

# QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NAS DUNAS E CRISTALINO EM CAUCAIA-CE

Bruno Alves de Mesquita<sup>1</sup>; Horst Frischkorn<sup>2</sup>; Carla Maria Salgado Vidal Silva<sup>1</sup>; Josué Mendes Filho<sup>1</sup>; Maria Marlúcia Freitas Santiago<sup>1</sup>

**Resumo** – Este trabalho foi realizado no município de Caucaia/Ceará em duas áreas hidrogeologicamente distintas, uma na costa, onde prevalecem Dunas e Formação Barreiras, e outra no interior, onde predomina o cristalino. Foram coletadas no final do período seco (março de 2014) e final do chuvoso (agosto de 2015) amostras de 39 poços, 12 do interior e 27 da costa, para análise das concentrações dos íons maiores, nitrato, condutividade elétrica e dos isótopos estáveis oxigênio-18 e deutério. As faixas de condutividade elétrica nas duas coletas diferem nas duas áreas com valores menores do que 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na costa e maiores do que este valor no interior, atingindo 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; medidas de nitrato identificam contaminação local em parte das amostras do litoral. A relação de  $\delta^{18}\text{O}$  versus  $\delta\text{D}$  com dados das duas coletas indicam processo de evaporação mais intenso na costa e no período seco e recarga feita diretamente pelas chuvas sem contribuição de reservas superficiais. Os processos de aquisição de sais pelas águas nas duas áreas diferem; na costa predomina a interação água rocha e no interior os processos de evaporação-cristalização.

**Abstract** – This work was carried out in the municipality of Caucaia/Ceará, in two hydrogeologically distinct areas, one on the coast, where the Dunes and Barreiras Formation prevail, the other in the inland, where Bedrock prevails. 39 wells, 12 inland and 27 from the coast were sample at the end of the dry period (March 2014) and of the rainy period (August 2015), in order to analyze major ions, electrical conductivity and stable isotopes oxygen-18 and deuterium. The electrical conductivity rate on the coast is lower than 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; inland the values are higher, reaching 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nitrate measures reveal contamination in part of the coastal samples. The relation of  $\delta^{18}\text{O}$  versus  $\delta\text{D}$  for the both periods indicates evaporation, being more intense on the coast the dry period, and recharge is directly through rain without the contribution of surface reservoirs. The input of salts differ between the areas; on the coast is rock weathering is dominant and the inland, the evaporation- crystallization process.

**Palavras-chave** – águas subterrâneas, isótopos estáveis, salinidade.

<sup>1</sup> Departamento de Física, Campus do Pici, Cx. Postal 6030, Tel. (85) 33669913, CEP: 60455-760, Fortaleza-CE, E-mail: [bruno.mesquita@fisica.ufc.br](mailto:bruno.mesquita@fisica.ufc.br); [carla@fisica.ufc.br](mailto:carla@fisica.ufc.br); [josue@fisica.ufc.br](mailto:josue@fisica.ufc.br); [marlucia@fisica.ufc.br](mailto:marlucia@fisica.ufc.br),

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, Tel.:85 3366 9775, Fax: (0xx) 85 3366 9627, e-mail: [cariri@ufc.br](mailto:cariri@ufc.br).

## 1 – INTRODUÇÃO

No Estado do Ceará, os principais problemas envolvendo reservas hídricas primárias decorrem da má distribuição espacial e temporal das chuvas e dos fenômenos de seca. As escassas reservas subterrâneas de qualidade adequada ao consumo são o resultado de quatro fatores: i) solo, em geral, pouco espesso para o armazenamento de água; ii) recarga fácil, como nas dunas, tornando a reserva vulnerável; iii) evaporação alta das águas de recarga; e iv) temperatura elevada, favorecendo processos endógenos que influenciam na salinização. Assim, a salinidade das águas subterrâneas é alta na maior parte do Estado, provocada por processos físicos e geoquímicos que dependem de parâmetros como temperatura, geologia e estratigrafia.

A necessidade cada vez maior de água devido ao aumento populacional e ao crescimento acelerado dos setores industrial e agrícola, requer a realização de estudos direcionados para o monitoramento da qualidade e quantidade das águas subterrâneas, considerando sua importância para o abastecimento das diversas necessidades dos seus usuários. A sua presença numa região não garante o suprimento de recursos hídricos à população, pois há necessidade de quantidade suficiente e de qualidade adequada a cada uso específico.

Em condições naturais, as águas subterrâneas têm sua qualidade dependente da composição das chuvas (JALALI, 2007) e de processos de interação com minerais do aquífero (NARANY et al., 2014, entre outros). A contribuição de sais da atmosfera diminui com a distância ao mar (STARLLARD e EDMUND, 1981); por isso, é muito importante para a composição das águas subterrâneas em regiões costeiras (CAROL e KRUSE, 2012). Também o uso do solo influencia a qualidade das águas subterrâneas dependendo da configuração geológica (JALALI, et al., 2007) que pode favorecer a sua interação com águas superficiais.

A influência de diferentes fatores sobre a qualidade das águas subterrâneas varia no tempo e no espaço (MIKHLAFI, et al. 2003). Nur et al. (2012a) identificaram a relação entre sistemas de fluxos subterrâneos e as fácies químicas. No trabalho de Nur et al. (2012b) foi constatado que o sistema de fluxo é complexo e influencia a variabilidade espacial natural da química nas águas subterrâneas em escala regional e local.

O nitrato é um dos íons indicadores da qualidade das águas mais encontrado em águas naturais sendo considerado um indicador de poluição difusa, onde não existe um foco definido de poluição; em geral, sua origem está relacionada a atividades agrícolas e esgotos sanitários. Nas áreas habitadas ele resulta diretamente de fatores como a densidade demográfica, ausência de esgotamento sanitário e presença de fossas sépticas e rudimentares.

A contaminação das águas superficiais e subterrâneas tem sido associada também a aterros sanitários, depósitos de rejeitos industriais e esgotamento sanitário. Nóbrega et al. (2008)

identificou o crescimento desordenado de áreas urbanas como a maior causa das contaminações em lençóis subterrâneos e Richards et al. (1996) ressaltam que a contaminação de um poço não reflete necessariamente a contaminação de um aquífero, pois os poços que tem defeito de construção podem contaminar-se por aporte local de contaminantes.

Para identificar processos responsáveis pela qualidade das águas subterrâneas em diferentes condições ambientais, este trabalho foi desenvolvido em duas áreas do município de Caucaia, região Metropolitana de Fortaleza, que estão nas mesmas condições climáticas, mas diferentes condições de armazenamento; uma na costa e outra no interior, a cerca de 20 km dela. O abastecimento de água das duas regiões é feito principalmente por reservas subterrâneas.

## 2 – ÁREA

Para realização deste trabalho, duas reservas de água subterrânea foram pesquisadas no município de Caucaia, costa oeste do Estado do Ceará. Numa área com aproximadamente 110 km<sup>2</sup>, na costa, foram coletadas 27 amostras e no interior foram coletadas 12 amostras, em dois períodos, em março de 2014 e em agosto de 2015. Os locais de amostragem são mostrados na Figura 1.

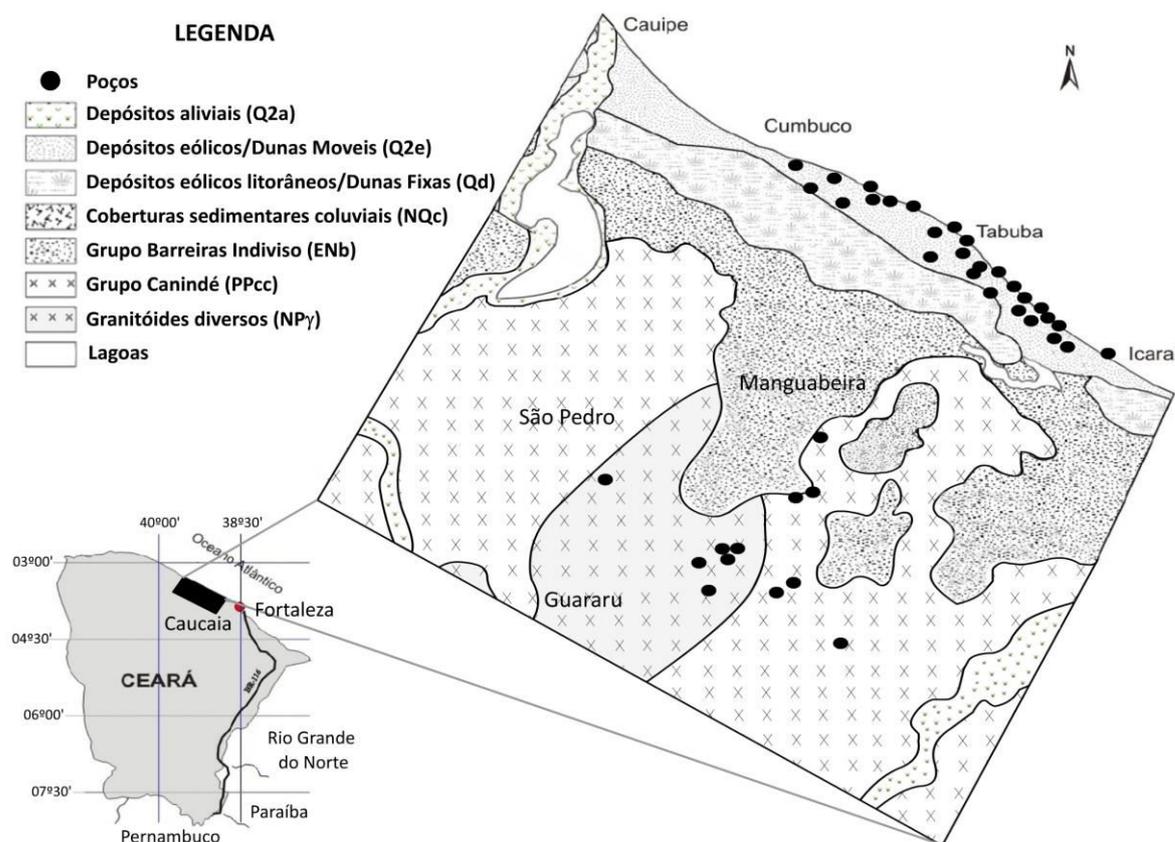


Figura 1. Localização da área de trabalho e dos pontos amostrados (modificado de SANTIAGO et al., 2007 e baseado no Atlas da CPRM, 2003)

As águas subterrâneas da região costeira estão localizadas em dois sistemas aquíferos: dunas e Formação Barreiras; as dunas são formadas pelo acúmulo de sedimentos removidos da fase de praia por processo de deflação eólica e se apresentam como aquífero superior livre; repousam sobre os sedimentos da Formação Barreiras, uma sequência constituída de sedimentos areno-argilosos. (AGUIAR et al., 2007).

Na área no interior, o domínio hidrogeológico predominante é o embasamento cristalino. Nesse tipo de rocha, a água subterrânea fica condicionada a uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, caracterizando os reservatórios como aleatórios e descontínuos, comumente chamados de “aquíferos fissurais” (LIRA, 2009). Nesse tipo de aquífero, a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semiárido, é normalmente salinizada.

A pluviosidade na área, medida nas chuvas coletadas no Posto Meteorológico de Caucaia, (FUNCEME, 2016) está mostrada na Figura 2, onde estão indicados os períodos das coletas 1 e 2. Observa-se que 2013 e 2014 tiveram precipitação anual muito abaixo da média e que as chuvas ocorrem no primeiro semestre de cada ano.

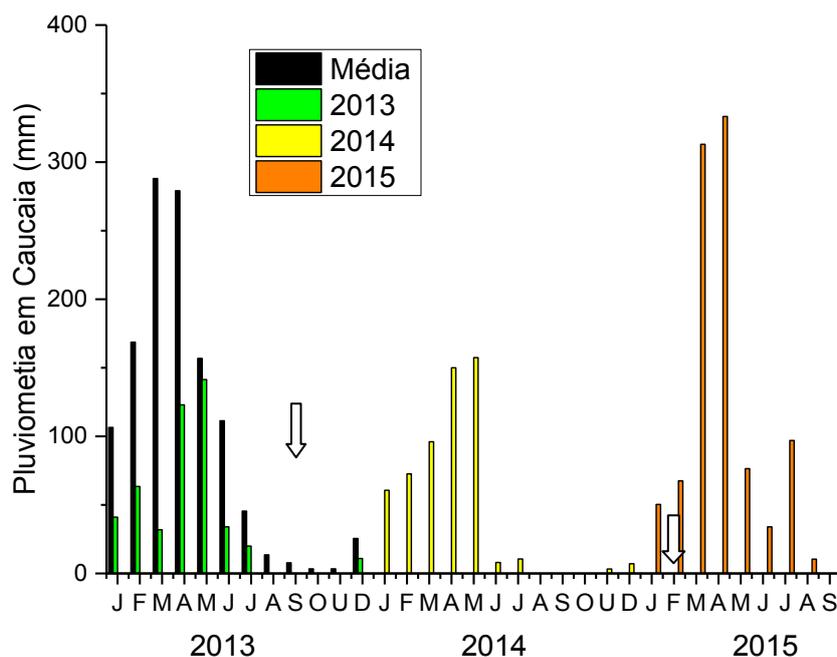


Figura 2. Pluviometria medida no Posto Meteorológico em Caucaia/CE (FUNCEME, 2016)

### 3 – METODOLOGIA

Para o estudo das águas subterrâneas nas duas áreas, 39 poços foram amostrados nos dois períodos de coleta, e feitas análises isotópica, de oxigênio-18 e de deutério, e físico-química, dos íons maiores ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) e da condutividade elétrica.

As medidas de isótopos estáveis, oxigênio-18 e deutério, foram feitas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, utilizando o

Espectrômetro de Cavidade Ressonante da Picarro, modelo L2130-i. A técnica de Espectroscopia de Absorção a Laser em Cavidade Ressonante (e.g., BUSCH e BUSCH, 1997; BEAR et al., 2002) fornece os resultados com rapidez e excelente precisão. Estas medidas são expressas em partes por mil (‰) com relação ao padrão internacional VSMOW (*Vienna Standard Mean Ocean Water*), de acordo com a expressão (1). A precisão do equipamento é de 1,0 ‰ para  $\delta D$  e 0,10 ‰ para  $\delta^{18}O$ .

$$\delta (\text{‰}) = \left( \frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrao}}} - 1 \right) \cdot 10^3 \quad (1)$$

Segundo Skrzypek e Ford (2014), essa técnica pode ser aplicada com sucesso na análises de águas salinas em Espectrômetro de Absorção a Laser. Um pré-tratamento foi feito nas amostras muito salinas ( $>1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), destilando-as a seco, sem fracionamento isotópico, para diminuir o erro da análise e não danificar o Espectrômetro.

O excesso de deutério foi utilizado para identificar diferentes condições de formação das chuvas nas duas áreas; ele é definido como:

$$d = \delta D - 8 \cdot \delta^{18}O \quad (2)$$

As concentrações dos elementos maiores, os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , e os ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{NO}_3^-$  foram medidas no Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da UFC seguindo metodologias do Standard Methods (APHA, 2005). A condutividade elétrica foi medida em campo com um condutivímetro portátil. Os resultados das medidas são comparados com o valor máximo das concentrações de cada parâmetro permitido em águas potáveis (CONAMA, 2008).

Para obter informações sobre mecanismos naturais controlando a química das águas foram utilizados gráficos de Gibbs (1970) que propôs a construção de TDS versus  $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})$  e TDS versus  $\text{Cl}/(\text{Cl} + \text{HCO}_3)$  para identificar áreas onde dominam três mecanismos: 1) precipitação atmosférica, 2) intemperismo de rochas e 3) evaporação e cristalização fracionada.

#### 4 – RESULTADOS

Os resultados das medidas dos parâmetros analisados nas amostras das duas áreas, costa e interior, nos dois períodos de coleta, estão apresentados nas tabelas a seguir. Na costa estão os poços P01 a P27 e no interior, os poços P28 a P39; na Tabela 1 os dados referentes à coleta no final do período seco, em março de 2014, e na Tabela 2, os dados referentes à coleta no final do período chuvoso, em agosto de 2015.

Tabela 1. Medidas de parâmetros físico-químicos e isotópicos de águas subterrâneas das áreas, costa e interior, no município de Caucaia-CE, coletadas em março de 2014.

ID	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta\text{D}$ (‰)	Concentrações (mg/L)							
				$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{N-NO}_3^-$
<b>Costa</b>											
P01	825	-1,5	-4,1	35,2	5,8	77,9	10,3	101,1	21,4	125,4	7,4
P02	564	----	----	78,4	31,1	170,4	9,8	293,6	55,0	215,6	17,8
P03	1465	-1,1	----	70,4	21,4	96,7	10,7	120,3	58,4	185,5	58,8
P04	946	-1,7	-6,5	84,8	11,6	93,2	14,1	110,7	58,2	195,5	65,6
P05	1018	-2,0	-7,8	57,6	11,6	67,7	5,7	77,0	33,8	180,5	28,9
P06	640	-2,5	-9,6	38,4	11,6	53,9	7,3	67,4	31,4	130,4	19,7
P07	530	-2,3	-8,6	51,2	13,6	90,2	10,7	107,8	43,7	150,4	34,3
P08	766	-2,7	-11,4	48,0	15,5	52,8	5,4	80,8	21,7	165,7	9,7
P09	564	-1,8	-6,6	73,6	8,7	77,3	8,3	84,7	88,9	185,5	14,4
P10	751	-2,2	-7,7	32,0	7,2	38,0	7,8	57,7	5,5	137,9	4,2
P11	420	-1,8	-2,8	46,4	14,5	23,7	4,7	32,7	11,3	175,5	18,7
P12	440	-2,8	-11,7	72,0	16,5	113,1	22,2	103,9	110,4	230,6	44,9
P13	1050	-2,2	-7,0	56,0	19,4	78,0	11,0	91,4	18,8	188,0	9,9
P14	802	-2,0	-6,5	33,6	7,8	64,8	6,5	100,1	12,6	150,4	3,2
P15	498	-2,3	-6,9	60,8	14,6	97,1	9,1	140,5	50,6	120,3	32,8
P16	844	-1,7	-2,9	76,8	19,4	61,4	7,5	75,1	9,5	320,9	13,5
P17	740	-2,0	-9,2	22,4	10,7	23,0	4,8	21,2	7,5	125,4	1,37
P18	282	-3,5	-17,2	54,4	9,7	58,3	7,0	73,3	39,9	125,4	34,8
P19	588	-1,5	-4,7	4,8	1,9	25,1	3,8	30,8	9,4	25,1	0,0
P20	154	-2,6	-12,7	27,2	5,8	20,4	3,8	25,0	9,7	100,3	0,0
P21	245	-3,7	-20,0	73,6	10,7	38,8	5,4	34,6	44,2	270,7	0,0
P22	574	-2,9	-15,5	44,8	7,8	16,1	4,2	17,3	3,4	185,5	0,0
P23	303	-2,8	-14,4	46,4	6,8	26,7	4,2	25,0	16,9	175,5	13,0
P24	380	-3,1	-13,8	27,2	2,9	12,8	2,9	13,5	9,9	85,2	6,9
P25	203	-2,4	-9,8	28,8	2,9	36,9	3,3	50,1	3,6	95,3	0,0
P26	310	----	-----	41,6	6,8	86,7	3,9	103,9	26,6	145,4	43,9
P27	810	-2,9	-13,2	35,2	5,8	77,9	10,3	101,1	21,4	125,4	7,4
<b>Interior</b>											
P28	2700	-3,5	-16,9	84	73	351	10,3	688	84,0	225,6	0,33
P29	3170	-4,3	-22,5	92	100	395	7,8	852	82,4	225,6	0,65
P30	2190	-3,4	-14,6	48	63	320	6,3	543,9	55,7	213,1	0,65
P31	7740	-3,0	-12,0	204	238	1156	12,9	2387	166	338,5	1,50
P32	3660	-4,2	-22,3	80	95	555	23,6	1016	30,0	275,8	0,00
P33	1760	-3,7	-15,2	48	44	95	7,8	404,3	26,2	175,5	0,98
P34	4070	-4,6	-20,1	108	134	571	10,8	1117	25,9	351,0	0,33
P35	580	-4,0	-18,0	10	5	107	4,0	84,71	59,6	115,3	2,60
P36	7010	-3,0	-12,5	200	245	915	21,3	2099	123	338,5	17,00
P37	2200	-3,7	-15,4	32	39	274	9,6	433,2	33,0	263,3	0,00
P38	2450	-4,1	-23,8	28	37	453	6,6	481,3	124	463,8	5,50
P39	1630	-3,0	-11,5	16	32	300	3,7	192,5	202	338,5	15,00

Tabela 2. Medidas de parâmetros físico-químicos e isotópicos de águas subterrâneas das áreas, costa e interior, no município de Caucaia-CE, coletadas em agosto de 2015.

ID	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta\text{D}$ (‰)	Concentrações em mg/L							
				$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{N-NO}_3^-$
<b>Costa</b>											
P01	838	-1,7	-2,0	60	13,37	95	8,2	114,0	26,8	208	10,0
P02	830	----	----	52	14,58	101,0	9,9	109,0	17,0	273	8,3
P03	1080	-2,3	-4,6	62	23,00	111,0	3,5	168,0	20,2	266	6,8
P04	965	-2,4	-6,4	88	15,80	80,0	7,0	121,0	43,1	187	18,0
P05	1122	-1,6	-1,9	88	18,23	94,0	8,9	140,0	30,0	230	22,0
P06	695	-3,3	-13,6	50	17,01	69,0	3,1	71,2	20,0	222	13,0
P07	533	-3,1	-12,8	42	12,15	46,9	4,1	59,3	16,2	158	6,3
P08	327	-2,9	-10,8	16	13,37	26,3	2,2	47,5	7,42	78,9	3,7
P09	517	-2,2	-4,6	34	18,23	47,3	1,9	68,8	7,42	172	6,5
P10	620	-3,3	-13,3	64	13,37	49,4	2,7	47,5	21,9	244	6,3
P11	518	-3,8	-15,9	58	8,51	33,8	4,4	42,7	15,7	222	3,3
P12	410	-3,5	-15,0	44	12,15	19,6	0,6	26,1	11,2	158	5,7
P13	908	-2,9	-10,9	60	12,15	77,0	16,0	87,8	54,0	172	33,0
P14	770	-3,1	-11,2	76	14,58	60,0	5,5	80,7	30,3	215	17,0
P15	513	-4,1	-18,1	48	9,72	43,5	0,0	54,6	21,1	179	1,5
P16	657	-3,4	-13,3	74	14,58	55,6	1,5	68,8	11,9	294	0,3
P17	776	-2,9	-9,8	84	19,44	58,6	3,5	73,5	42,7	294	0,0
P18	464	-3,6	-14,0	20	12,15	59,1	4,0	54,6	8,46	144	4,4
P19	447	-3,7	-16,7	48	7,29	31,0	0,6	33,2	10,9	201	6,8
P20	636	-3,9	-18,5	94	4,86	21,3	12,7	28,5	35,9	316	8,8
P21	289	-3,8	-15,8	30	3,65	22,0	0,0	30,8	9,96	115	2,1
P22	633	-3,7	-15,0	70	8,51	45,5	3,0	45,1	28,5	266,0	1,3
P23	364	-2,9	-10,6	54	10,94	14,0	0,6	26,1	8,38	179,0	0,0
P24	258	-3,4	-13,4	34	14,58	15,0	2,9	16,6	4,68	172,0	0,8
P25	177	-3,1	-11,7	18	4,86	11,0	1,9	11,9	5,55	64,6	0,0
P26	183	-2,9	-10,5	26	6,08	9,9	2,1	7,1	3,96	136,0	0,0
P27	381	-3,1	-11,3	26	2,43	48,0	5,0	56,9	19,5	158,0	5,8
<b>Interior</b>											
P28	3080	-3,4	-13,3	88	68,0	430,0	7,3	702,3	54,4	215	0,16
P29	3330	-4,7	-22,9	80	97,2	500,0	4,9	844,6	45,0	258	2,11
P30	1880	-4,5	-20,6	36	58,3	287,2	2,4	436,5	28,9	201	0,00
P31	7410	-4,4	-20,6	176	219	1050	8,5	1974	73,7	287	2,60
P32	3550	-3,9	-16,9	76	87,5	533,4	18,3	882,6	19,8	273	0,00
P33	1310	-4,0	-17,4	24	26,7	170,1	3,2	246,7	13,9	201	0,49
P34	3660	-3,6	-14,4	92	117	471,2	6,7	982,2	17,0	344	0,81
P35	550	-4,1	-18,2	6,0	7,29	99,0	0,7	75,9	22,9	144	0,81
P36	6790	-2,8	-9,48	184	224	940,0	18,4	1955	66,8	373	22,10
P37	1860	-4,3	-18,8	32	38,9	310,0	6,1	441,3	19,5	215	0,00
P38	1708	-4,9	-24,5	16	21,9	330,6	1,8	261,0	47,0	588	3,42
P39	1720	-3,4	-13,1	24	36,5	292,2	1,9	270,5	59,6	359	2,44

A Figura 3 mostra diferentes faixas de condutividade elétrica (CE) nas duas áreas e variação entre coletas. Na costa, CE variou de 150 a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e no interior, de 550 a 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando diferentes processos de salinização nas duas áreas em estudo, com águas mais salinas no interior onde as amostras tinham CE acima de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com exceção das coletadas nos poços P33, em agosto de 2015, e P35, nas duas coletas. Observa-se na Tabela 1 que em 12 dos 27 pontos de amostragem as águas estavam mais salinas em março de 2014.

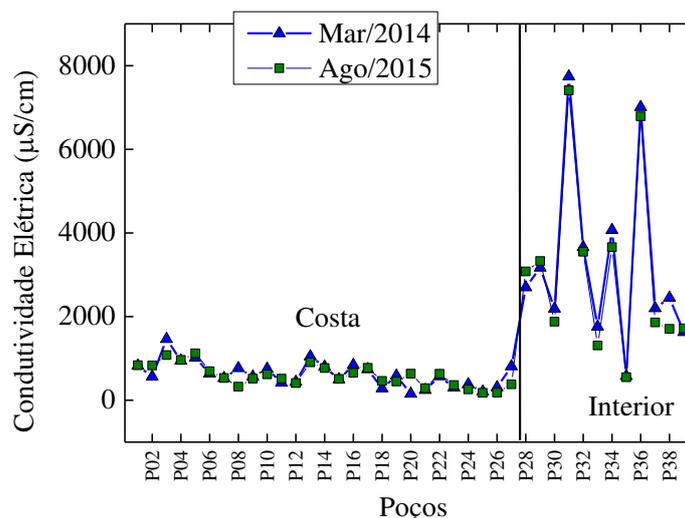


Figura 3. Condutividade Elétrica dos 39 poços amostrados, nas duas coletas.

Os diagramas de Gibbs mostram nas duas coletas, diferentes domínios das águas nas duas áreas, costa e interior. As do litoral estão no domínio das rochas, do intemperismo por processos geoquímicos e as águas no interior no domínio dos processos evaporação precipitação. Na evaporação, a salinidade, expressa na Figura 4 como Sólidos Totais Dissolvidos, aumenta mantendo a relação com os cloretos os mais solúveis. A condição de STD acima de 1000 mg/L favorece a precipitação de carbonatos, aumentando as razões  $r\text{Cl}/(r\text{Cl} + r\text{HCO}_3)$  e  $r\text{Na}/(r\text{Na}+r\text{Ca})$ .

Na coleta 1, o poço P20 tinha a menor condutividade elétrica se diferenciando dos demais do litoral; na Figura 4c encontra-se na linha entre os domínios de rocha e chuva, sugerindo maior contribuição de águas de chuvas. No interior, onde o processo dominante é evaporação-precipitação, as exceções são os poços P33 e P35; eles são os únicos com valores de STD menores do que 1000 mg/L; eles estão localizados no domínio de interação com as rochas. Na maioria das amostras, as relações sódio/cálcio e cloreto/bicarbonato são maiores no interior do que na costa.

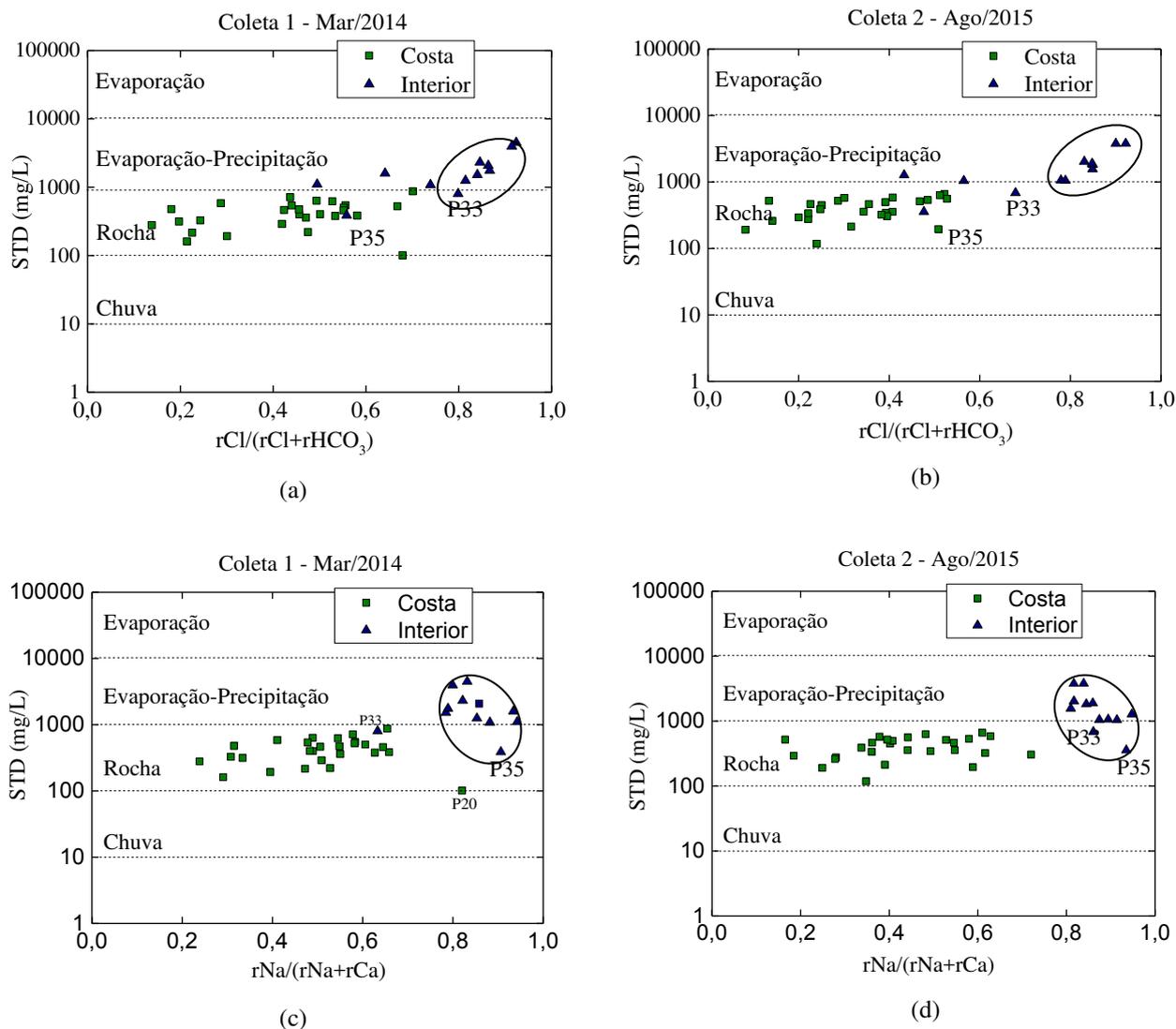


Figura 4. Diagramas aniônicos e catiônicos de Gibbs para os 39 poços amostrados em: (a) e (c) março de 2014, (b) e (d) agosto de 2015

O gráfico de  $\delta^{18}\text{O}$  versus  $\delta\text{D}$  com dados da coleta 1 (Figura 5a), fornece as retas  $\delta\text{D} = 7,16 \delta^{18}\text{O} + 7,65$ , na costa, e  $\delta\text{D} = 7,14\delta^{18}\text{O} + 9,29$ , no interior. Com os dados da coleta 2 (Figura 5b), as retas são  $\delta\text{D} = 6,9 \delta^{18}\text{O} + 9,7$ , na costa, e  $\delta\text{D} = 7,04 \delta^{18}\text{O} + 10,6$ , no interior. A comparação entre essas retas e a reta meteórica mundial (RMM)  $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$  (CRAIG, 1961) indica águas evaporadas, e que o processo de evaporação é mais intenso no final do período chuvoso (coleta 2), tanto no interior como na costa, e que a recarga é feita diretamente pelas chuvas sem contribuição de reservas superficiais.

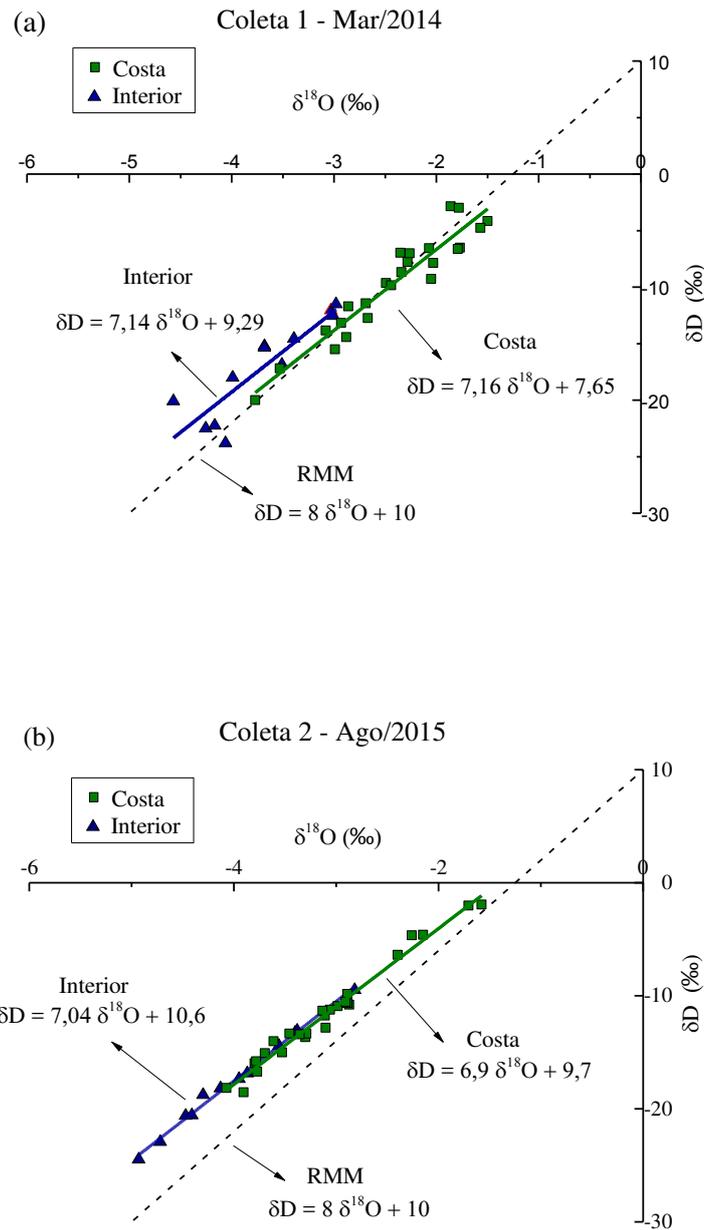


Figura 5.  $\delta^{18}\text{O}$  versus  $\delta\text{D}$  dos 39 poços amostrados em: (a) março de 2014 e (b) agosto de 2015

Os gráficos de  $\delta^{18}\text{O}$  versus condutividade elétrica, com dados das duas coletas, (Figura 6), mostram que os valores de oxigênio-18 são relacionados com a Condutividade Elétrica nas duas áreas. Na costa, quando a condutividade elétrica aumenta  $\delta^{18}\text{O}$  aumenta, indicando processo de evaporação durante a infiltração da recarga, facilitada pela predominância dos sedimentos do aquífero livre. No interior as águas mais salinas têm valores de  $\delta^{18}\text{O}$  mais baixos indicando a recarga com chuvas mais intensas. No interior, amostras com  $\delta^{18}\text{O} < -4$  ‰, sugerem: i) recarga com chuvas intensas, ocasionando fracionamento isotópico por efeito quantidade; ou ii) a presença de paleoáguas (GEYH et al., 1991). O excesso de deutério de 10,54 ‰ nas águas das duas coletas na

costa difere do valor nas águas das duas coletas no interior que é de 12,84 ‰; diferença que se deve ao efeito da umidade relativa em cada área.

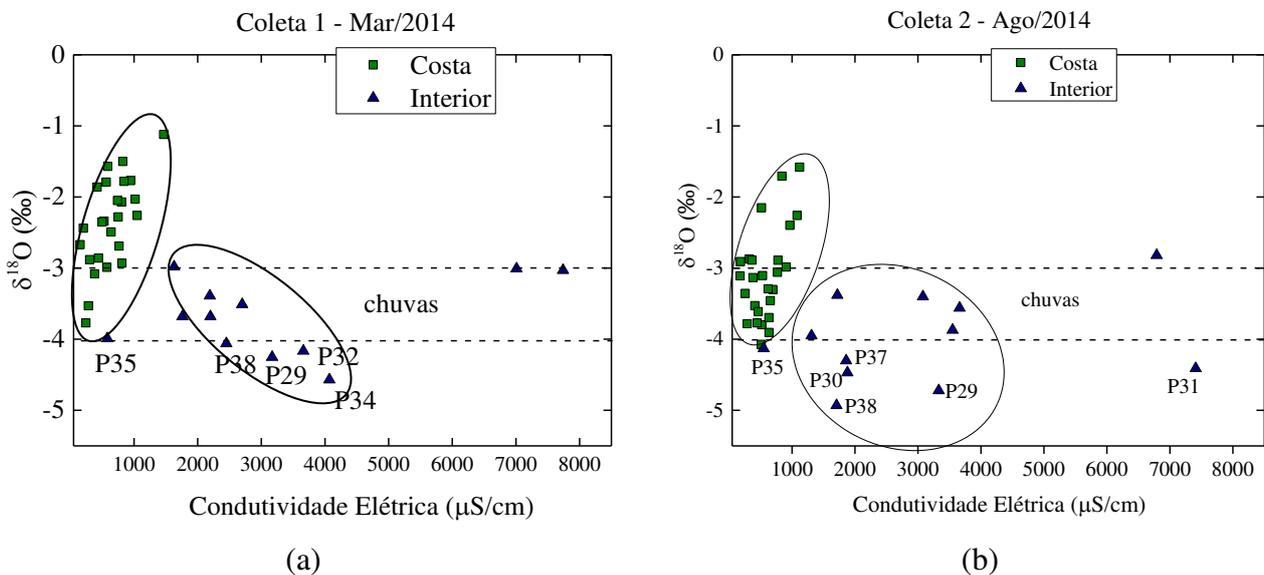


Figura 6.  $\delta^{18}\text{O}$  versus condutividade elétrica dos 39 poços amostrados em: (a) março de 2014 e (b) agosto de 2015

Comparando as concentrações dos íons maiores (Tabelas 1 e 2) com valores de VMP observa-se que no interior somente uma amostra teve valor de sódio abaixo de 150 mg/L e outras duas concentração de cloretos abaixo de 250 mg/L; portanto, com relação aos íons maiores são as únicas adequadas ao consumo humano. As amostras do litoral são todas potáveis com relação à estes parâmetros.

No entanto, quanto à concentração de nitrato, expressa em  $\text{N-NO}_3$ , (Figura 7) das amostras do litoral, 20 tinham valores acima do permitido para águas potáveis (10 mg/L  $\text{N-NO}_3$ ) explicados pela vulnerabilidade das dunas, um aquífero livre. No interior somente 3 amostras, sendo 2 do mesmo poço, tiveram concentrações maiores do que o VMP. Observa-se também o efeito da recarga, que no período chuvoso produz diluição, produzindo em alguns locais novamente valores aceitáveis. Os resultados mostram também que a contaminação é local.

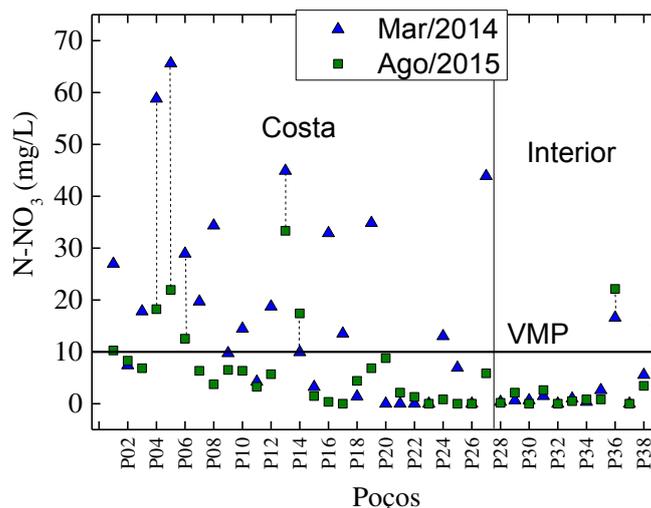


Figura 7. Concentração de nitrato, expressa em N-NO<sub>3</sub>, nas amostras das duas coletas nas duas áreas.

## 5 – CONCLUSÕES

A qualidade das águas subterrâneas, armazenadas no interior e na costa, difere quanto à salinidade e quanto à contaminação pela maior vulnerabilidade do aquífero livre nas dunas e pelas condições de aquífero fissural no interior. A localização no litoral e em clima semiárido favorece o aporte de cloretos e a evaporação das águas. Na costa o mecanismo de salinização é controlado pelo intemperismo das rochas, enquanto na região do interior, deve-se a processos envolvendo evaporação-precipitação; por isso, os valores de condutividade elétrica no interior são bem mais altos do que na costa. A recarga do aquífero no interior ocorre com as chuvas mais intensas. Como as duas áreas estão nas mesmas condições climáticas, o tipo de aquífero, sedimentar ou fraturado controla a qualidade das águas armazenadas.

## 6 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. José de Araújo Nogueira Neto pela forte colaboração no financiamento para aquisição do Espectrômetro de Absorção a Laser.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. B.; SANTIAGO; M.M.F; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H. A origem dos sais nas águas subterrâneas dos aquíferos costeiros no município de Caucaia-Ceará. Joint World Congress on Groundwater, v.1. p. 1-14, 2000.

APHA, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 18.ed. AWWA-WPCP, 2005.

- BEAR, D., PAUL, J., GUPTA, M., E O'KEEFE, A. Sensitive absorption measurements in the near-infrared region using off-axis integrated-cavity-output-spectroscopy, *Appl. Phys. B-LasersO.*, 75, 261–265, 2002.
- BUSCH K.W. E BUSCH M.A."Cavity ring-down spectroscopy: An ultratrace absorption measurement technique. ACS Symposium Series 720, Oxford, 1997.
- CAROL, E.S.; KRUSE, E.E. Hydrochemical characterization of the water resources in the coastal environments of the outer Rio de La Plata estuary, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, v.37, p. 113-121, 2012.
- CPRM, Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Estado do Ceará. Serviço Geológico do Brasil, CD-ROM, 2003.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução 396 de 03/04/2008, Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, 11 p. 2008.
- CRAIG, H. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. *Science*, New York, v.133, p. 1833-1834, 1961.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Dados de precipitação pluviométrica. Período 2013 a 2015. Disponível em: <<http://www.funceme.com.br>>. Acesso em: 10 maio de 2016.
- GEYH, M.A.; STUTE, M.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M.M.F. Contribuição para a história climática do Nordeste do Brasil. BASES PARA O FUTURO: 20 anos de Cooperação Científica e Tecnológica, Julich, Alemanha. São Paulo: Ed. KFA, 1991.
- GIBBS, R. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170, p. 1088-1090, 1970.
- JALALI, M. Salinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example from Tajarak, western Iran. *Environmental Geology* 52, v. 6, p. 1133-1149, 2007.
- LIRA, I. F. Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas que abastecem a localidade de Boqueirão - Caucaia - CE. Dissertação (Mestrado em Geologia na Área de Hidrogeologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 83 p. 2009.
- MIKHLAFI, A. S.; DAS, B.K., KAUR, P. Water chemistry of Mansar Lake (India): an indication of source area weathering and seasonal variability. *Environmental Geology*, v. 44, n. 6, p. 645-653, 2003.
- NARANY, T. S.; RAMLI M. F; ARIS, A. Z.; SULAIMAN W. N. A; JUAHI, H.; FAKHARIAN, K. Identification of the Hydrogeochemical Processes in Groundwater Using Integrated Geochemical Methods and Geostatistical Techniques, in Amol-Babol Plain, Iran. *The Scientific World Journal*, v. 2014, 15 p. 2014.

NÓBREGA, C.C.; SOUZA, I.M.F.; ATHAYDE JÚNIOR, G.B.; GADELHA, C.L.M. Impacto de um lixão desativado na qualidade das águas subterrâneas locais. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Castellón, 23-24 de julio de 2008, 11p.2008.

NUR, A., ISHAKU, J. M.; YUSUF, S.N. Groundwater Flow Pattern and Hydrochemical Facies Distribution Using Geographical Information System (GIS) in Damaturu, Northeast, Nigeria. Scientific Research 3, n. 5, p. 1096-1106, 2012a.

NUR, A., ISHAKU J. M.; TAYIB, A. Spatial Distribution of Chemical Facies Using Geographical Information System (GIS) in Michika, Northeastern Nigeria. Research Journal in Engineering and Applied Sciences, v. 1, n. 2, p. 102-109, 2012b.

RICHARDS, R.P.; BAKER, D.B.; CREAMER, N.L.; KRAMER, J.W.; EWING, D.E.; MERRYFIELD, B.J.; WALLRABENSTEIN, L.K. Well water quality, well vulnerability, and agricultural contamination in the Midwestern United States. Journal of Environmental Quality, v. 25, n.3, p. 389-402, 1996.

SANTIAGO, M. M. F.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J. AGUIAR, R. B. Fatores condicionantes da qualidade das águas subterrâneas na região costeira de Caucaia, Ceará – Brasil. Revista de Geologia, v. 20, n. 1, p. 23-32, 2007.

SKRZYPEK, G.; FORD, D. Stable Isotope Analysis of Saline Water Samples on a Cavity Ring-Down Spectroscopy Instrument. Environmental Science & Technology 48, p. 2827–2834, 2014.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J.M. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. Journal of Geophysical Research, 86, v. 10, p. 9844-9858, 1981.