

CONTRIBUIÇÃO DOS ISÓTOPOS AMBIENTAIS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA DO APODI

Carla Maria Salgado Vidal Silva
Depto de Física – UFC e-mail: carla@fisica.ufc.br

Maria Marlúcia Freitas Santiago
Depto de Física – UFC e-mail: marlucia@fisica.ufc.br

João Manoel Filho
Universidade Federal de Pernambuco - CTG – LABHID e-mail: jomanoelfilho@terra.com.br

Horst Frischkorn
Universidade Federal do Ceará e-mail: cariri@ufc.br

ABSTRACT -- In areas of water shortage and subject to periods of drought, aquifer recharge is an important parameter for the administration of the existent water resources. Environmental isotopes oxygen-18 and deuterium were analyzed in groundwater samples from the Sedimentary Apodi Basin, stored in the Açú sandstones, confined, and in the Jandaíra limestones, unconfined. The area is located in the northeast of the State of Ceará and the northwest of the State of Rio Grande do Norte, in the Apodi Plateau. Waters were collected from deep wells and springs. The relationships ^{18}O vs. D and electric conductivity vs. ^{18}O distinguish clearly the waters of the two aquifer systems Jandaíra and Açú and they evidence that the springs produce waters from the Jandaíra aquifer. The isotope data also show that the waters of the Jandaíra aquifer are of recent recharge and are, therefore, renewable. The Açú waters are paleo-waters and, therefore, should be considered a strategic resource with restricted use.

Keywords: Oxygen-18, Deuterium, Apodi Plateau, Semi-arid Northeast

INTRODUÇÃO

Os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, localizados no semi-árido da região Nordeste do Brasil, estão sujeitos a freqüentes secas com alta variabilidade espacial e temporal das chuvas. No Ceará, rochas cristalinas afloram em 75% de sua área, onde as águas armazenadas têm, em geral, concentração salina elevada atingindo, em alguns casos, níveis que tornam seu uso inadequado.

Nos 25% de área restante do Ceará, encontram-se terrenos sedimentares onde se destacam as duas maiores bacias: a Bacia Sedimentar do Cariri, a maior do Estado, e a Bacia Potiguar, a segunda reserva de água subterrânea.

A Chapada do Apodi, localizada na divisa dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, tem altitude máxima de 400 m, faz parte da Bacia Potiguar, que está quase totalmente inserida no Estado do Rio Grande do Norte, com somente pequena área no Estado do Ceará. A estratigrafia da Bacia é representada, na base, pelo Arenito Açú e, no topo, pelo Calcário da Formação Jandaíra, que ocorre em todo o domínio da Bacia Potiguar.

Na Bacia Potiguar, o aquífero livre, predominantemente cárstico, é o armazenamento de água subterrânea na Formação Jandaíra, composta por rochas carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e em outras descontinuidades produzidas pela dissolução do carbonato.

O aquífero Formação Açú é confinado pela Formação Jandaíra e assenta-se sobre as rochas do embasamento cristalino, com contato de forma gradativa. O Aquífero Açú caracteriza-se por rochas do tipo arenito, intercaladas por siltitos, argilitos e folhelhos.

Medidas dos isótopos ambientais oxigênio-18 e deutério e de condutividade elétrica foram realizadas em amostras de água subterrânea dos dois aquíferos da Bacia Potiguar, o Arenito Açú, confinado, e o Calcário Jandaíra, livre, coletadas nos locais indicados na Figura 1.

Esse trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos – Proágua Nacional intitulado: “Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e proposição de modelo de gestão compartilhada para os aquíferos da Chapada do Apodi entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará”.

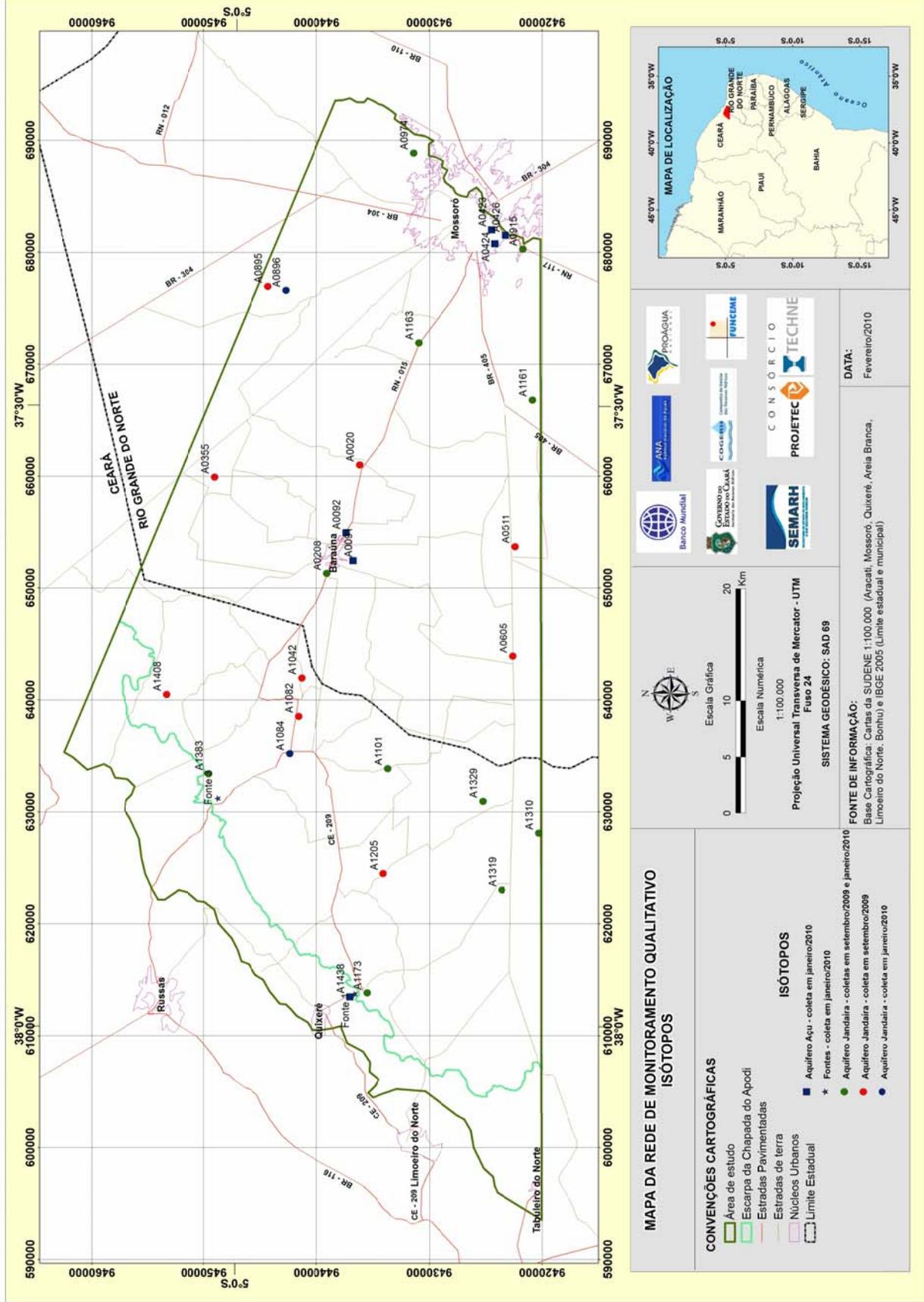


Figura 1. Localização da área de trabalho e pontos amostrados (Fonte: Brasil, 2010)

METODOLOGIA

Duas campanhas de coleta de água subterrânea foram realizadas, uma em setembro de 2009 e outra em janeiro de 2010, em dois municípios do Estado do Rio Grande do Norte (Baraúna e Mossoró) e em três municípios do Estado do Ceará (Jaguaruana, Quixeré e Limoeiro do Norte). Um histograma de pluviometria característica da área, com dados do município de Limoeiro do Norte, pode ser visto na Figura 2.

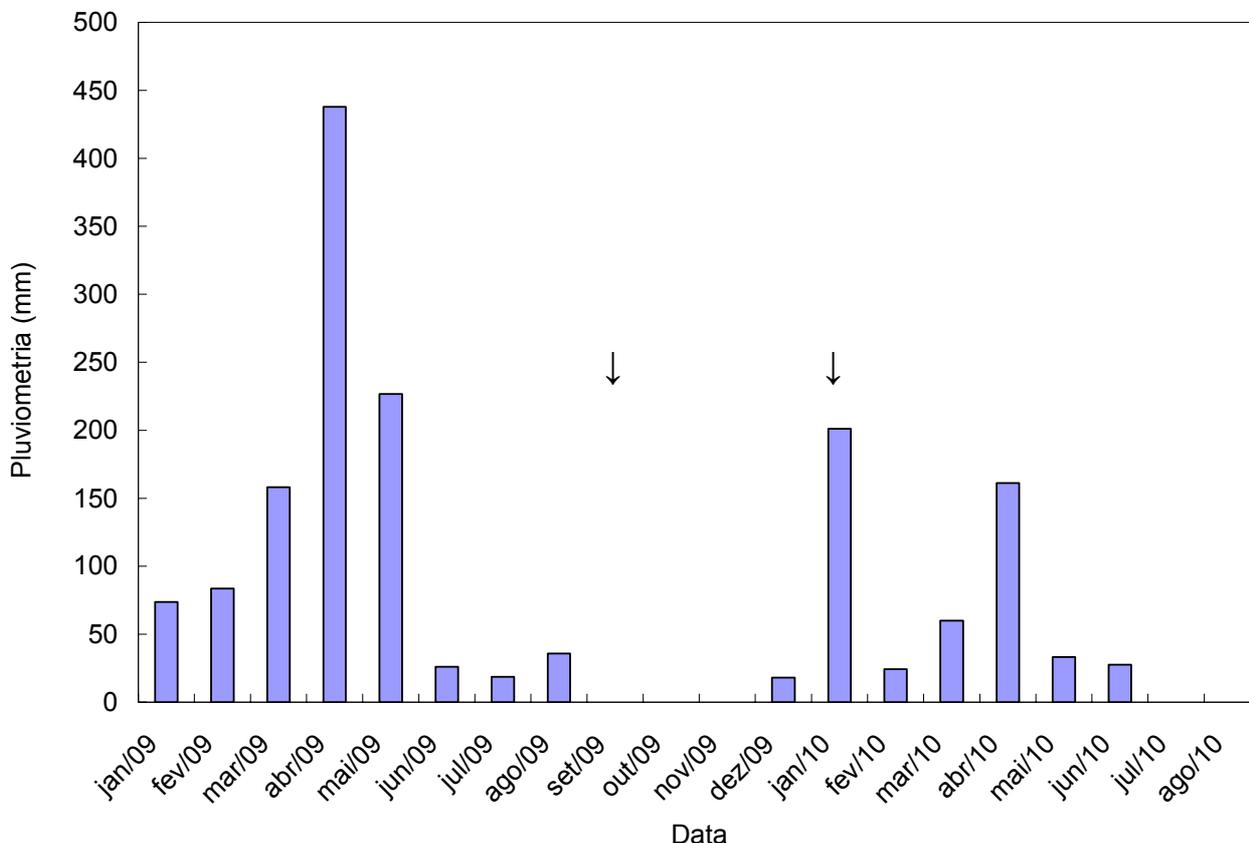


Figura 2. Pluviometria do município de Limoeiro do Norte.

Foram coletadas 20 amostras do aquífero no calcário Jandaíra em setembro de 2009 e 15 amostras em janeiro de 2010. Em dezembro também foram coletadas 6 amostras do aquífero no arenito Açú e 3 de fontes.

Em todas as amostras foram medidas no campo as condutividades elétricas; as medidas de oxigênio-18 e deutério foram feitas pelo Laboratório de Geoquímica Isotópica do Departamento de Geoquímica e Recursos Naturais, UNB / Brasília, com erro das medidas de $\pm 1\%$ para o hidrogênio e de $\pm 0,1\%$ para o oxigênio. Estes isótopos são amplamente usados na Hidrologia porque eles são excelentes traçadores das águas pelas suas abundâncias e pelos efeitos que sofrem por diferentes processos sofridos pelas águas antes da infiltração.

O hidrogênio e o oxigênio fazem parte da molécula da água e apresentam, cada um deles, três formas diferentes;

o hidrogênio ^1H , D (^2H) e T (^3H)
e o oxigênio: ^{16}O , ^{17}O e ^{18}O .

Por isso, a água pode ser encontrada em diferentes formas isotópicas, sendo as mais abundantes;

H_2^{16}O , H_2^{18}O e HD^{16}O .

As abundâncias relativas médias destas três moléculas da água são, respectivamente, aproximadamente: 99,76%, 0,20% e 0,03% (IAEA,2000)

Portanto, as quantidades das moléculas $H_2^{18}O$ e $HD^{16}O$ são muito pequenas em relação à quantidade de moléculas $H_2^{16}O$. No entanto, estas abundâncias variam dependendo da origem da água e de processos que ocorrem durante o seu deslocamento e armazenamento superficial. Logo, estas moléculas marcam a água e são utilizadas como traçadores para pesquisar a sua história.

Os isótopos oxigênio-18 e deutério são medidos com espectrômetro de massa e os resultados são expressos em termos de $\delta\text{‰}$, definido por,

$$\delta\text{‰} = [(R_a - R_p)/R_p] \times 10^3$$

Onde, R_a é a razão isotópica $^{18}O/^{16}O$ ou D/H, respectivamente, para o oxigênio e para o hidrogênio na amostra e R_p seu valor para uma água padrão "VSMOW" (Vienna Standard Mean Ocean Water) da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) em Viena/Áustria. O padrão SMOW originalmente era água do oceano escolhido por Craig (1961a).

O valor de δ mede, portanto, o enriquecimento (ou empobrecimento, quando < 0) no isótopo pesado na amostra em relação ao padrão. Como é grande a predominância do isótopo mais leve (1H ou ^{16}O), sobre os isótopos pesados (2H e ^{18}O), o δ comporta-se como uma concentração de mistura de águas com valores de δ diferentes (i.e. segue uma reta de mistura) (Craig, 1961b). Uma revisão do uso de ^{18}O e D no estudo de águas do Nordeste do Brasil pode ser visto em Santiago *et al.* (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em setembro de 2009, as amostras do aquífero Jandaíra foram coletadas de poços nos municípios Baraúna (05), Jaguaruana (03), Limoeiro (02), Mossoró (05) e Quixeré (05); Os locais dos poços estão apresentados na Tabela 1 e em Brasil (2010).

A análise estatística dos dados de $\delta^{18}O \text{‰}$ e $\delta D \text{‰}$ desta coleta, apresentados na Tabela 2, mostram que as águas armazenadas no aquífero Jandaíra são de recarga recente por apresentarem valores isotópicos das águas de chuvas atuais ($\delta^{18}O$ em torno de 3‰).

Em janeiro de 2010, somente 15 amostras foram coletadas do aquífero Jandaíra, de poços nos municípios Baraúna (03), Jaguaruana (01), Limoeiro (02), Mossoró (05) e Quixeré (04). Os locais dos poços estão apresentados na Tabela 1 e em Brasil (2010). Os resultados da análise estatística destes dados estão apresentados na Tabela 3. As médias dos valores de todas as amostras coletadas são: $\delta^{18}O \text{‰} = -2,9 \pm 0,2$ e $\delta D \text{‰} = -22,3 \pm 0,9$.

As medidas isotópicas em 06 amostras do aquífero Açú e 03 de fontes estão apresentadas na Tabela 4 e têm como valores médios, respectivamente:

Poços:	$\delta^{18}O \text{‰} = -4,4 \pm 0,8$	e	$\delta D \text{‰} = -23,2 \pm 3,9$
Fontes:	$\delta^{18}O \text{‰} = -2,5 \pm 0,3$	e	$\delta D \text{‰} = -16,2 \pm 1,8$

Os valores nas amostras do Açú diferem e são mais baixos do que do Jandaíra; as fontes têm concentrações de águas do Jandaíra. Os dados isotópicos mostram também que as águas do aquífero Jandaíra são de recargas recentes, têm $\delta^{18}O$ em torno de -3‰ , já as águas do Açú são paleoáguas, marcadas pelo clima mais frio antes de 10.000 anos antes de hoje (Santiago *et al.* 2008), devem ser consideradas como reservas estratégicas.

No gráfico $\delta^{18}O$ vs δD na Figura 3, distinguem-se claramente as águas do aquífero Jandaíra das águas do aquífero Açú. Constata-se que as fontes têm água do aquífero Jandaíra e que a amostra do Açú livre não tem características de águas do aquífero confinado; portanto, não recarrega o aquífero Açú confinado. Neste gráfico, comparam-se os valores isotópicos de todas as amostras com a Reta Meteorica Mundial (RMM). A Reta Meteorica Mundial, $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$, tem inclinação 8, mas em clima seco a evaporação durante a queda das chuvas produz uma inclinação menor do que 8. Os valores nas amostras do Açú estão próximos ao da RMM, mas os do Jandaíra se afastam dela claramente; a interação de calcários com a água, por troca isotópica, pode ser uma causa para o aumento de $\delta^{18}O$.

O gráfico de Condutividade Elétrica vs $\delta^{18}O$ na Figura 4 também separa as águas dos dois aquíferos, mostrando que as fontes são de água do Jandaíra e a amostra considerada do aquífero Açú livre não é representativa do aquífero Açú. A relação entre estes dois parâmetros (CE e ^{18}O) tem sido usada com êxito na separação de sistemas aquíferos.

A estatística de dados de condutividade elétrica apresentada na Tabela 4 mostra que, nas duas etapas de coleta no Jandaíra, as águas coletadas no município de Mossoró são mais salinas do que as coletadas nos demais municípios. Na Tabela 5 está apresentada a estatística para o aquífero Açú e as fontes. Comparando os dados das Tabelas 4 e 5, identifica-se que as águas do aquífero Açú são menos salinas do que as do Jandaíra.

Tabela 1. Oxigênio-18, deutério (D) e condutividade elétrica (CE) em amostras do aquífero Jandaíra.

ANA	Local	Município	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Setembro/09					
A0020	Juremal	Baraúna	-2,82	-20,8	1683
A0208	Mata Burro	Baraúna	-3,11	-22,5	1345
A0355	Pico Estreito	Baraúna	-3,10	-24,1	1231
A0511	Recreio	Baraúna	-2,88	-23,2	1975
A0605	Veneza	Baraúna	-3,52	-25,1	1116
A1042	Lajedo do Mel	Jaguaruana	-3,45	-24,5	1104
A1383	Carrapateiras	Jaguaruana	-2,69	-20,7	1207
A1408	Açude Veio	Jaguaruana	-3,17	-24,3	2520
A1310	Rancho da Casca	Limoeiro	-2,71	-22,6	1305
A1319	Km 60	Limoeiro	-2,54	-21,4	1012
A0895	Arisco – José Candido	Mossoró	-3,34	-22,2	3320
A0915	Sítio Estreito	Mossoró	-2,69	-20,3	3610
A0974	St Sto Antonio	Mossoró	-2,09	-18,2	13120
A1163	Riacho Grande	Mossoró	-3,19	-22,9	1620
A1161	PA Solidão	Mossoró	-3,06	-22,5	2130
A1082	Bom Sucesso	Quixeré	-2,94	-21,3	1032
A1101	Ubaia	Quixeré	-3,01	-22,5	1150
A1173	Cabeça Sra Cruz	Quixeré	-1,58	-17,3	1175
A1205	Queimadas	Quixeré	-3,18	-22,7	1447
A1329	Mato Alto	Quixeré	-3,10	-25,7	980
Janeiro/10					
A0020	Juremal	Baraúna	-3,01	-15,6	1712
A0208	Mata Burro	Baraúna	-3,03	-18,7	1285
A1383	Carrapateiras	Jaguaruana	-2,55	-15,1	1155
A1310	Rancho da Casca	Limoeiro do Norte	-2,14	-14,4	2130
A1319	Km 60	Limoeiro do Norte	-2,27	-12,5	1036
A0896	Arisco	Mossoró	-3,43	-20,4	2110
A 0915	Sítio Estreito	Mossoró	-2,20	-14,1	4800
A0974	Sítio Sto Antônio	Mossoró	-2,37	-11,0	10490
A1161	Jucuri	Mossoró	-2,99	-16,3	1354
A1163	Riacho Grande	Mossoró	-3,15	-17,9	1456
A1084	Bom Sucesso	Quixeré	-2,80	-16,9	1469
A1101	Ubaia	Quixeré	-2,78	-14,2	1161
A1173	Cabeça Santa Cruz	Quixeré	-1,84	-12,5	1225
A1329	Mato Alto	Quixeré	-3,43	-22,0	993

Tabela 2. Estatística dos dados de $\delta^{18}\text{O}$ ‰ e δD ‰ nas águas subterrâneas coletadas em janeiro de 2010.
*: uma amostra

Município	$\delta^{18}\text{O}$ ‰		
	Média	Desvio padrão	Mediana
Baraúna	-3,0	0,0	-3,0
Jaguaruana*	-2,6	-	-
Limoeiro do Norte	-2,2	0,1	-2,2
Mossoró	-2,8	0,5	-3,0
Quixeré	-2,7	0,7	-2,8

Município	δD ‰		
	Média	Desvio padrão	Mediana
Baraúna	-16,6	1,8	-15,6
Jaguaruana*	-15,1	-	-
Limoeiro do Norte	-13,5	1,3	-13,5
Mossoró	-15,9	3,6	-16,3
Quixeré	-16,4	4,1	-15,6

Tabela 3. Oxigênio-18, deutério (D) e condutividade elétrica (CE) em amostras do aquífero Açú e fontes.

ANA	Local	Município	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Açú Confinado dezembro/10					
A0091	CAERN 03	Baraúna	-4,44	-24,5	570
A0092	CAERN	Baraúna	-4,48	-23,8	575
A0424	CAERN - P23	Mossoró	-4,67	-24,6	501
A0426	CAERN P15	Mossoró	-4,65	-25,0	561
A0423	CAERN P08	Mossoró	-5,37	-25,7	605
A1438	Açú Livre	Quixeré	-2,88	-15,3	6270
Fontes dezembro/10					
A1619	Fonte Cabeça Santa Cruz	Quixeré	-2,77	-18,2	1277
A1608	Fonte Serra do Vieira	Russas	-2,62	-15,4	1326
A1619	Fonte Olho d'Água da Bica	Tabuleiro do Norte	-2,22	-14,9	1410

Tabela 4. Estatística dos dados de condutividade elétrica (CE) nas águas subterrâneas coletadas em setembro de 2009 e em janeiro de 2010 no aquífero Jandaíra. *: uma amostra; **: excluído um valor.

Município	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)					
	Setembro de 2009			Janeiro de 2010		
	Média	Desvio padrão	Mediana	Média	Desvio padrão	Mediana
Baraúna	1470	353	1345	1384	291	1285
Jaguaruana	1610	790	1201	1155*		
Limoeiro do Norte	1012			1583	774	1583
Mossoró**	2670**	949	2725	2430**	1615	1783
Quixeré	1157	181	1150	1212	197	1193

Tabela 5. Estatística dos dados de condutividade elétrica (CE) nas águas subterrâneas coletadas em janeiro de 2010 no aquífero Açú e em fontes.

	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	Média	Desvio padrão	Mediana
Aquífero Açú	562	38	570
Fontes	1338	67	1326

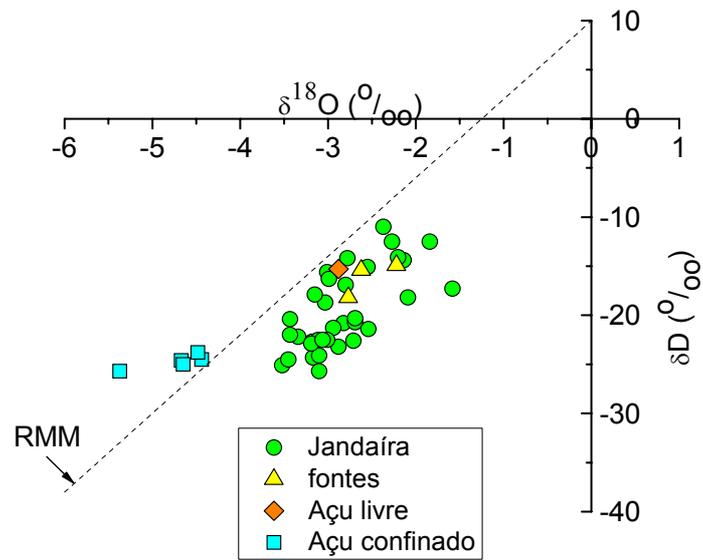


Figura 3. $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD com amostras das duas coletas, setembro de 2009 e janeiro de 2010 com a Reta Meteorológica Mundial (RMM).

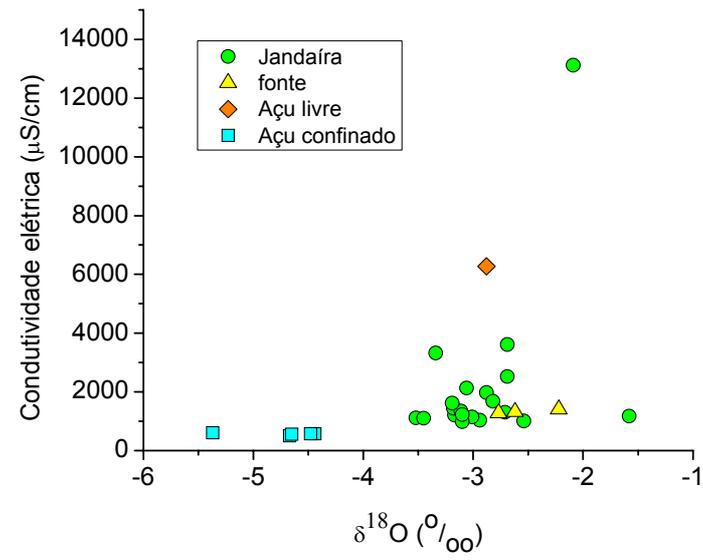


Figura 4. $\delta^{18}\text{O}$ vs Condutividade Elétrica com amostras das duas coletas, setembro de 2009 e janeiro de 2010.

CONCLUSÕES

Os valores isotópicos caracterizam as águas subterrâneas armazenadas no calcário Jandaíra da Bacia Potiguar como recurso de recarga recente; ou seja, um recurso renovável. No entanto, a salinidade destas águas é alta, produzida, em parte, por evaporação e, principalmente, por processos geoquímicos internos como dissolução de rochas calcárias da formação armazenadora.

A salinidade destas águas varia espacialmente, com as mais salinas no município de Mossoró, a leste da área estudada, e as menos salinas, em Quixeré. As águas do município de Mossoró, certamente, recebem a influência do mar (por aerossóis marinhos) por sua proximidade à costa, mas mesmo as águas menos salinas no aquífero Jandaíra não são adequadas a todos os usos, principalmente pela elevada dureza.

As águas subterrâneas armazenadas nos arenitos da Formação Açu são misturas de paleoáguas, águas que se formaram a mais que 10.000 anos atrás, o que as torna um recurso mineral não renovável. A salinidade destas águas é mais baixa do que das da Formação Jandaíra, o que convida para seu uso amplo, mas seu aproveitamento deve ser feito com um máximo de racionalidade e eficiência por se tratar de um recurso estratégico não renovável.

REFERÊNCIAS

BRASIL. ANA (Agência Nacional de Águas). 2010. "Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e proposição de modelo de gestão compartilhada para os aquíferos da Chapada do Apodi entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará".

CRAIG, H. 1961a Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. Science v. 133 n. 3467 p. 1633-1834.

CRAIG, H. 1961b Isotopic variations in meteoric waters. Science v. 133 n. 3465 p. 1702-1703.

IAEA – International Atomic Energy Agency/Vienna 2000. Environmental isotopes in the hydrological cycle: principles and applications. Vol 1, 280p

SANTIAGO, M.F.; FRISCHKORN, H.; SILVA, C.M.S.V. 2008 Métodos Isotópicos. P. 255-271. In: Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações, CPRM.