

CONTRIBUIÇÃO DA HIDROQUÍMICA E DO ISÓTOPO OXIGÊNIO-18 AO ESTUDO DO AQUIFERO FISSURAL NO MUNICÍPIO DE IRAUCUBA, CEARÁ

Liano Silva Veríssimo¹,
Oderson Antônio de Souza Filho¹,
Carla Maria S. Vidal Silva²,
Maria Marlúcia Freitas Santiago².

1 Serviço Geológico do Brasil-CPRM - Residência de Fortaleza; liano@fo.cprm.gov.br ,
oderson@fo.cprm.gov.br ,

2 Departamento de Física da UFC; carla@fisica.ufc.br , marlucia@fisica.ufc.br

RESUMO Um conjunto de nove poços no município de Irauçuba, no semi-árido do Nordeste do Brasil, foram amostrados em novembro de 2000, no período seco, e em julho de 2001, após o período chuvoso, para análise hidroquímica e do isótopo oxigênio-18 na primeira coleta e análise hidroquímica na segunda coleta. Os resultados mostram que, após o período chuvoso, a condutividade elétrica diminuiu em sete dos nove poços indicando chegada de água menos salina. As águas são, predominantemente, cloretadas e a hidroquímica mostra que houve processo de mistura da água do aquífero com águas menos salinas, provenientes de recargas recentes. Os valores de ^{18}O também indicam recarga recente. As águas dos granitóides e dos paragneisses mostram diferenças com relação à concentração dos cátions, sódio e cálcio. Nenhuma amostra apresentou concentração de nitrato acima do permitido para consumo humano, de acordo com a Portaria 1469 do Ministério da Saúde.

Palavras-chave: Água subterrânea, hidroquímica, oxigênio-18, NE do Brasil

ABSTRACT A set of nine wells in the township of Irauçuba/Ceará in the semi-arid Northeast of Brazil, was sampled in November, 2000, during the dry season, and in July, 2001, after the rainy season, for hydrochemical and isotope (^{18}O) analyses during the first samples campaign and for hydrochemistry only during the second. The results show that electric conductivity decreases in seven wells indicating mixture with less mineralized waters. The waters are, predominantly, of the Cl^- type and hydrochemistry shows recent renewal though less saline waters. Values for ^{18}O equally indicate recent recharge. Waters from granitoids and paragneisses exhibit differences with respect to concentrations, sodium and calcium. None of the samples presented nitrate concentration above the limit stipulated in "Portaria 1469" of the Brazilian Health Ministry.

Keywords: Groundwater, hydrochemistry, oxygen-18, NE Brazil.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas no município de Irauçuba (Figura 1), noroeste do Ceará, estão armazenadas em região de cristalino e representam uma importante reserva de abastecimento populacional (Veríssimo e Feitosa, 2002a), embora a salinidade destas águas seja elevada em relação aos padrões de potabilidade (Veríssimo e Feitosa, 2002b; FUNASA, 2000).

O presente trabalho constitui uma das atividades desenvolvidas dentro do Projeto Otimização de Metodologias de Prospecção de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas, executado em conjunto pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM /Residência de Fortaleza e o Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará - UFC; auxiliado por um convênio de cooperação técnica entre o Canadá e o Brasil, firmado através do GSC - *Geological Survey of Canada* e CPRM com o apoio financeiro da CIDA - *Canadian International Development Agency*.

Em áreas do cristalino, no Ceará, as reservas subterrâneas são, em geral, quantitativamente e qualitativamente deficientes. Em Tauá, sudoeste do Estado, a alta salinidade foi identificada como de origem atmosférica concentrado-se na zona saturada por efeito da evaporação na época seca (Lima et al. 1996). Na área do cristalino no município de Caucaia, o estudo sistemático da condutividade elétrica do poço Coité mostrou rápida recarga da zona aquífera em menos de um mês do início do período chuvoso (Santiago et al. 2003).

Isótopos ambientais foram utilizados por Frischkorn et al. (1989) para estudar águas subterrâneas no semi-árido do Nordeste do Brasil. Um dos resultados importantes deste trabalho foi inexistência de correlação entre a salinidade e o tempo de residência indicando fatores externos respon-

sáveis pela salinização, ou seja, a contribuição da lixiviação da superfície.

A variação do ^{18}O com a salinidade na água dos oceanos foi observada por Craig e Gordon (1965) e por Ferronsky e Brezgunov (1989), entre outros. Clark e Fritz (1997) discutem uma comparação entre ^{18}O nas águas subterrâneas e nas chuvas; os autores observaram a influência do clima e da vegetação que podem favorecer o processo de evaporação. Neste trabalho, medidas de oxigênio-18 e hidroquímicas são utilizadas para estudar a recarga em área de cristalino do Nordeste do Brasil.

ÁREA DE ESTUDO

A área de trabalho corresponde a Folha Irauçuba (SA.24-Y-D-V) da SUDENE, delimitada pelos meridianos 39 30' e 40 00' de longitude oeste de Greenwich e pelos paralelos 3 30' e 4 00' de latitude sul, localizada a 160 km de Fortaleza (Figura 1). Fazem parte da área, os municípios de Irauçuba, Itapagé, Miraíma, Tejuçuoca, e Uruburetama, com área de 3.025 km². O acesso é feito a partir de Fortaleza através da rodovia federal BR-222 que corta toda a Folha na direção leste-oeste.

A área está inserida no denominado "Polígono das Secas", com índice de probabilidade de secas na faixa de 80 a 100%. Apresenta três tipos de clima regional, do mais seco ao mais úmido. O clima úmido a sub-úmido ocorre na Serra de Uruburetama (parte nordeste), com temperatura média anual de 24° C e precipitação entre 1.200 e 1.500 mm. Na parte nordeste e central, predomina o clima sub-úmido, com precipitações entre 800 e 1.200 mm e temperatura média de 28° C. A porção sul da área é caracterizada por um clima semi-árido, com precipitações inferiores a 800 mm e temperatura média de 30° C.

A geologia da Folha Irauçuba (Figura 2), segundo Souza Filho (1998), é constituída por rochas do Pré-cambriano e depósitos superficiais. A unidade mais antiga é formada por terrenos ortognáissicos e migmatíticos tipo "Complexo Tamborui-Santa Quitéria", predominando gnaisses migmatizados e metabasitos. A unidade seguinte é formada por terrenos supracrustais meso a neo-proterozóicos - tipo "Complexo Ceará", composta por gnaisses, xistos, quartzitos e metacarbonatos. Por último rochas granitóides. Como representantes cenozóicos ocorrem delgadas e esparsas coberturas sedimentares residuais e/ou transportadas, predominantemente areno-conglomeráticas, e de-

pósitos aluvionares recentes. Nesta figura estão mostrados os locais de coleta para identificação com a rocha armazenadora.

As feições geomorfológicas e seu modelado são representados, na folha, por depressões periféricas e interplanálticas submetidas a processos de pediplanização (depressões sertanejas) e pelos maciços residuais dissecados em formas de colinas e cristas (Figura 3). A rede hidrográfica local é representada por rios, que fluem somente durante a época das chuvas. O padrão de drenagem dominante é o dendrítico, controlado por fatores estruturais. A vegetação predominante é representada pela caatinga xerofítica de médio porte e tipo caatinga arbustiva.

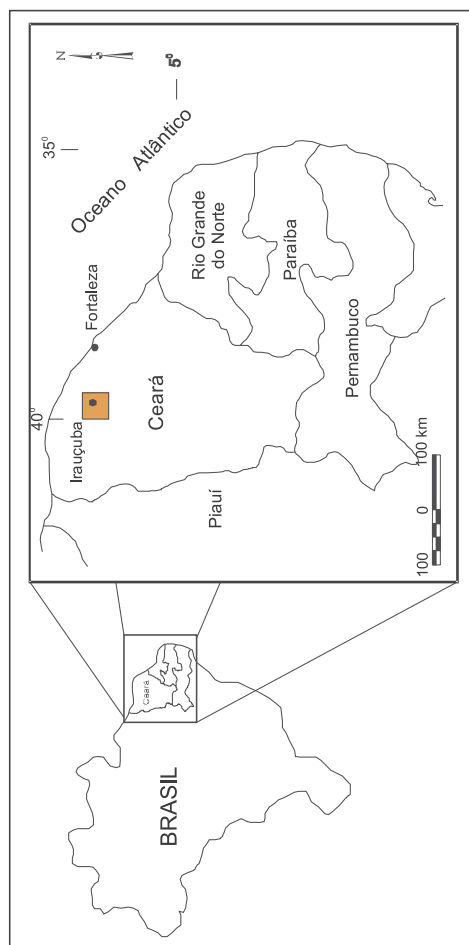


Figura 1 – Localização da área de trabalho.

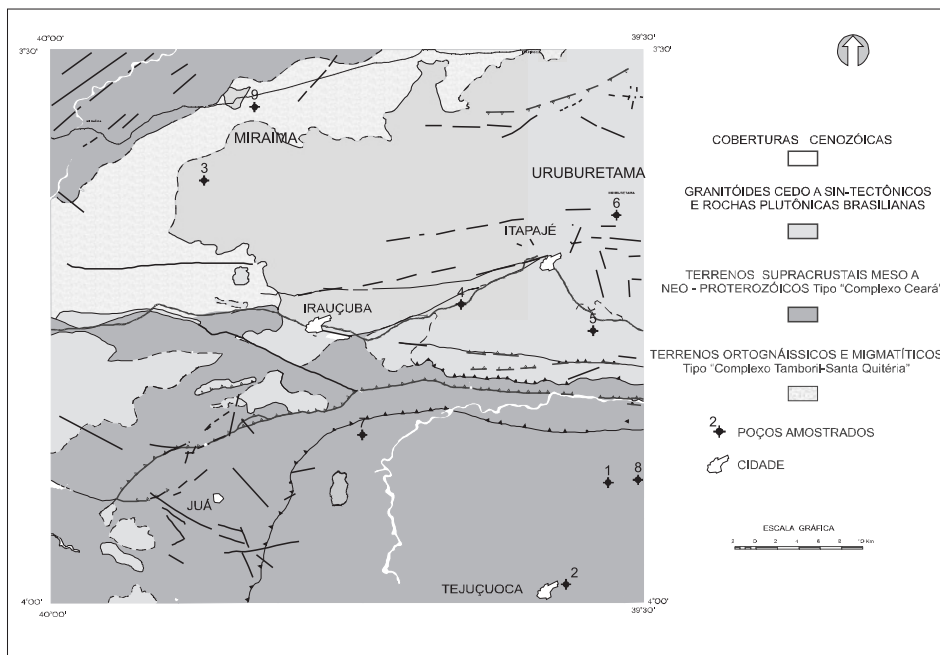


Figura 2 - Mapa geológico simplificado da folha Irauçuba com os locais de amostragem

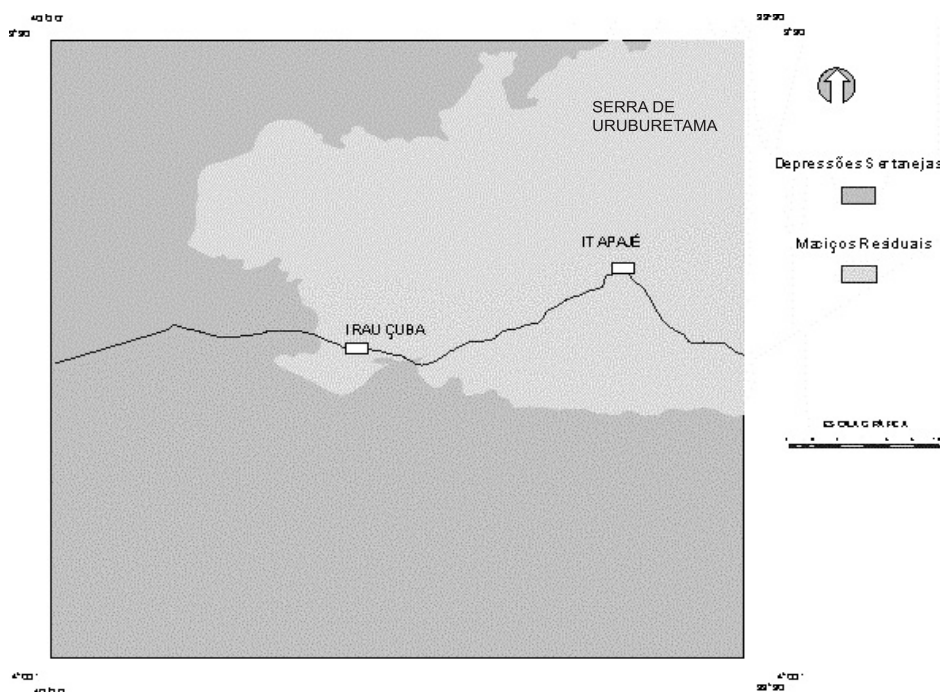


Figura 3 - Mapa geomorfológico simplificado da folha Irauçuba

METODOLOGIA

Foram realizadas duas etapas de campo, uma em novembro de 2000 no período seco, e outra em julho de 2001, após o período chuvoso. Na primeira etapa foi coletada água de 9 poços tubulares e do açude São Gabriel, para análise de oxigênio-18 e hidroquímica. Na segunda etapa foi coletada água dos mesmos poços somente para análise hidroquímica. A Figura 4 apresenta a distribuição das chuvas na área e a localização dos pontos amostrados.

As amostras para análise hidroquímica foram coletadas em garrafas de um litro, armazenadas em caixa de isopor com gelo e enviadas no mesmo dia ao Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará onde foram determinados os seguintes parâmetros: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{+2} , HCO_3^- , NO_3^- . Os métodos utilizados para a análise são os indicados pelo APHA (1992) e foram: Ca^{+2} e Mg^{+2} por titulação com EDTA; K^+ por espectroscopia de emissão de chama; Cl^- por argentimetria pelo Método de Mohr; SO_4^{+2} pelo método turbidimétrico por espectrofotometria; HCO_3^- por titulação com ácido clorídrico e NO_3^- pelo método do Nitraver 5. O laboratório calcula o erro percentual das medidas e as análises são repetidas se o erro for superior ao indicado pelo Standard Methods. O pH e a condutividade elétrica foram medidos no campo com equipamentos portáteis.

As amostras para análise de oxigênio-18 foram coletadas em garrafas de 30 mL com cuidado especial para impedir a evaporação da amostra, o que modifica a composição isotópica.

As medidas de oxigênio-18 foram realizadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) em Piracicaba - SP utilizando espectrômetro de massa com dupla

entrada e duplo coletor onde a amostra e o padrão são medidos alternadamente. Para o oxigênio-18 o padrão utilizado é o SMOW (Graig, 1961).

A variação da razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ da amostra em relação ao padrão é expressa como diferença em delta por mil ($\delta^{\circ}/_{\text{oo}}$) que é definido pela fórmula (1)

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{amostra}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{padrão}}} - 1 \right] \cdot 10^3 \quad (1)$$

O erro (2) nas medidas de ^{18}O é de 0,15 ‰. Este isótopo é um traçador natural de processos físicos e químicos ocorridos nas águas. Mudanças de fase, como no processo de evaporação, modificam a composição isotópica da água, aumentando a concentração de oxigênio-18; o processo de condensação, na formação das chuvas, diminui a concentração de oxigênio-18; por isso, as chuvas têm valores de ‰ negativos em relação à água do mar que é o padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta a localização dos 9 poços e do açude amostrados, profundidade (P), vazão (Q), tipo de rocha armazenadora, oxigênio-18, nível estático (NE), relevo e vegetação. Os valores de ^{18}O nos poços variam na faixa de - 3,35 a - 1,92 ‰ e no açude $\delta^{18}\text{O}$ é de 4,63 ‰ decorrente do processo de evaporação em armazenamento superficial de água. A diferença entre o valor do açude e a faixa de valores nos poços indica que o açude não estava contribuindo para a recarga do aquífero no período deste estudo. O relevo e o tipo de vegetação não influenciaram os valores de ^{18}O .

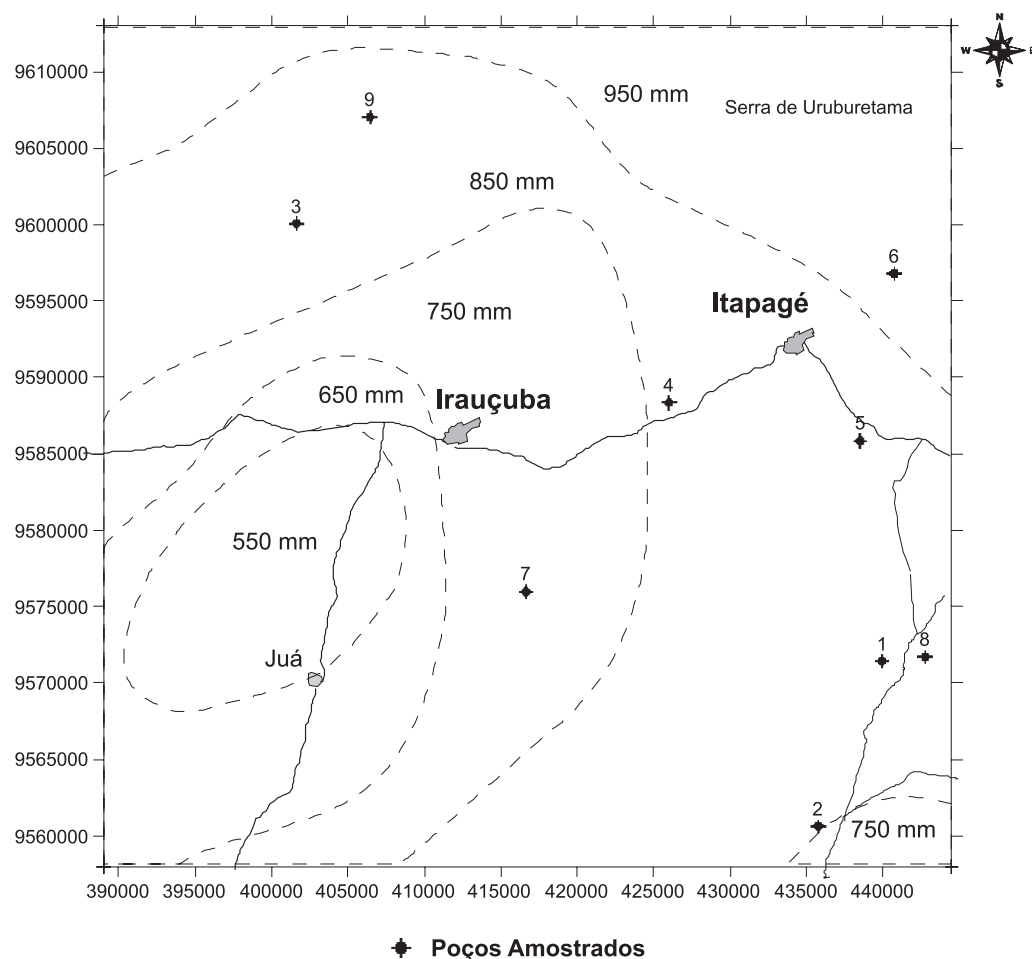


Figura 4 – Distribuição das chuvas na área de trabalho e localização dos pontos amostrados.

Na Tabela 2 são apresentados o número do poço, as concentrações dos íons mais abundantes, a condutividade elétrica (CE) e o pH nas duas coletas. Comparando as tabelas 1 e 2 observa-se que as águas de maiores condutividades elétricas foram coletadas em áreas de caatinga arbustiva.

Considerando 45mg/L de NO_3^- como a concentração limite para os nitratos, de acordo com a Portaria 1469 do Ministério da Saúde (FUNASA, 2000), todas as águas são potáveis em relação aos nitratos. No entanto, a concentração de nitrato aumentou após o período chuvoso em cinco (poços 2, 3, 6, 8 e 9) dos nove poços, o que indica recarga com água de alta concentração de nitrato.

Tabela 1 - Localização dos poços e açude, profundidade (P), vazão (Q), tipo de rocha, oxigênio-18, nível estático (NE), relevo e vegetação. Ir: Irauçuba; It: Itapagé; Te: Tejuçuoca; Mi: Miraíma; Ur: Uruburetama.

Poço No.	Local-Município	P (m)	Q (m ³ /h)	Rocha	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	NE (m)	Relevo	Vegetação
1	Alegria (1) - Te	60	13,2	Paragneise	-2,92	9,8	Colina	Caatinga Arbustiva
2	Cacimba Funda -Te	60	-	Paragneise	-3,15	9,0	Pouco Ondulado	Caatinga Arbustiva
3	Poço da Onça - Mi	60	0,9	Granitóide	-2,94	-	Planície	Terra Cultivada
4	Lagoinha Faz - It	52	1,5	Granitóide	-1,92	2,1	Colina	Terra Cultivada
5	Boa Vista - It	60	-	Granitóide	-2,78	-	Colina	Caatinga Arbustiva
6	Santa Luzia (5) - Ur	50	-	Granitóide	-3,04	1,2	Serra	Terra Cultivada
7	Riacho Fundo (1) - Ir	54	2,4	Paragneise	-	7,0	Colina	Terra Cultivada
8	Alegria (2) - Te	66	0,8	Paragneise	-3,35	10,5	Colina	Caatinga Arbustiva
9	Carnaíba - Mi	60	0,2	Granitóide	-2,22	-	Pouco Ondulado	Mata Ciliar
	Açude S. Gabriel - Ir	-	-	Paragneise	4,63	-	-	-

Tabela 2 - Concentração dos íons maiores, condutividade elétrica (CE) e pH. 1a coleta em novembro de 2000 e 2a coleta em julho de 2001.

Poço No.	Coleta	Concentração (mg/L)								CE (µS/cm)	pH
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻		
1	1 ^a	844,0	46,7	524,0	501,6	259	124,2	3726	28,3	15417	7,7
1	2 ^a	965,0	43,2	424,0	249,6	264	100,8	3356	11,9	12431	7,8
2	1 ^a	1494	23,6	352,0	285,6	384	147,7	3580	1,4	13785	7,2
2	2 ^a	739,0	28,1	240,0	144,0	250	105,7	2060	1,8	7744	7,4
3	1 ^a	94,7	4,4	94,4	87,3	176	10,3	290	27,7	2056	7,7
3	2 ^a	68,8	4,4	52,8	84,9	185	14,4	278	31,0	1644	7,7
4	1 ^a	418,0	17,9	52,0	103,2	335	94,3	614	3,7	2840	7,5
4	2 ^a	339,0	16,7	60,8	110,4	332	97,0	561	1,9	2939	7,9
5	1 ^a	358,0	46,7	124,0	160,8	307	11,7	769	31,6	4142	7,4
5	2 ^a	354,5	49,1	39,2	48,0	320	90,7	648	13,9	3200	7,6
6	1 ^a	65,6	2,1	5,6	1,4	80	26,4	17	2,4	325	6,9
6	2 ^a	60,6	2,1	4,8	3,8	99	31,9	21	6,4	320	7,8
7	1 ^a	209	22,4	38,4	61,4	416	38,9	213	12,5	1592	7,7
7	2 ^a	142	17,8	6,4	62,8	373	35,6	206	7,4	1160	8,4
8	1 ^a	861,0	66,9	488,0	465,8	249	49,7	3484	3,0	14561	7,5
8	2 ^a	925,0	65,1	456,0	278,4	306	49,4	3549	6,8	13152	7,9
9	1 ^a	671,0	15,6	146,4	200,1	376	163,8	1219	14,9	6126	8,5
9	2 ^a	606,0	12,2	144,0	139,2	361	180,2	928,0	15,4	4160	8,4

Na Figura 5 é mostrada a pluviometria no distrito de Juá de janeiro de 2000 a agosto de 2001 e estão indicadas as datas das duas coletas. Estes dados comparados com o diagrama de barras da condutividade dos poços nas duas coletas (Figura 6) mostram que, com exceção do poço 4, que apresenta condutividade elétrica de 2840 S/cm no período seco aumentando para 2939 S/cm após o período chuvoso e do poço 6, que mante-

ve a condutividade elétrica, os demais poços tiveram condutividade elétrica mais baixa após o período chuvoso, indicando que a recarga do aquífero fissurável é rápida modificando sazonalmente a salinidade das águas. O poço 2 teve sua condutividade quase reduzida para metade; variou de 13.785 S/cm, no período seco para 7744 S/cm após o período chuvoso, foi onde houve maior variação na salinidade.

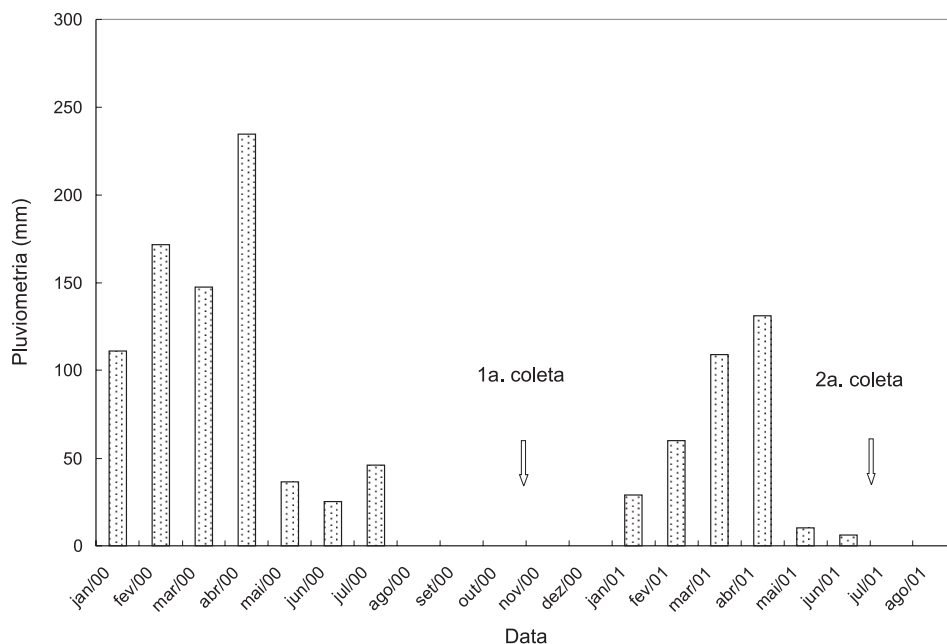


Figura 5 - Pluviometria do distrito de Juá. Fonte: FUNCEME.

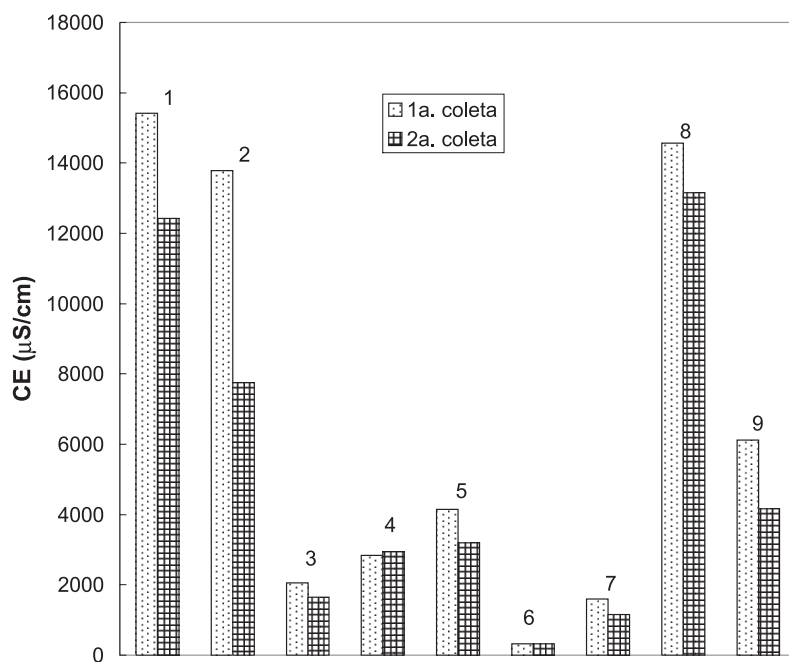


Figura 6 - Diagrama de barras da condutividade elétrica dos poços amostrados no período seco (1a coleta) e no período chuvoso (2a coleta).

O diagrama de Piper (Figura 7) apresenta os poços amostrados nas duas coletas distinguindo amostras nos granitóides e nos paragneisses. As águas são predominantemente cloretadas mistas (dos poços 1, 3, 5 e 8, no período seco) e cloretadas sódicas (dos po-

Os valores de ^{18}O (Figura 8) estão próximos aos das águas de chuva regional atual, que é de -3,2‰, o que reforça os resultados obtidos com a condutividade elétrica que mostra recarga rápida da reserva subterrânea. É importante observar

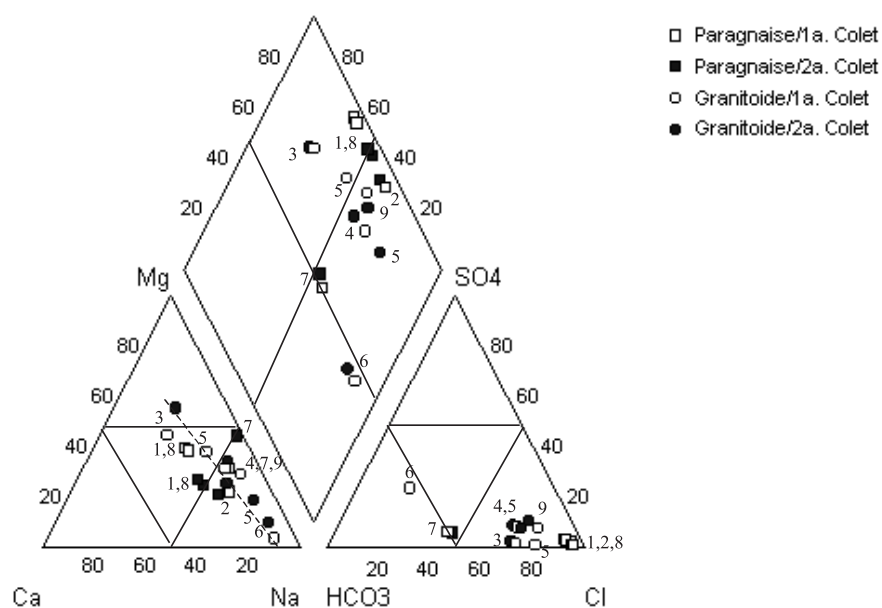


Figura 7 - Diagrama de Piper para os poços amostrados. Os símbolos cheios se referem à coleta após o período chuvoso e os vazios à coleta durante o período seco.

ços 2, 4, 5 e 9, no período chuvosos) com exceção de duas (do poço 7 nas duas coletas) mistas/mistas e duas (do poço 6 nas duas coletas) bicarbonatadas sódicas. Este diagrama mostra, também, mistura de águas sódicas com águas mistas, através da reta no triângulo dos cátions, indicando a recarga recente.

que o aquífero, embora tenha contribuição de recarga recente, apresenta larga faixa de valores de condutividade elétrica, desde 320 até 15.417 S/cm o que indica diferentes processos geoquímicos na zona saturada do solo.

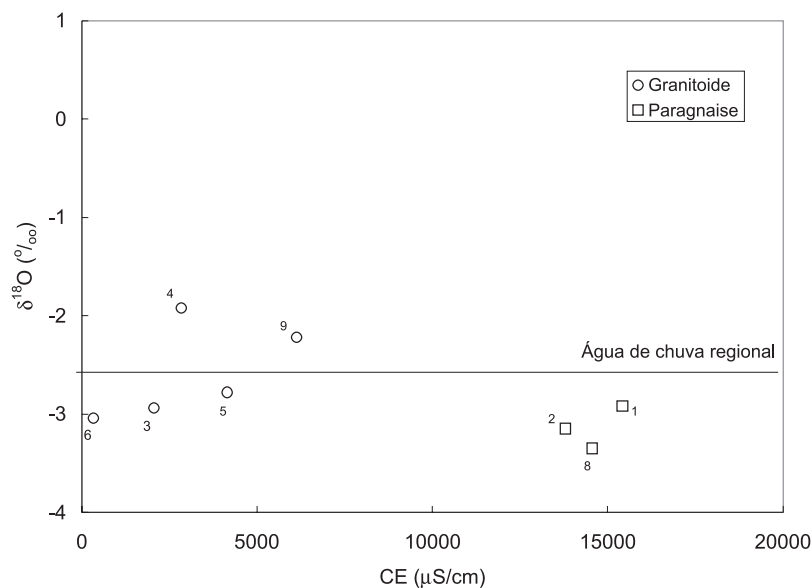


Figura 8 - ^{18}O versus condutividade elétrica.

Na Figura 8, observa-se que as águas amostradas apresentam concentrações de ^{18}O diretamente proporcionais à salinidade, expressa em condutividade elétrica.

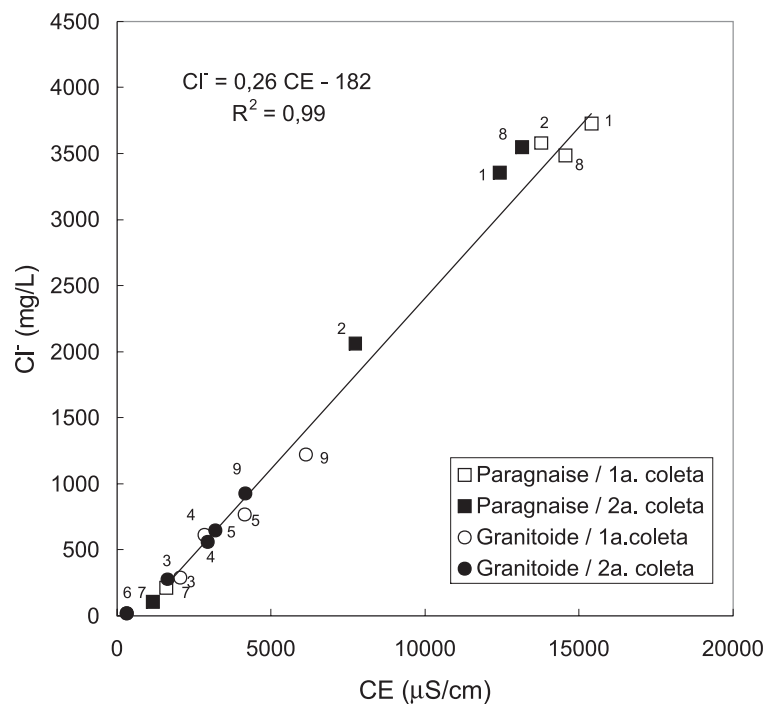


Figura 9 - Concentração de Cl^- versus condutividade elétrica

A concentração de Na^+ , em função da condutividade elétrica (Figura 9), mostra o mesmo comportamento que a concentração de Cl^- relacionada com a condutividade elétrica em amostras de 7 poços nas duas coletas. Nos poços com águas mais salinas no paragnaisse (poços 1 e 8), a concentração de sódio não cresce com a condutividade elétrica; es-

CONCLUSÕES

Os resultados das medidas hidroquímicas e do isótopo oxigênio-18 nos 9 poços estudados em amostras de duas coletas, uma no período seco e outra após o período chuvoso, permitem as seguintes conclusões:

A recarga na área de cristalino é rápida pois, após o período chuvoso, a condu-

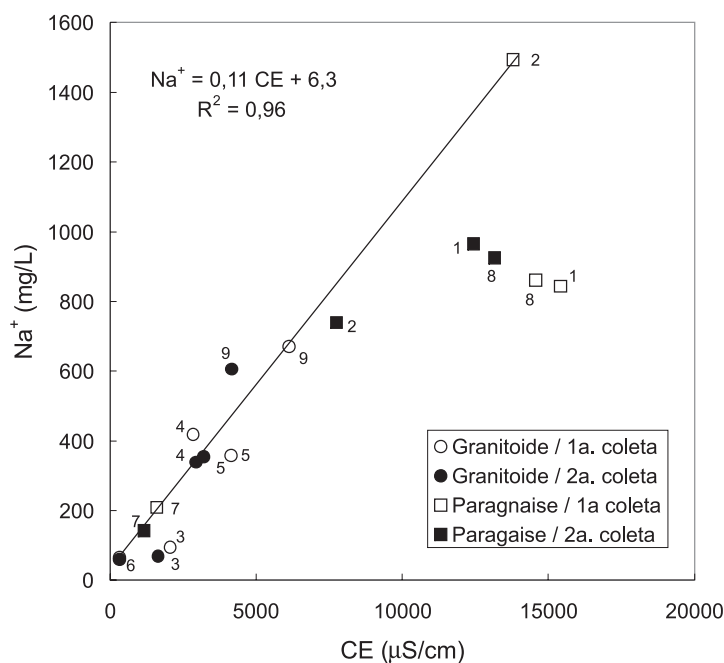


Figura 10 - Concentração de Na^+ versus condutividade elétrica.

tes poços se encontram próximos um do outro, a sudeste da área, em caatinga arbustiva, no município de Tejuçuoca. Nestes dois poços, a concentração de sódio é inversamente proporcional à concentração de cálcio e de magnésio. Nos granitóides e paragnaises, o cálcio é bem correlacionado com a condutividade elétrica (Figura 10).

tividade elétrica diminuiu significativamente em sete poços dos nove poços, se manteve em um deles e aumentou levemente em outro.

Mistura de águas é indicada pelo diagrama de Piper. As águas são predominantemente cloretadas sódicas e cloretadas mistas com dois poços com exceção de amostras de dois poços nas duas coletas.

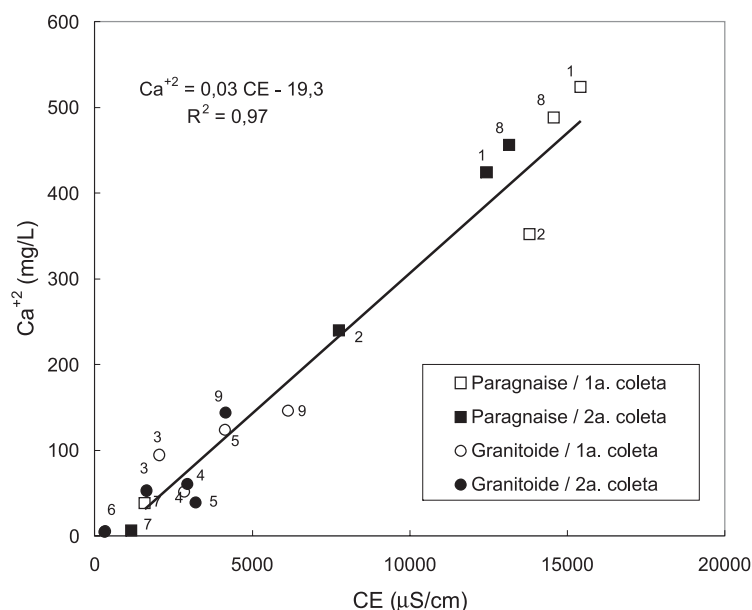


Figura 11 – Concentração de Ca^{+2} versus condutividade elétrica

Nos poços em paragnaises e com águas mais salinas as águas são hidroquimicamente diferentes das demais; nelas a concentração de sódio decresce com o aumento da concentração de cálcio e magnésio.

Considerando a concentração de nitrato, as águas são potáveis; ela aumentou após o período chuvoso em cinco dos nove poços, o que indica recarga com água de elevada concentração de nitrato.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CPRM - Serviço Geológico do Brasil, pelo suporte financeiro e ao Departamento de Física da UFC, pelo apoio logístico.

REFERÊNCIAS

- APHA. 1992. Standard Methods for examination of water and wastewater. 18 ed. AWWa-WPCP.
- Clark, I. D. & Fritz, P. 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. Ed Lewis Publishers, New York, 328 p.
- Craig, H. 1961. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural water. *Science*, 133:1833-34.
- Craig, H. & Gordon, L. 1965. Deuterium and oxygen-18 variation in the ocean and marine atmosphere. In: ED. Tongiorgi, (Ed.), *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*, Spoleto 1965: 9-130.
- Ferrowsky, V. I. & Beezgunov, V.S. 1989. Stable isotopes and ocean dynamics. In: P. Fritz, P. and J.-Ch Fontes (Eds.) *Handbook of Environmental Isotope geochemistry*, vol. 3, The Marine Environment, A. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands: 1-26.
- Frisckorn, H., Santiago, M.M.F. and Serejo, A.N. 1989. Isotope study of wells in crystalline rock of the semi-arid Northeast of Brazil. In: *Isotope Hydrology Investigation in latin America*. IAEA-TECDOC-502, Viena, 51-71.
- FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). 2000. Portaria No1469 do Ministério de

- Saúde, Brasília.
- FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) www.funceme.br
- Santiago, M.M.F.; Frischkorn, H.; Mendonça, L.A.; Cordeiro, V.F.; Brito, F.A.C. 2003. Monitoramento de um poço no cristalino em Caucaia/ Ceará pela condutividade elétrica. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos . Curitiba.
- Lima, C.H.; Santiago, M.M.F.; Mendes Filho, J. Frischkorn, H. 1996. Medidas hidroquímicas e estudo da salinização das águas nos Inhamuns. In: IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Salvador, 72-74.
- Souza Filho, O. A. de,. 1998. Geologia e mapa de previsão de ocorrência de água subterrânea - Folha AS.24-Y-D-V - Irauçuba, Ceará. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Geologia - UFOP.99p.
- Veríssimo, L. S.& Feitosa, F. A. C. 2002a. As águas subterrâneas no nordeste do Brasil. Região de Irauçuba - Estado do Ceará, Brasil. In: XXXII IAH & ALHSUD CONGRESS - Mar Del Plata - Argentina, Anais.
- Veríssimo, L. S.& Feitosa, F. A. C. 2002b. Aspectos qualitativos das águas subterrâneas da região de Irauçuba, norte do Estado do Ceará. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - Florianópolis, Anais. 2002.