

ESTUDO HIDROQUÍMICO DO AQUÍFERO BARREIRAS NO MUNICÍPIO DE EUSÉBIO, CEARÁ

Rafael Mota de OLIVEIRA

Itabaraci Nazareno CAVALCANTE

Karen Vendramini de ARAÚJO

Renata Nayara Câmara Miranda SILVEIRA

Filipe da Silva PEIXOTO

Inacio Ocinaí de LIMA NETO

RESUMO

Aflorante em aproximadamente 66% do município de Eusébio, no Estado do Ceará, o Aquífero Barreiras vem sendo bastante comprometido em termos qualitativos em virtude da crescente demanda decorrente da rápida expansão imobiliária aliada à falta de investimentos em saneamento básico e poços construídos de forma irregular. Para avaliar a qualidade das águas subterrâneas, foram realizadas 107 medidas *in situ* de pH, sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica (CE) e coleta de 20 amostras de água subterrânea para a realização de análises físico-químicas e bacteriológicas em laboratório, sendo os resultados obtidos, comparados com a Portaria N° 2.914 de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os padrões de potabilidade para o consumo humano. Observou-se que as águas subterrâneas analisadas apresentam valor médio de pH de 7,0, com alguns poços (21) fora dos padrões de potabilidade. Já os parâmetros de turbidez, dureza, concentrações de ferro, fluoreto, sulfato, nitrito e nitrato encontram-se dentro dos padrões de potabilidade, com algumas concentrações de cloreto (4 amostras) e sódio (5 amostras) acima dos padrões. Com relação à qualidade microbiológica das águas, verificou que 65% das amostras apresentam coliformes totais, indicando uma contaminação oriunda de esgoto doméstico. Na classificação iônica, observou-se que, em relação aos ânions, ocorre a predominância de águas cloretadas (45%), seguidas das sulfatadas (40%) e águas mistas (15%), enquanto para os cátions as águas são classificadas como sódicas. De acordo com o diagrama do U.S Salinity Laboratory, as águas analisadas apresentam riscos quanto a salinidade que variam de médio a alto (CE de 250 a 2.250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ à 25 °C), e, em relação ao sódio, apresentam riscos que variam de médio a muito forte (RAS – Razão de Adsorção de Sódio de 10 a 30).

Palavras-chave: Água subterrânea; Potabilidade; Hidrogeologia; Hidroquímica; Aquífero Barreiras.

ABSTRACT

HYDROCHEMICAL STUDY OF BARREIRAS AQUIFER IN THE MUNICIPALITY OF EUSÉBIO, CEARÁ. The quality of the Barreiras aquifer, which crops out in approximately 66% of the municipality of Eusébio, Ceará, has been considerably compromised due to rapid real estate expansion, the lack of corresponding investments in basic sanitation, and irregularly constructed wells. In order to evaluate groundwater quality, 107 *in situ* measurements of pH, total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity (EC) were carried out and 20 groundwater samples were

collected for physical-chemical and bacteriological laboratory analyses. The results were compared to Ordinance No. 2,914 of December 12, 2011, which establishes the potability standards for human consumption of water. The groundwater analyzed has an average pH of 7.0, but in 21 wells, measurements fell outside the potability standards. Turbidity, hardness, and the concentrations of iron, fluoride, sulfate, nitrite and nitrate are within the standards of potability, although concentrations of chloride in four samples and sodium in five samples exceed the standards. Regarding the microbiological quality of the waters, 65% of the samples present total coliform values indicating contamination from domestic sewage. In the ionic classification, chlorinated waters (45%) predominate, followed by sulphated (40%) and mixed waters (15%) regarding anions, whereas in cations the waters are classified as sodic. According to the US Salinity Laboratory Diagram, the analyzed waters present salinity hazards ranging from medium to high (EC of 250 to 2,250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ at 25 °C); and, in relation to sodium, present risks range from medium to very strong (SAR – Sodium Adsorption Ratio of 10 to 30).

Keywords: Groundwater; Potability; Hydrogeology; Hydrochemistry; Barreiras Aquifer.

1 INTRODUÇÃO

A água subterrânea representa um bem natural fundamental para o desenvolvimento humano, desempenhando um importante papel no abastecimento público e privado nas cidades e áreas agrícolas de todo o Brasil, cuja demanda vem aumentando rapidamente.

A qualidade da água é tão importante quanto o seu aspecto quantitativo. No Brasil, a potabilidade é regida pela Portaria Nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 (BRASIL 2011), que dispõe sobre os padrões de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Situado na Região Metropolitana de Fortaleza, porção nordeste do estado do Ceará, com 76,58 km² (Figura 1), o município de Eusébio vem sofrendo uma rápida expansão imobiliária, com grandes empreendimentos nesse setor. Como exemplo pode ser citado o condomínio Alpha Ville Eusébio. Em virtude dessa expansão, problemas decorrentes da concentração populacional, ocupação aleatória e desordenada do meio físico aliado ao uso indevido e falta de preservação pela população ou, simplesmente pela não priorização de investimentos por parte das autoridades competentes na área de saneamento, a qualidade da água subterrânea está sendo comprometida. Sendo assim, fica demonstrada a necessidade da realização urgente de um estudo visando a avaliação qualitativa das águas subterrâneas do município de Eusébio, que possa ser utilizado como instrumento de gestão das águas subterrâneas.

O município de Eusébio possui uma população de 46.033 habitantes, refletindo uma den-

sidade demográfica de 582,64 hab/km² com uma taxa de urbanização de 100%. A infraestrutura de saneamento neste município para o abastecimento de água em ligações reais e ativas foi de 9.547 e 8.523, respectivamente, com taxas de cobertura d'água urbana de 85,30% e volume produzido de 1.755.516 m³. Em relação ao esgotamento sanitário, existem ligações reais e ativas em número de 1.287 e 1.219, respectivamente, com 13% de taxa de cobertura urbana de esgoto (IBGE 2010).

O Aquífero Barreiras recobre aproximadamente 66% do município de Eusébio, sendo formado por rochas sedimentares pouco consolidadas, composto principalmente de intercalação de camadas arenosas a silto-arenosas, de forma a constituir um pacote heterogêneo tanto vertical, quanto horizontalmente, o que lhe confere um comportamento hidrodinâmico bastante variável (CAVALCANTE 1998). MOURA (2014) avaliou por meio dos métodos DRASTIC e GOD a vulnerabilidade dos Aquíferos presentes ao norte do Complexo Industrial e Portuário do Pecém – Ceará (Região Metropolitana de Fortaleza), onde a vulnerabilidade do Aquífero Barreiras foi classificada como moderada, sendo o nível estático que oscila entre 4,5 e 9,0 m o parâmetro que mais influenciou esse resultado, seguido pela litologia da zona vadosa.

Os objetivos do estudo são a caracterização hidroquímica e avaliação da situação de potabilidade das águas subterrâneas do Aquífero Barreiras no município de Eusébio.

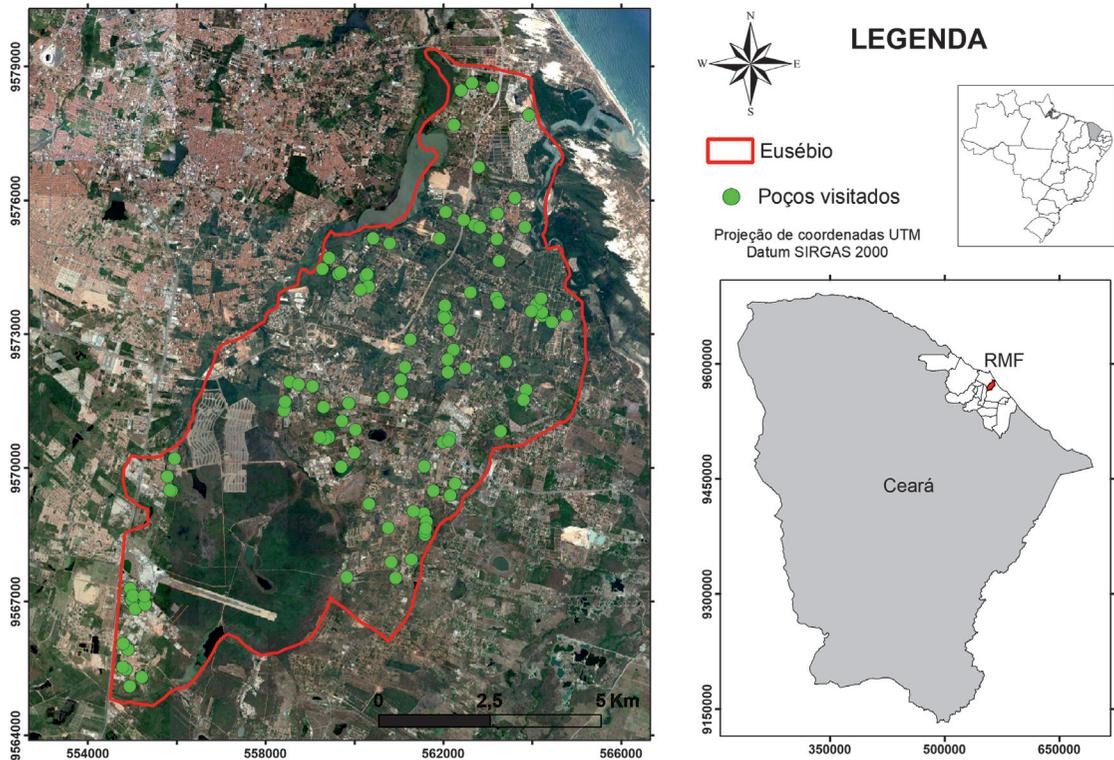


FIGURA 1 – Localização da área de pesquisa e dos poços visitados. RMF: Região Metropolitana de Fortaleza.

2 MÉTODOS

A partir do banco de dados de poços, disponibilizados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS (CPRM 2014), foi elaborado um cadastro do projeto com 423 poços existentes na área. Os dados foram uniformizados e tabelados em planilha para melhor interpretação, tendo sido registradas informações sobre: coordenadas UTM, localização, proprietário, data da construção do poço, profundidade, nível estático, situação e uso do aquífero explorado.

A primeira etapa de campo, realizada em julho de 2014, consistiu na atualização dos dados do banco do SIAGAS, com base na conferência das coordenadas e coleta de dados complementares diretamente com proprietários de poços. Constatou-se a inacessibilidade da maior parte destes poços (poço não encontrado, poço abandonado ou desativado, proprietário não autorizou visita etc.), assim como a inconsistência de informações. Simultaneamente foram cadastrados 102 novos poços em campo, totalizando 525 poços na área.

Do total de poços levantados, 78 (15%) correspondem a poços escavados do tipo manual (cacimba ou amazonas) e os 447 restantes (85%) a

poços tubulares. Dentre os tubulares, somente 30 apresentam informações sobre o aquífero captado, sendo que 6 exploram o Aquífero Barreiras, e 24 exploram o sistema misto (Barreiras/Cristalino).

Com relação à finalidade do uso da água, 324 dos poços (62%) são destinados ao uso doméstico, 106 (20%) ao uso múltiplo - doméstico, irrigação e consumo humano, 45 (9%) para uso industrial, 11 (2%) para irrigação e 39 (7%) não apresentaram informação.

A profundidade média dos poços mistos (Barreiras/Cristalino) é um pouco mais elevada, em torno de 70 m, em relação aos poços que exploram somente o Barreiras (57 m), mas esta informação não é suficiente para distinguir os 417 poços sem informação sobre aquífero captado (Tabela 1).

Dada a indisponibilidade de informações litológicas e construtivas dos poços tubulares, considerou-se neste trabalho, que os poços de até 60 m de profundidade, captam água do Aquífero Barreiras, podendo ou não receber influência do Aquífero Cristalino subjacente. Os poços escavados também foram incorporados a esta unidade hidrogeológica, representando sua porção superior, ou seja, mais rasa.

Nesta primeira etapa também foram realizadas medições *in situ* do pH, condutividade elétrica

TABELA 1 – Profundidade média dos poços cadastrados no município de Eusébio - CE.

Profundidade (m)	Poços tubulares			Poços escavados	total
	Barreiras	Misto	Sem informação		
média	57,0	70,7	55,4	10,8	
mediana	-	66,0	60,0	8,8	
mínima	36,0	32,0	25,0	1,4	
máxima	90,0	108,0	100,0	33,0	
Total de poços com dados	6	24	246	54	330
Total de poços cadastrados	6	24	417	78	525

(CE) e sólidos totais dissolvidos (STD) em 107 poços cadastrados em campo (Tabela 2).

A segunda etapa de campo, realizada em novembro de 2014, teve como objetivo a coleta de 20 amostras de água subterrânea para a realização das análises físico-químicas e bacteriológicas. A seleção desses poços foi realizada levando em consideração o aquífero captado (Aquífero Barreiras), uso das águas (destinadas ao consumo humano) e distribuição na área de forma mais abrangente possível.

As análises tiveram como referência a Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 (BRASIL 2011), que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, contemplando os seguintes parâmetros: cloreto, dureza total, fluoreto, nitrato, nitrito, sódio, sulfato, turbidez, cálcio, ferro total, magnésio, potássio e bicarbonato e as análises bacteriológicas contemplaram: coliformes totais, fecais e bactérias heterotróficas. A metodologia utilizada nas análises foi baseada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION 1998).

As amostras foram coletadas diretamente nas saídas dos sistemas de distribuição de água, sendo as mesmas acondicionadas em garrafas plásticas de 1 L para as análises físico-químicas e 0,5 L para as análises bacteriológicas, esterilizadas, hermeticamente fechadas, etiquetadas (contendo os dados relativos ao número do ponto amostrado, data e hora da coleta) e acondicionados em caixas térmicas com gelo, para em seguida, serem encaminhadas ao laboratório para a realização das análises.

Para a classificação hidroquímica do Aquífero Barreiras, utilizou-se o diagrama de Piper

(PIPER 1944), para definir o tipo químico da água, de acordo com o seu conteúdo iônico dominante.

3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS E HIDROGEOLÓGICOS

Segundo o IPECE (2014), o clima do município de Eusébio é definido como Tropical Quente Subúmido sendo influenciado, conforme a FUNCEME (2014), por quatro sistemas meteorológicos compreendidos pela Zona de Convergência Intertropical, Frente Polar Atlântica, Massa Equatorial Continental e os Ventos Alísios de SE.

A série histórica de dados pluviométricos da Estação Meteorológica de Eusébio fornecidas pela FUNCEME (2014), que compreende o período de 1990 a 2013, indica uma precipitação média anual de 1.396,4 mm, sendo as maiores precipitações entre os meses de janeiro a junho (Figura 2).

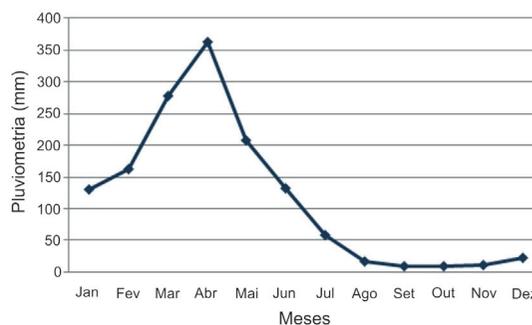


FIGURA 2 – Médias mensais de precipitação atmosférica no município de Eusébio - CE (Período de 1990 a 2013) (Fonte: FUNCEME 2014).

TABELA 2 – Características dos poços tubulares e escavados (manuais) visitados em campo.

	Nº Poço	UTM N (m)	UTM E (m)	Tipo de Poço	Prof. (m)	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	STD (mg L^{-1})	NE (m)	Revestimento	Bomba	Finalidade
1	P 54	9575395	563844	Tubular	60	6,3	850	425,0	-	PVC	Injetora	Consumo
2	P 59	9575437	562711	Tubular	60	9,2	840	420,0	24,0	Geomecânico	Centrifuga	Consumo
3	P 63*	9575559	562467	Tubular	60	7,2	1070	535,0	-	Geomecânico	Injetora	Dom./Consumo
4	P 64*	9575127	563209	Tubular	60	7,1	206	102,8	-	PVC	Injetora	Consumo
5	P 65	9574638	563264	Tubular	42	8,8	249	124,3	-	PVC	Injetora	Consumo
6	P 67	9573810	563200	Tubular	55	8,2	353	176,7	-	PVC	Injetora	Dom./Consumo
7	P 100*	9572374	563418	Tubular	SI	6,9	541	271,0	-	Geomecânico	Submersa	Consumo
8	P 155	9574348	559650	Tubular	50	7,1	258	129,1	-	Geomecânico	Submersa	Doméstico
9	P 208*	9570198	555958	Tubular	SI	7,3	1001	501,0	-	Geomecânico	Submersa	Dom./Consumo
10	P 245	9569378	562165	Tubular	60	7,4	457	228,0	-	PVC	Injetora	Doméstico
11	P 258*	9569482	561778	Tubular	60	7,9	527	264,0	-	PVC	Injetora	Doméstico
12	P 263	9570030	561577	Tubular	60	6,5	345	172,7	8,6	Ferro	-	Doméstico
13	P 341*	9565922	554913	Tubular	60	6,7	602	301,0	-	Geomecânico	Submersa	Dom./Consumo
14	P 362	9567286	554965	Tubular	SI	8,3	1360	680,0	-	Geomecânico	Submersa	Doméstico
15	P 374	9566057	554804	Tubular	SI	7,5	691	346,0	-	PVC	Injetora	Dom./Consumo
16	P 424	9570701	559433	Manual	20	6,4	542	271,0	9,3	Concreto	Injetora	Consumo
17	P 425	9570674	559424	Manual	20	7,4	1542	771,0	9,0	Concreto	Manual	Doméstico
18	P 427	9570650	559354	Manual	21	5,8	1439	719,0	10,0	Concreto	Manual	Consumo
19	P 428	9570685	559224	Manual	14	7,2	1265	633,0	13,5	Concreto	Manual	Doméstico
20	P 429	9571047	559729	Tubular	36	6,0	261	130,3	-	Geomecânico	Submersa	Doméstico
21	P 430	9570855	560034	Manual	SI	7,0	540	270,0	8,8	Concreto	Manual	Doméstico
22	P 431	9570337	560006	Manual	8	7,9	425	213,0	3,0	Concreto	Catavento	Doméstico
23	P 432	9570024	559710	Tubular	60	6,4	290	144,9	-	PVC	Injetora	Consumo
24	P 433	9571359	559310	Tubular	50	5,9	146	73,0	-	PVC	Injetora	Doméstico
25	P 435*	9571285	558426	Manual	6	6,7	358	179,1	1,9	Concreto	Manual	Doméstico
26	P 436	9571480	558446	Manual	11	6,5	334	166,9	-	Concreto	Submersa	Consumo
27	P 437	9571924	558552	Manual	23	6,3	753	377,0	8,3	Concreto	Injetora	Consumo
28	P 438	9571870	558749	Manual	18	5,4	643	322,0	9,7	Concreto	Injetora	Consumo
29	P 439	9571826	559069	Manual	SI	5,8	483	242,0	5,0	Concreto	Manual	Consumo
30	P 440*	9569183	560338	Tubular	50	7,4	352	175,9	13,0	PVC	Injetora	Consumo
31	P 441	9569642	562271	Manual	25	6,9	625	313,0	0,5	Alvenaria	Injetora	Doméstico
32	P 442	9568976	561570	Manual	30	10,4	538	269,0	2,5	Concreto	Injetora	Doméstico
33	P 443	9568791	561634	Manual	5	5,9	1107	554,0	1,0	Concreto	Injetora	Doméstico
34	P 444	9568503	561600	Manual	5	4,8	760	380,0	1,0	Concreto	Manual	Doméstico
35	P 445	9568571	561600	Manual	7	6,8	1.176	588,0	2,0	Concreto	Manual	Doméstico
36	P 446	9568634	561613	Manual	4	6,8	730	365,0	0,4	Concreto	Manual	Doméstico
37	P 447	9569026	561333	Manual	8	5,2	585	293,0	4,0	Concreto	Manual	Doméstico
38	P 448	9570571	562002	Manual	12	6,2	53	26,7	4,5	Concreto	Injetora	Doméstico
39	P 449	9570673	562153	Tubular	SI	7,6	395	197,7	-	PVC	Submersa	Doméstico
40	P 450	9570601	562130	Tubular	SI	7,4	253	126,7	-	PVC	Submersa	Doméstico
41	P 451	9568653	560766	Manual	33	7,9	336	167,9	10,0	Concreto	Injetora	Consumo
42	P 452	9567882	560834	Tubular	45	8,9	281	140,3	17,5	PVC	Catavento	Doméstico
43	P 453	9567542	559836	Manual	6	6,3	736	368,0	1,0	Concreto	Injetora	Doméstico
44	P 454	9567523	560935	Manual	10	5,5	284	141,8	5,8	Concreto	Injetora	Doméstico
45	P 455	9567601	561626	Tubular	80	7,0	331	165,6	8,0	Geomecânico	Submersa	Consumo
46	P 456*	9567949	567949	Tubular	60	7,7	493	246,0	-	Geomecânico	Centrifuga	Consumo
47	P 457*	9578624	562650	Manual	10	7,3	436	218,0	3,0	Concreto	Manual	Consumo
48	P 458	9575688	563196	Manual	12	7,1	710	355,0	1,3	Concreto	Manual	Doméstico
49	P 459	9575700	563227	Manual	10	6,4	1.074	537,0	1,8	Alvenaria	Manual	Doméstico
50	P 460*	9574702	559439	Manual	12	6,0	395	197,4	5	Concreto	Injetora	Doméstico/ Irrigação
51	P 461	9574678	559255	Manual	5	7,7	1.328	664,0	1,8	Concreto	Manual	Doméstico
52	P 462	9574383	559701	Manual	7	7,4	620	310,0	12,0	Concreto	Submersa	Doméstico
53	P 463	9574297	560262	Manual	SI	5,2	176	88,0	7,9	Concreto	Submersa	Doméstico/ Irrigação
54	P 464	9574340	560289	Manual	SI	5,4	119	59,5	5,5	Concreto	Submersa	Doméstico/ Irrigação

TABELA 2 – (Cont.) Características dos poços tubulares e escavados (manuais) visitados em campo.

	Nº Poço	UTM N (m)	UTM E (m)	Tipo de Poço	Prof. (m)	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	STD (mg L^{-1})	NE (m)	Revestimento	Bomba	Finalidade
55	P 465*	9576059	563622	Tubular	SI	7,1	202	100,9	24,5	Geomecânico	Submersa	Consumo
56	P 466*	9577912	563968	Tubular	10	5,7	584	292,0	2,8	PVC	Injetora	Consumo/Irrigação
57	P 467	9576739	562810	Manual	SI	5,5	2	1207,0	3,8	Concreto	Submersa	Doméstico
58	P 468	9571747	563875	Manual	30	7,0	165	82,7	8,5	Concreto	Injetora	Doméstico
59	P 469*	9571520	563810	Tubular	50	7,9	128	63,8	-	Geomecânico	Submersa	Doméstico
60	P 471*	9573400	562066	Manual	20	7,4	335	167,7	10,0	Alvenaria	Injetora	Dom./Consumo
61	P 472	9573398	562011	Manual	SI	6,5	1088	544	7,8	Concreto	Manual	Doméstico
62	P 473	9573635	562043	Manual	SI	7,1	238	119,2	4,0	Concreto	Injetora	Doméstico
63	P 474	9573355	562026	Manual	10	6,0	377	188,3	6,0	Concreto	Injetora	Doméstico
64	P 475	9574060	560325	Manual	SI	5,1	478	239,0	-	Concreto	Injetora	Consumo/Irrigação
65	P 476	9573992	560137	Manual	SI	6,9	427	214,0	-	Concreto	Injetora	Consumo/Irrigação
66	P 478	9573090	562144	Manual	12	5,0	503	252,0	8,9	Concreto	Injetora	Doméstico
67	P 479*	9571981	561046	Manual	4	8,7	264	132,2	3,0	Concreto	Manual	Dom./Consumo
68	P 480	9671781	560741	Manual	SI	6,7	473	237,0	5,6	Concreto	Submersa	Doméstico
69	P 481	9571674	561081	Manual	SI	5,4	106	53,1	5,8	Concreto	Submersa	Dom./Consumo
70	P 482	9571574	560658	Manual	SI	5,0	330	164,8	5,0	Alvenaria	Manual	Dom./Consumo
71	P 484	9572255	561148	Manual	SI	7,0	181	90,6	-	Concreto	Injetora	Dom./Consumo
72	P 486	9572878	561264	Manual	SI	8,2	269	134,7	8,0	Concreto	Injetora	Dom./Consumo
73	P 487	9572647	562243	Manual	SI	6,6	137	68,4	-	Concreto	Injetora	Doméstico
74	P 488	9572428	562100	Manual	SI	5,8	752	376,0	5,6	Concreto	Manual	Doméstico
75	P 489	9572138	562116	Manual	7	6,2	899	450,0	6,0	Concreto	Manual	Doméstico
76	P 490	9575138	560428	Manual	14	5,5	389	194,3	-	Alvenaria	Injetora	Dom./Consumo
77	P 491	9575035	560801	Manual	10	6,3	286	142,9	8,6	Alvenaria	Injetora	Dom./Consumo
78	P 492	9573928	562616	Manual	SI	8,3	212	105,9	-	Alvenaria	Injetora	Dom./Consumo
79	P 493	9573699	563256	Tubular	SI	8,2	503	251,0	-	PVC	Submersa	Doméstico
80	P 495	9575386	562829	Manual	13	7,3	1149	575,0	2,6	Concreto	Injetora	Dom./Consumo
81	P 496	9578460	562408	Tubular	SI	5,9	483	242,0	-	PVC	Submersa	Doméstico
82	P 497	9578523	563113	Tubular	10	6,2	225	112,6	-	PVC	Manual	Dom./Consumo
83	P 498	9577693	562245	Tubular	SI	7,3	271	135,5	-	PVC	Submersa	Doméstico
84	P 499*	9573410	564235	Tubular	40	9,2	465	232,0	-	Geomecânico	Submersa	Dom./Consumo
85	P 500	9573482	564237	Tubular	40	8,5	481	240,0	-	Geomecânico	Submersa	Dom./Consumo
86	P 501	9573493	564226	Tubular	40	7,9	472	236,0	-	Geomecânico	Submersa	Dom./Consumo
87	P 502	9573414	564785	Manual	10	7,3	167	83,3	-	Concreto	Submersa	Doméstico
88	P 503	9573267	564460	Tubular	SI	7,7	211	105,5	-	PVC	Submersa	Irrigação
89	P 504	9573658	564103	Manual	10	8,0	669	334,0	6,0	Concreto	Manual	Dom./Consumo
90	P 505	9573507	563992	Tubular	SI	8,3	323	161,4	-	PVC	Submersa	Dom./Consumo
91	P 506	9573799	564209	Manual	SI	7,8	271	135,7	-	Concreto	Injetora	Doméstico
92	P 507	9572228	562502	Manual	9	7,6	226	113,1	6,0	Concreto	Manual	Doméstico
93	P 508	9571445	559882	Tubular	SI	7,3	127	63,6	-	Geomecânico	Submersa	Doméstico
94	P 509	9575144	561914	Manual	10	6,3	113	56,4	-	Concreto	Injetora	Dom./Consumo
95	P 510	9575733	562065	Manual	11	7,5	127	63,3	4,0	Concreto	Manual	Dom./Consumo
96	P 511	9567045	554997	Manual	SI	7,8	655	328,0	10,2	Concreto	Catavento	Doméstico
97	P 512	9567133	555024	Manual	SI	5,2	1116	558,0	9,0	Concreto	Manual	Doméstico
98	P 513*	9566831	555069	Tubular	SI	7,3	1647	823,0	-	PVC	Submersa	Dom./Consumo
99	P 515	9565480	554868	Tubular	SI	8,5	745	373,0	-	Geomecânico	Submersa	Dom./Consumo
100	P 516	9565527	554792	Manual	SI	7,1	294	147,1	17,5	Alvenaria	Manual	-
101	P 517	9566938	555297	Manual	SI	7,4	910	455,0	5,6	Concreto	Injetora	Doméstico
102	P 519*	9567118	555284	Manual	SI	7,8	1349	674,0	4,5	Concreto	Injetora	Doméstico
103	P 520	9565302	555228	Manual	SI	6,8	908	454,0	7,2	Alvenaria	Manual	Doméstico
104	P 521	9565099	554954	Manual	SI	8,6	1319	660,0	-	Concreto	Injetora	Dom./Consumo
105	P 522*	9569481	555895	Manual	SI	7,5	733	367,0	2,7	Concreto	Manual	Doméstico
106	P 523	9569501	555849	Manual	7	7,8	877	438,0	2,8	Concreto	Manual	Doméstico
107	P 524	9569802	555797	Manual	3	8,2	1029	515,0	1,4	Concreto	Injetora	Doméstico

*: poços amostrados; SI: sem informação

O balanço hídrico indica que a Evapotranspiração Potencial (ETP) atinge o valor de 1.712,21 mm ano⁻¹ e a Evapotranspiração Real (ETR) é de 947,21 mm ano⁻¹, sendo assim, apenas 25% do volume precipitado infiltra no solo (349,20 mm ano⁻¹, considerando 100 mm como capacidade de retenção de água pelo solo) (FUNCEME 2014). No caso dos aquíferos livres esse volume reflete o potencial de recarga por precipitação, ocorrendo principalmente entre os meses de fevereiro a maio, pois nesse período a precipitação é superior à evapotranspiração real. Já entre os meses de junho e janeiro, em virtude da elevação das temperaturas e da diminuição dos totais pluviométricos ocorre o aumento da evapotranspiração potencial em relação à evapotranspiração real, resultando em uma situação de déficit hídrico, impossibilitando a recarga do aquífero (Figura 3).

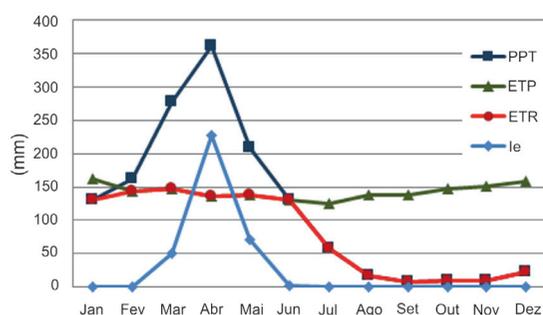


FIGURA 3 – Representação gráfica do balanço hídrico no município de Eusébio – CE no período de 1990 a 2013 (Fonte: FUNCEME 2014). Legenda: PPT = Precipitação; ETP = Evapotranspiração potencial; ETR = Evapotranspiração real e Ie = Infiltração estimada.

O contexto geológico e fisiográfico da área de pesquisa é caracterizado pela presença de sedimentos cenozóicos, representados pelos depósitos flúvio-aluvionares com coberturas sedimentares de espriamento aluvial e os sedimentos do Terciário-Quaternário da Formação Barreiras, embasados por rochas da Suíte Magmática Messejana, Complexo Gnáissico-Migmatítico e Complexo Ceará (Unidade Canindé) (Figura 4).

MORAIS (1984) utilizou a denominação de Grupo Barreiras para uma sequência de leitos e lentes de sedimentos pouco consolidados, desde conglomerados a arenitos de todas as granulometrias. CAVALCANTE (1998) o descreve como uma sequência sedimentar com espessura variável entre 20 e 50 m, constituída litologicamente

por sedimentos areno-argilosos, pouco ou não litificados, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado, horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos.

De acordo com a CPRM (1998), as feições de relevo do município de Eusébio correspondem aos campos de dunas da faixa costeira, e ao sul, aos tabuleiros pré-litorâneos, sendo que as altitudes são inferiores a 100 m.

Segundo o IPECE (2014), o solo do município de Eusébio é representado pelos solos argissolos vermelho-amarelos. Este tipo de solo ocorre predominantemente na zona pré-litorânea, em relevo plano a suavemente ondulado, nos domínios dos sedimentos da Formação Barreiras.

A cobertura vegetal da área de pesquisa é composta pela vegetação típica de tabuleiro, com espécies próprias da caatinga e da mata serrana. Próximo ao litoral ocorre uma mancha de floresta perenifólia paludosa marítima (vegetação de mangue) (CPRM 1998).

Com relação à hidrologia, o município de Eusébio encontra-se totalmente inserido na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, tendo como drenagem principal o rio Coaçu.

Em termos hidrogeológicos, o município de Eusébio está inserido no Domínio Hidrogeológico Sedimentar, englobando o Sistema Hidrogeológico Barreiras e o Aluvionar, e o Domínio Hidrogeológico Cristalino.

O Sistema Hidrogeológico Barreiras é composto principalmente por intercalações de camadas arenosas a silto-arenosas, que lhe conferem vazões que podem variar de 2,0 a 17,6 m³ h⁻¹ e média de 2,8 m³ h⁻¹. No contexto regional, esse sistema hidrogeológico não é considerado como um aquífero livre, e sim como um aquífero confinado, já que possui porosidade e permeabilidade baixa e condutividade hidráulica estimada em 1,8 x 10⁻⁶ m s⁻¹, apresentando grande variação de fácies, com espessura oscilando entre 20 a 60 m (BIANCHI *et al.* 1984, GOMES 2008). Sua recarga é oriunda da precipitação pluviométrica, de rios e lagos influentes e também por infiltração de unidades aquíferas sobrepostas (aluvião), que funciona como unidade de transferência. Como exutórios naturais tem-se a rede de drenagem efluente (período de estiagem), a evapotranspiração e, ainda, o meio cristalino sotoposto, desde que fraturado e com características que permitam a circulação e o armazenamento de água. Na área de estudo, esse sistema recobre aproximadamente 49,6 km²,

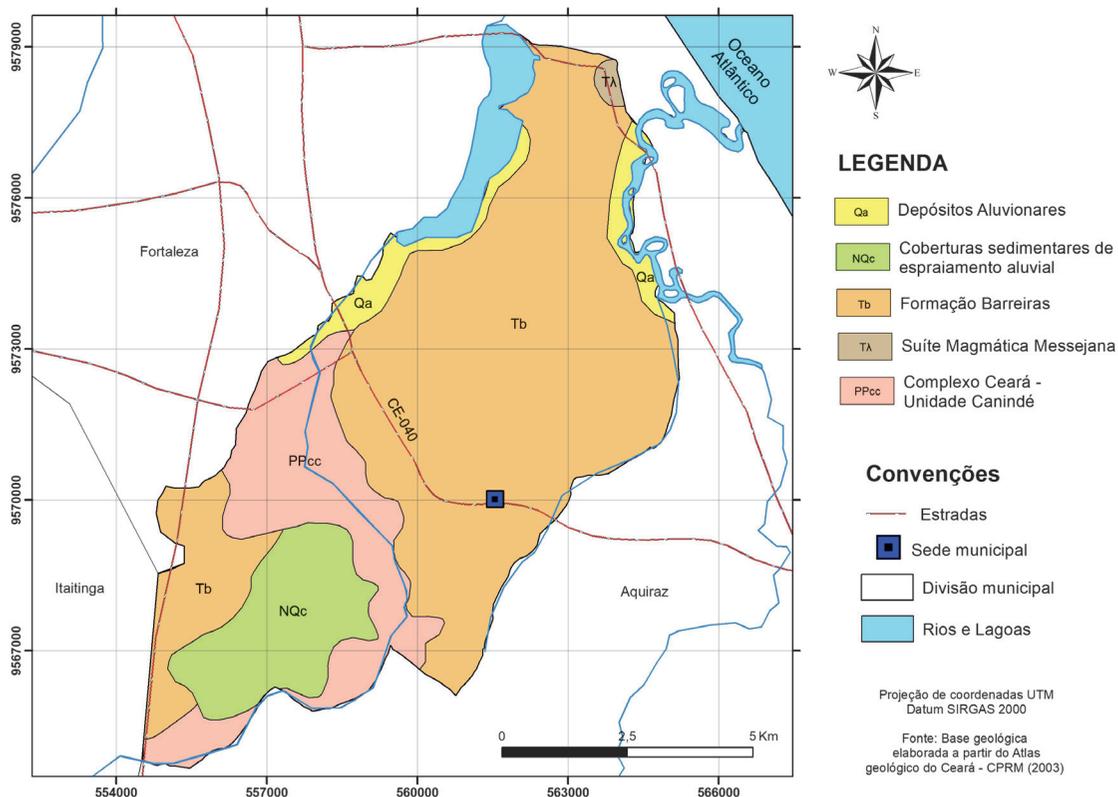


FIGURA 4 – Mapa litológico do município de Eusébio - CE.

equivalente a 66% da área, sendo considerado o aquífero de maior expressão.

O Sistema Hidrogeológico Aluvionar constitui-se de aquíferos livres, formados por sedimentos recentes que ocorrem margeando as calhas dos rios e riachos que drenam a região. Devido à mobilidade dos leitos dos rios e as constantes variações de velocidade de sedimentação das partículas sólidas, os aluviões possuem características texturais muito variadas, o que produz grande heterogeneidade na distribuição das propriedades hidráulicas (MANOEL FILHO 2008). A recarga desse aquífero se faz por infiltração pluvial direta sobre as áreas aflorantes e por drenagem influente, que no período de estiagem, passa a funcionar como exutórios (Figura 5).

O Domínio Hidrogeológico Cristalino é definido como aquífugo, em decorrência da ausência quase total de porosidade e condutividade hidráulicas primárias. A formação de aquíferos nesse domínio se dá por meio do acúmulo de água nas zonas de fraturas interconectadas (aquíferos fraturados ou fissurais), representando um meio

heterogêneo e anisotrópico. Sua recarga ocorre através de precipitações pluviométricas (quando aflorante) ou por intermédio dos sedimentos da Formação Barreiras que retêm essas águas até que ocorra a infiltração nas fraturas abertas, funcionando como um aquífero de transferência.

4 HIDROQUÍMICA DO AQUÍFERO BARREIRAS

Baseado nas 107 medições *in situ* de pH, STD, CE e nas 20 análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas nas águas do Aquífero Barreiras (Tabela 3), foram feitas algumas observações sobre suas características.

O pH do Aquífero Barreiras é predominantemente neutro, com valor mínimo de 4,8 (P444) e máximo de 10,4 (P442) (Figura 6), com 21 amostras (20%) apresentando valores fora dos padrões de potabilidade recomendado pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL 2011), que estabelece um intervalo de pH entre 6,0 a 9,5 para águas potáveis. Os va-

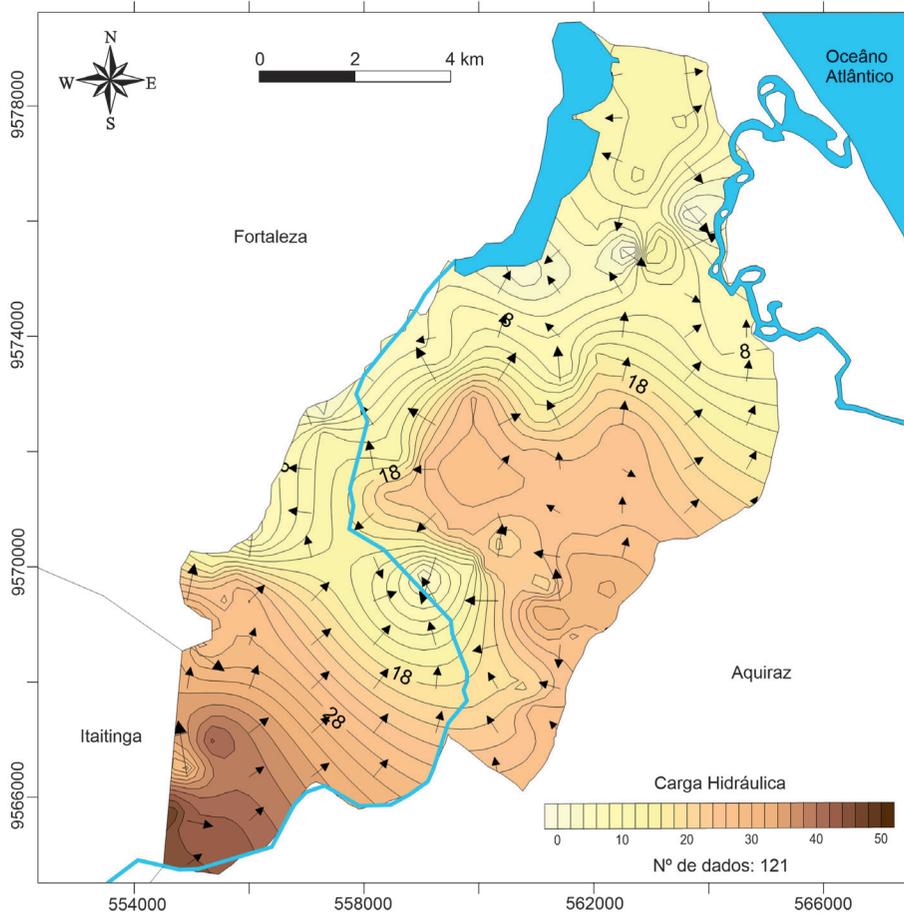


FIGURA 5 – Mapa potenciométrico do município de Eusébio - CE.

lores ácidos podem estar ligados à composição mineralógica da Formação Barreiras, rica em aluminossilicatos, enquanto os valores alcalinos podem estar associados a tipos hidroquímicos bicarbonatados, ricos em Na^+ e Ca^{2+} .

A condutividade elétrica varia de $53,3 \mu\text{S cm}^{-1}$ (P448) a $420 \mu\text{S cm}^{-1}$ (P519) (Figura 7); de acordo com a Portaria da Potabilidade, cinco poços (P63, P258, P469, P513 e P519) localizados nas porções N, E e SW apresentam concentrações acima do máximo permitido, que é de 200 mg L^{-1} .

Os sólidos totais dissolvidos (STD) apresentam concentrações de $26,7 \text{ mg L}^{-1}$ a 823 mg L^{-1} , com média de $276,7 \text{ mg L}^{-1}$. Os maiores valores localizam-se na porção SW da área e podem estar relacionados a efluentes oriundos de fontes de contaminação associadas ao baixo índice de saneamento básico. CAVALCANTE (1998)

encontrou valores de STD variando de 500 a 2000 mg L^{-1} , associados a elevada concentração de cloretos.

As concentrações de sódio encontradas no Aquífero Barreiras variam de 41 mg L^{-1} (P457) a 420 mg L^{-1} (P519) (Figura 7); de acordo com a Portaria da Potabilidade, cinco poços (P63, P258, P469, P513 e P519) localizados nas porções N, E e SW apresentam concentrações acima do máximo permitido, que é de 200 mg L^{-1} .

As concentrações de cloretos encontradas no Aquífero Barreiras, variam de 10 (P440 e P465) a $395,87 \text{ mg L}^{-1}$ (P513) (Figura 8); quatro poços (P63, P460, P513 e P519) localizados nas porções NW e SW apresentam concentrações acima do máximo permitido pela Portaria de Potabilidade, que é de 250 mg L^{-1} .

Os elevados teores de Cl^- na água subterrânea devem estar relacionados à precipitação

Tabela 3 – Análises químicas (concentrações em mg L⁻¹) e bacteriológicas de águas de poços do Aquífero Barreiras no município de Eusébio - CE.

Nº Poço	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Dureza (CaCO ₃)	F ⁻	N-NO ₃	N-NO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Fe ⁺	Turbidez (UNT)	Coliformes			Tipo de Poço	Profund. Poço (m)
														Totais (UFC/ 100 mL)	Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL)	Bactérias Heterotóxicas (UFC/mL)		
Limite de Potabilidade	250	250		-	1,5	10	1	200	-	-	-	0,3	5,0	Ausente	Ausente	< 500		
P63	285,00	79	22	74	0,01	5,5	0,02	230	48,0	0,40	0,12	<LD	3,0	88	Ausente	<1	Tubular	60
P64	14,00	81	10	2	0,01	5,0	0,02	75	18,0	0,40	0,01	<LD	2,0	88	Ausente	50	Tubular	60
P100	16,00	60	8	2	0,01	5,4	0,02	75	11,8	0,40	0,01	<LD	1,8	90	Ausente	24	Tubular	SI
P208	54,00	53	12	4	0,01	5,3	0,02	118	28,0	0,40	0,01	<LD	2,0	56	Ausente	33	Tubular	SI
P258	219,93	58	20	152	0,01	5,0	0,00	280	82,0	4,83	0,19	<LD	1,8	Ausente	Ausente	8	Tubular	60
P341	97,95	76	18	40	0,01	5,8	0,00	190	53,0	3,22	0,12	<LD	1,0	Ausente	Ausente	22	Tubular	60
P435	52,00	73	32	200	0,01	5,0	0,02	70	15,0	4,83	0,19	<LD	1,0	70	Ausente	125	Manual	6
P440	10,00	61	6	2	0,02	4,0	0,02	110	20,0	0,40	0,01	<LD	2,0	60	Ausente	46	Tubular	50
P456	30,00	56	14	12	0,01	5,2	0,00	118	33,0	0,80	0,03	<LD	3,0	Ausente	Ausente	36	Tubular	60
P457	18,00	71	16	36	0,01	5,0	0,02	41	22,1	2,41	0,09	<LD	1,0	80	Ausente	18	Manual	10
P460	289,00	49	16	48	0,01	5,2	0,00	68	24,0	2,41	0,09	0,01	2,0	Ausente	Ausente	50	Manual	12
P465	10,00	60	8	2	0,01	6,0	0,00	85	31,0	0,40	0,01	<LD	1,0	12	Ausente	<1	Tubular	SI
P466	149,95	38	20	30	0,02	6,0	0,02	130	28,0	2,82	0,11	0,2	4,8	60	Ausente	20	Tubular	10
P469	14,00	88	10	2	0,01	7,8	0,02	220	34,0	0,40	0,01	0,2	5,0	100	Ausente	40	Tubular	50
P471	38,00	53	14	38	0,01	6,0	0,00	110	30,4	2,82	0,11	<LD	1,0	Ausente	Ausente	<1	Manual	20
P479	20,00	41	16	42	0,02	8,0	0,03	88	20,3	2,41	0,09	<LD	1,4	65	Ausente	50	Manual	4
P499	12,00	80	8	2	0,01	5,3	0,02	120	30,0	0,40	0,01	<LD	2,0	140	Ausente	<1	Tubular	40
P513	395,87	43	36	390	0,01	3,8	0,00	315	52,0	9,67	0,38	<LD	1,0	Ausente	Ausente	<1	Tubular	SI
P519	311,90	28	24	228	0,02	6,0	0,03	420	110,0	5,24	0,20	<LD	2,0	100	Ausente	60	Manual	SI
P522	129,95	45	26	120	0,02	4,3	0,00	140	41,0	4,83	0,19	<LD	1,5	Ausente	Ausente	<1	Manual	SI

LD: Limite de detecção; UNT: Unidade Nefelométrica de Turbidez; UFC: Unidade de Formação de Colônias.

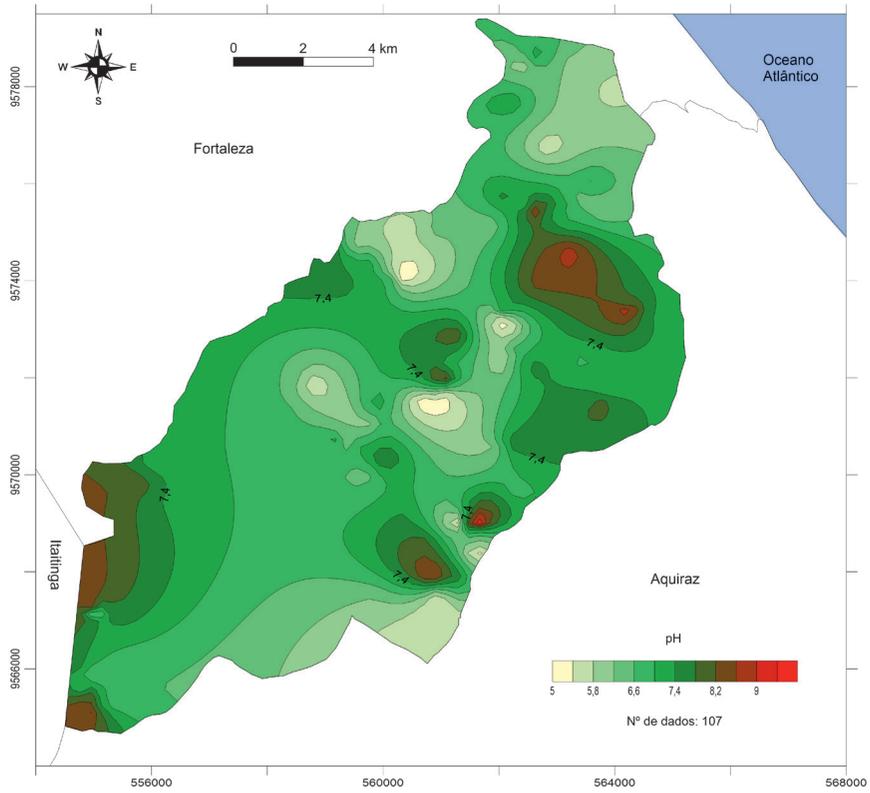


FIGURA 6 – Isolinhas com zoneamento tendencial do pH no Aquífero Barreiras no município de Eusébio - CE.

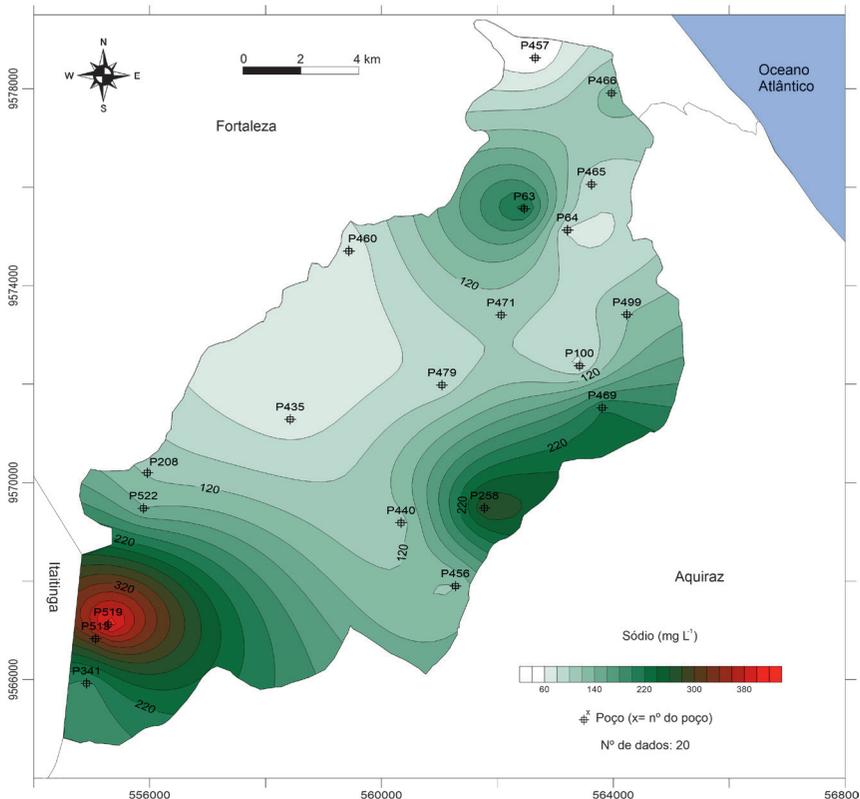


FIGURA 7 – Isolinhas com zoneamento tendencial do sódio no Aquífero Barreiras no município de Eusébio - CE.

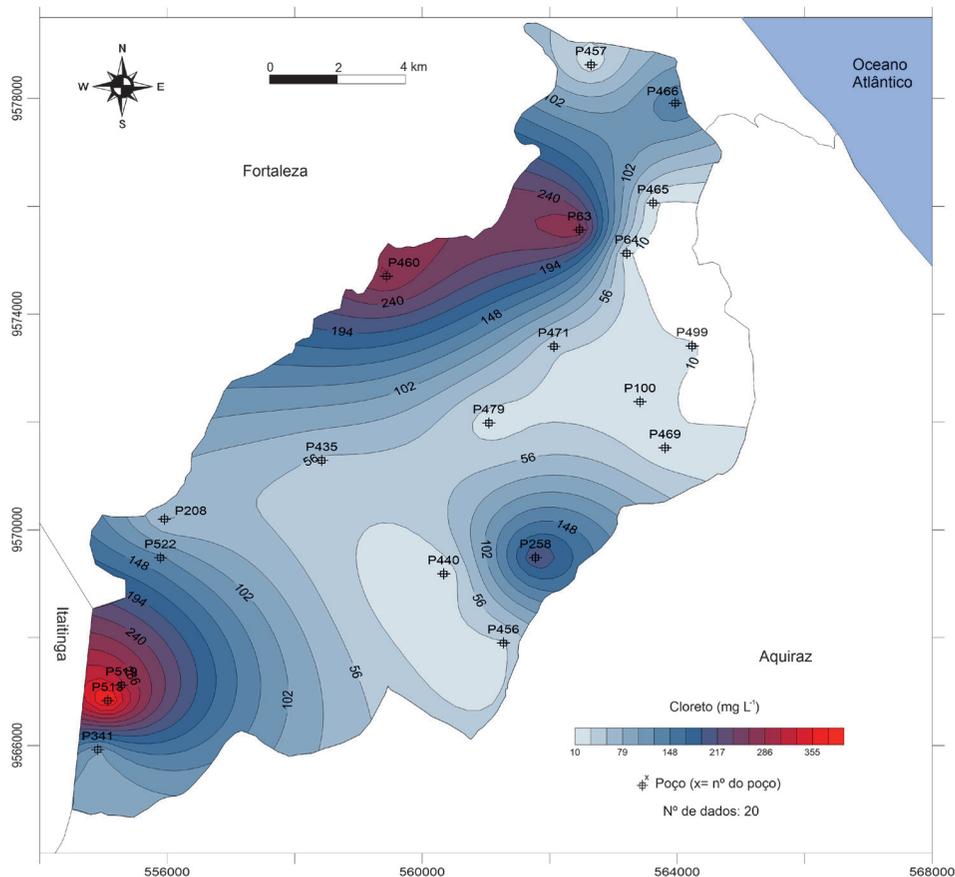


FIGURA 8 – Isolinhas com zoneamento tendencial do cloreto no Aquífero Barreiras no município de Eusébio - CE.

de águas pluviais enriquecidas em cloreto pelo oceano, uma vez que as concentrações de cloreto e sódio apresentam coeficiente de correlação de 0,70 (Figura 9). A evapotranspiração pode ser outro fator favorável à concentração do mesmo nas águas subterrâneas.

A presença de nitrogênio-nitrato na faixa de valores entre 3,80 e 8,00 mg L⁻¹ é um indicativo que a qualidade da água pode estar sofrendo interferências por fontes associadas a fossas ou esgoto sanitário, embora ainda não tenham atingido o limite de potabilidade de 10,00 mg L⁻¹. Os altos teores de Cl⁻ associados a NaCl dificultam averiguar sua correlação com o N-NO₃⁻ (Figura 10). Assim, o coeficiente de correlação N-NO₃⁻ e Cl⁻ obtido (r = 0,285) não pode ser utilizado para averiguar se eles possuem a mesma origem.

A turbidez, a dureza e as concentrações de ferro, fluoreto, sulfato, nitrito, nitrato, bem como os valores de STD e CE, encontram-se dentro dos padrões

de potabilidade segundo a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL 2011).

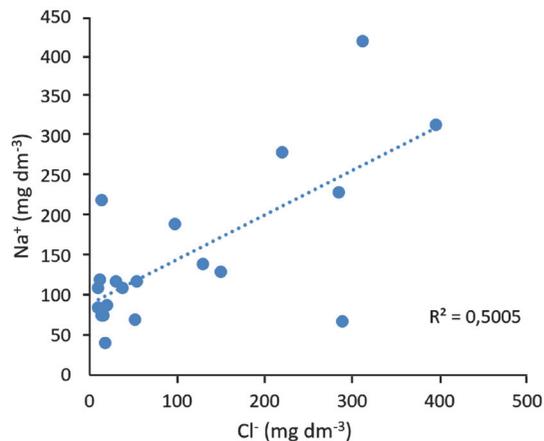


FIGURA 9 – Relação iônica do Cl⁻ e Na⁺ no Aquífero Barreiras no município de Eusébio - CE.

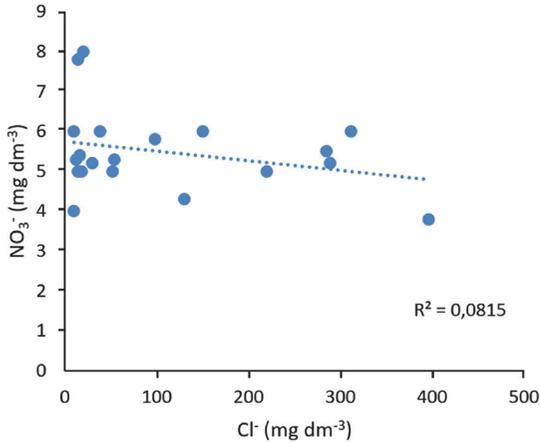


FIGURA 10 – Relação iônica do Cl⁻ e N-NO₃⁻ no Aquífero Barreiras no município de Eusébio - CE.

Conforme esta Portaria, águas potáveis devem ser isentas de coliformes totais e coliformes termotolerantes e não devem conter mais que 500 Unidades Formadoras de Colônias por Litro (UFC/mL) de bactérias heterotróficas. Os resultados das análises bacteriológicas demonstram que de 20 amostras analisadas, 13 apresentam contaminação apenas por coliformes totais, com concentrações

que variam de 12 UFC/mL a 140 UFC/mL, indicando uma possível contaminação por esgotos domésticos.

4.1 Classificação hidroquímica

Das 20 amostras analisadas, constatou-se que, em relação aos ânions, ocorre a predominância de águas cloretadas (45%), seguidas das sulfatadas (40%) e águas mistas (15%), enquanto para os cátions, as águas são classificadas como sódicas (Figura 11).

Águas cloretadas são aquelas com predominância do ânion cloreto (igual ou superior a 50%) sobre os demais. A ocorrência de maior concentração de águas cloretadas (69%), está relacionada às águas pluviais e à evaporação, que favorece a concentração do mesmo nas águas subterrâneas.

4.2 Classificação para uso na irrigação

A avaliação da qualidade das águas para irrigação foi realizada com base na classificação proposta pelo *U.S. SALINITY LABORATORY*, que relaciona a concentração de sais solúveis, como in-

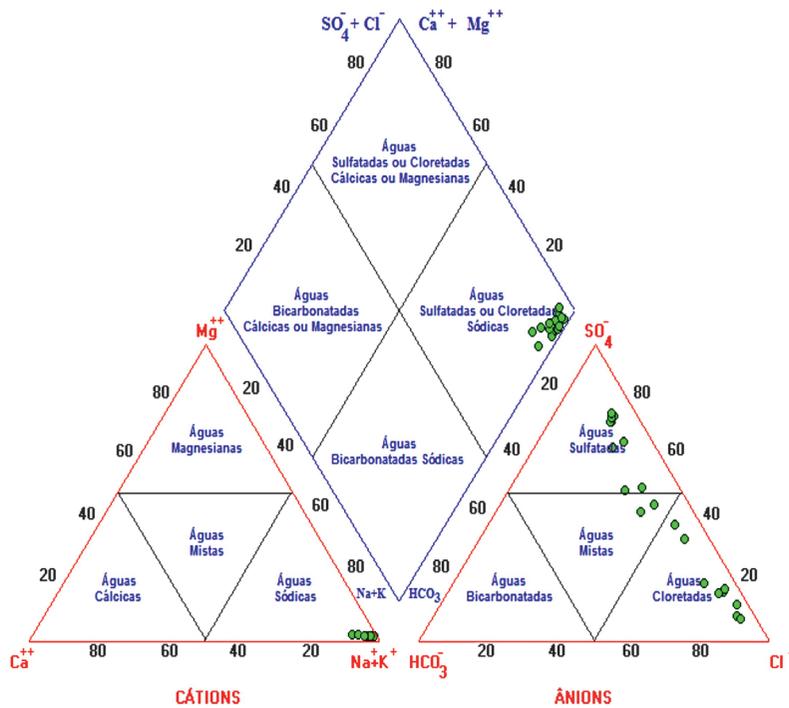


FIGURA 11 – Classificação hidroquímica do Aquífero Barreiras no município de Eusébio - CE, segundo o diagrama de Piper.

dicadora do perigo de salinização do solo e a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), como indicadora do perigo de sodificação.

LOGAN (1965) admite que águas com elevada concentração de sódio e baixas concentrações de cálcio e magnésio são bastantes nocivas para a irrigação, pois promovem a precipitação de CaCO_3 , MgCO_3 até CaSO_4 , promovendo um enriquecimento de sódio devido à remoção do cálcio e do magnésio.

Segundo SANTOS (2008), a maioria das águas utilizadas na agricultura possui condutividade elétrica inferior a $2.000 \mu\text{Mho cm}^{-1}$. Os resultados das colheitas que utilizam águas com condutividade superiores a $2.000 \mu\text{Mho cm}^{-1}$, em geral, não apresentaram resultados satisfatórios para o desenvolvimento adequado dos vegetais.

Com base no Diagrama *U.S. Salinity Laboratory*, as águas do Aquífero Barreiras apresentam riscos quanto à salinidade que variam de médio a alto, e em relação ao sódio, apresenta ris-

co variando de médio, forte a muito forte, com as amostras distribuídas nas classes C2-S1, C2-S2, C2-S3 e C3-S4 (Figura 12).

A classe C2-S1 corresponde a águas que podem ser utilizadas para irrigação, em grande parte dos tipos de solo e plantas com tolerância salina. Elas podem ser consideradas em função do RAS, em águas de baixo risco de sódio.

A classe C2-S2 corresponde a águas que podem ser utilizadas para irrigação, porém apresentam perigo de sódio para os solos de textura grossa, podendo ser utilizadas em solos de textura grossa ou ricos em matéria orgânica, com boa permeabilidade, sendo consideradas em função do RAS em águas de médio risco de sódio.

A classe C2-S3 corresponde a águas que podem ser utilizadas para irrigação, porém há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, podendo ser utilizada em vegetais com alta tolerância ao sódio, sendo considerada em função do RAS em águas com forte risco de sódio.

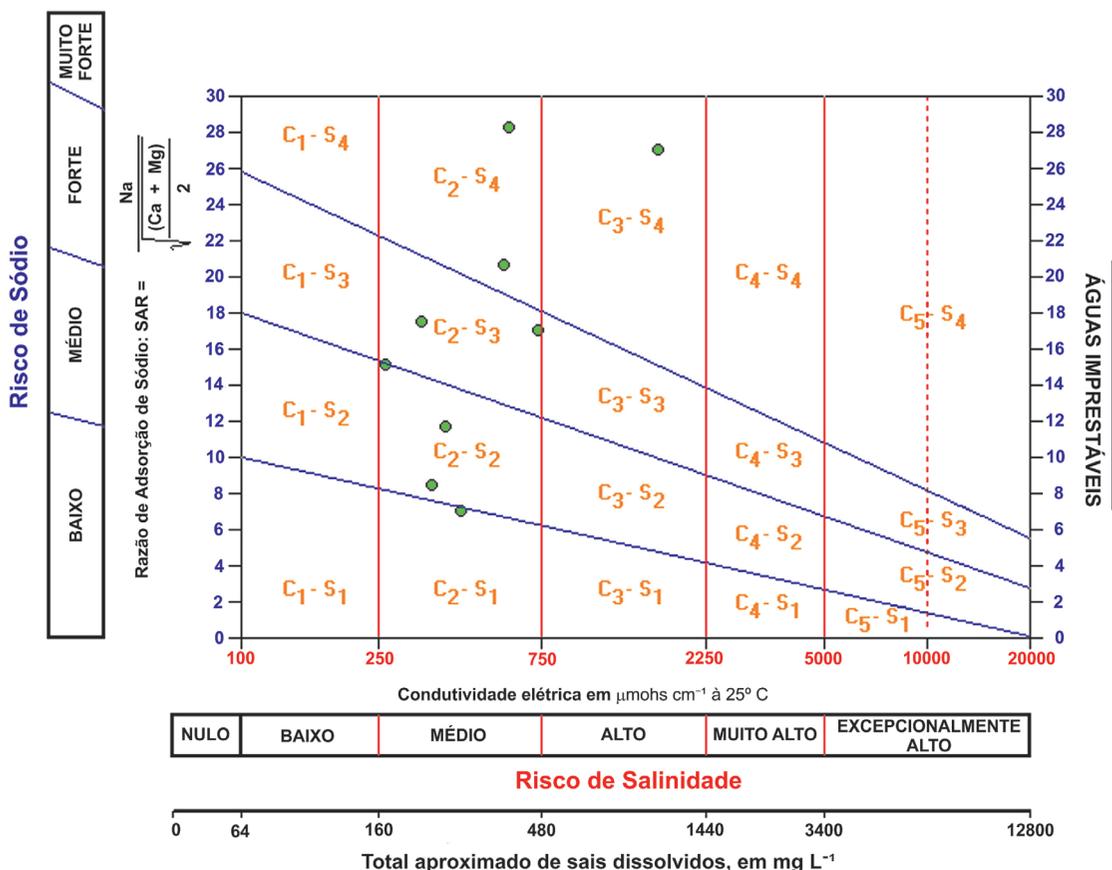


FIGURA 12 – Risco quanto à salinidade das águas do Aquífero Barreiras no município de Eusébio - CE, segundo o Diagrama *U.S.S.L.*

Já as classes C2-S4 e C3-S4 correspondem a águas extremamente sódicas, que só podem ser aplicadas em vegetais de alta tolerância salina e em solos bem drenados, sendo considerado em função do RAS como águas com risco de sódio muito forte.

5 CONCLUSÕES

O estudo hidroquímico do Aquífero Barreiras, no município de Eusébio, no estado do Ceará, foi baseado em 107 medições *in situ* de pH, STD e CE durante a etapa de campo e em análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas em amostras coletadas de 20 poços distribuídos na área.

Dentre os parâmetros analisados nas 107 amostras, apenas o pH apresentou valores fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece um intervalo de pH entre 6,0 e 9,5 para águas potáveis. Esses valores anômalos, quando ácidos, podem estar ligados ao meio geológico (Barreiras) e quando básicas, podem estar associadas a águas com predominância de íons de Na⁺ e Ca²⁺ ou a águas bicarbonatadas.

As 20 análises físico-químicas realizadas apresentam dados de turbidez, dureza, concentrações de ferro, fluoreto, sulfato, nitrito e nitrato dentro dos padrões de potabilidade, com algumas amostras de cloreto (4 amostras) e sódio (5 amostras) ultrapassando os padrões de potabilidade.

Já em relação à qualidade microbiológica do Aquífero Barreiras, observou-se que 65% das amostras analisadas apresentam contaminação por coliformes totais, cuja presença pode estar relacionada a fossas existentes na área.

Quanto à classificação hidroquímica, pode-se observar a predominância de águas cloretadas, seguidas das sulfatadas e mistas, e sódicas. Isso indica provável influência das águas salinas do mar que atingem os aquíferos por meio da precipitação. Pode haver, também, influência climática que favorece a evapotranspiração e consequente concentração iônica nas águas.

De acordo com o diagrama do *U.S. Salinity Laboratory*, o Aquífero Barreiras apresenta risco quanto a salinidade dos solos que varia de médio a alto e, em relação ao sódio, apresenta risco que varia de médio, forte a muito forte, com amostras distribuídas nas classes C2-S1, C2-S2, C2-S3, C2-S4 e C3-S4.

A concentração média de 5,48 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ obtida pela análise de água de 20 poços já fornece um indicativo de interferência na qualida-

de, apesar dos valores (entre 3,80 e 8,0 mg L⁻¹) não terem atingido o limite de 10,00 mg L⁻¹. Recomenda-se, desta forma, um estudo visando o monitoramento hidroquímico das águas dessa região e que as autoridades competentes invistam mais recursos em saneamento básico, tendo em vista que a coexistência de poços para abastecimento doméstico e fossas sépticas ou negras, representam um risco para a saúde da população.

6 AGRADECIMENTOS

Aos relatores da Revista do Instituto Geológico pelas sugestões apresentadas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Washington, 20th ed.
- BIANCHI, L.; PADILHA, M.W.M.; TEIXEIRA, J. E.M. 1984. Recursos de Água Subterrânea na Região Metropolitana de Fortaleza. Fatores condicionantes. *In*: Plano de aproveitamento dos recursos hídricos da R.M.F - Fase I. Fortaleza: SEPLAN-AUMEF, vol. 1, 139 p.
- BRASIL. 2001. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 14 dez. 2011, 34 p.
- CAVALCANTE, I.N. 1998. Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 153 p.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 1998. Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará – Diagnóstico do Município de Eusébio. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, Fortaleza, 16 p. Disponível em <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/>

- handle/doc/15975/Rel_Eus%C3%A9bio.pdf?sequence=1. Acessado em 2017.
- FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Postos pluviométricos. Disponível em <http://www.funceme.br>. Acessado em 20 mar. 2014.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Censo demográfico 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em 14 mar. 2014.
- IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. 2014. Perfil básico municipal – Eusébio. Disponível em http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2014/Eusebio.pdf. Acessado em 14 mar. 2014.
- LOGAN, J. 1965. Interpretação de análises químicas de água. U.S. Agency for International Development, Recife, 67 p.
- MANOEL FILHO, J. 2008. Ocorrência das águas subterrâneas. *In*: F.A.C. Feitosa; J. Manoel Filho; E.C. Feitosa; J.G.A. Demetrio (org.) Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações, 3ª ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro, CPRM e LABHID, cap. 2, p. 53-75.
- MORAIS, J.B.A. 1984. Projeto Fortaleza: Hidrogeologia e Controle Tecnológico nas Perfurações de Poços Tubulares no Município de Fortaleza. DNPM/CPRM, Fortaleza, 2 vols.
- MOURA, P. 2014. Vulnerabilidade de Aquíferos: uso dos métodos DRASTIC E GOD na porção norte do Complexo Industrial e portuário do Pecém, Estado do Ceará. Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Dissertação de Mestrado, 128 p.
- PIPER, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions American Geophysical Union*, 25: 914-923.
- SANTOS, A.C. 2008. Noções de Hidroquímica. *In*: F.A.C. Feitosa; J. Manoel Filho; E.C. Feitosa; J.G.A. Demetrio (org.) Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3ª ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro, CPRM e LABHID, cap. 5, p. 325-357.
- SIAGAS – SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Banco de dados de poços do Ceará. Disponível em <http://siagasweb.cprm.gov.br>. Acessado em 17 jun. 2014.

Endereço dos autores:

Rafael Mota de Oliveira, Itabaraci Nazareno Cavalcante, Karen Vendramini de Araújo, Renata Nayara Câmara Miranda Silveira, Filipe da Silva Peixoto, Inacio Ocinaí de Lima Neto – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, bloco 912, CEP 60020-181, Fortaleza, CE. *E-mails*: rafaelmota20@yahoo.com.br, itabaracacavalcante@gmail.com, karenvendramini@yahoo.com.br, renayarac@gmail.com, fpeixoto10ufc@gmail.com, inacioneto@ufc.br

Artigo submetido em 17 de agosto 2016, aceito em 28 de dezembro 2017.