hydrogeochemistry
 ICP/MS(HYDRGEO)

REPORT **A16-04161**

This report may be reproduced without our consent. If only selected portions of the report are reproduced, permission must be obtained. If no instructions were given at time of sample submittal regarding excess material, it will be discarded within 90 days of this report. Our liability is limited solely to the analytical cost of these analyses. Test results are representative only of material submitted for analysis.

Notes:

Values which exceed the upper limit should be analysed by Code 6 ICPOES/MS. Samples showing dilution factor had to be diluted for analysis due to high total dissolved solids content. This dilution is taken into account. Detection limits will be elevated on these samples by the dilution factor. Effective October 2013 our Hydro-MS package has been modified with changes to the upper limits of some elements.

CERTIFIED BY:

Emmanuel Esemé, Ph.D.
 Quality Control

ACTIVATION LABORATORIES LTD.
 41 Bittern Street, Ancaster, Ontario, Canada, L9G 4V5
 TELEPHONE +905 648-9611 or +1.888.228.5227 FAX +1.905.648.9613
 E-MAIL Ancaster@actlabs.com ACTLABS GROUP WEBSITE www.actlabs.com

APÊNDICE C – ACEITE DE ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO



Saulo Maia <profsaulomaia@gmail.com>

[RICA] Decisão Editorial

Carlos Eduardo Silva <carlos@sustenere.co>

19 de outubro de 2017 18:24

Para: saulo roberio rodrigues maia <saulo.maia@uece.br>, GEORGE SATANDER SÁ FREIRE <freire@ufc.br>, DIOLANDE FERREIRA GOMES <dfreire88@gmail.com>, KAREN VENDRAMINI ARAÚJO <karenvendramini@yahoo.com.br>

saulo roberio rodrigues maia, GEORGE SATANDER SÁ FREIRE, DIOLANDE FERREIRA GOMES, KAREN VENDRAMINI ARAÚJO,

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetido à revista Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, "ANOMALIAS HIDROQUÍMICAS NOS AQUÍFEROS DE ICAPUÍ-CE".

É com muita satisfação que informamos que seu artigo foi ACEITO para publicação na edição da **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA V09 N02 2018)**, QUALIS CAPES B1, para lançamento em 2018, da Sustenere Publishing Corporation.

Em 2018, os artigos aprovados só serão encaminhados para EDIÇÃO FINAL após pagamento da taxa de publicação. O que irá permitir o registro internacional do DOI CrossRef, o que garante a ligação direta entre o Lattes e o DOI.

Faz parte das políticas editoriais da Sustenere Publishing Corporation estabelecer a cobrança de uma taxa de registro do DOI e de hospedagem eterna dos artigos. Foi estabelecido para o ano de 2018 o valor de **R\$500,00 por artigo publicado** nesta revista. Atenção, a taxa cobrada não é por autor e sim por artigo publicado, os autores devem dividir entre si a taxa, e fazer pagamento único da publicação.

Caso resida no Brasil, solicitamos a gentileza de depositar o valor referente ao seu artigo, no **BANCO DO BRASIL**, Banco 001, Agência 3546-7, Conta 00037278-1, em favor de Carlos Eduardo Silva (CPF 002.832.195-21). Não utilize depósito via ENVELOPE, pois não será possível comprovar o pagamento.

Caso resida no Exterior, e não possa realizar pagamento no Banco do Brasil, solicitamos que realize pagamento no PayPal (www.paypal.com) em favor do e-mail contato@sustenere.co. O pagamento via PayPal deve ser acrescido da taxa de 5%, totalizando **R\$525,00**. Caso não tenha familiaridade com este procedimento estamos ao seu dispor para tirada de dúvidas.

É importante realizar o depósito logo após recebimento desta mensagem, e envio do comprovante, pois só então poderemos enviar seu artigo para EDIÇÃO FINAL e publicação na próxima edição.

Assim que realizar o depósito, favor enviar o comprovante para contato@sustenere.co. Caso não identifiquemos o pagamento no prazo de 3 dias corridos (até 22/10/2017), iremos retirar o trabalho da pauta de publicação, pois precisamos dar andamento imediato à numeração da edição.

É importantíssimo e obrigatório que os dados dos autores estejam completos e atualizados no sistema (www.sustenere.co/journals), favor incluir para cada autor o nome completo, instituição, em URL inserir o link para o LATTES, e Link para o ORCID. O artigo só será publicado quando todos os dados estiverem completos e atualizados no sistema. Para completar dados faltantes, faça login no sistema e clique em EDITAR