

HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CALCÁRIO JANDAÍRA – CHAPADA DO APODI

Maria Aparecida Belém Fernandes¹; Maria Marlúcia Freitas Santiago¹; Luiz Alberto Ribeiro Mendonça¹; José Ossian Gadelha de Lima¹; Josué Mendes Filho¹ & Horst Frischkorn²

Resumo – Para o estudo da hidroquímica das águas subterrâneas no calcário Jandaíra, foram coletadas amostras em seis poços tubulares na Chapada do Apodi, porção leste do estado do Ceará, nos períodos seco (agosto e novembro/01) e chuvoso (janeiro e abril/02). Os resultados mostram que as águas são todas do tipo cloretada mista independente do período seco ou chuvoso. Medidas de oxigênio-18, feitas nos meses de agosto e novembro de 2001, revelaram que as águas da Chapada do Apodi sofreram evaporação antes da recarga. Devido à importância das águas para irrigação, foi utilizado o diagrama adotado pelos norte-americanos para classificação das águas na agricultura. Foi observado que, exceto um poço na última amostragem, todas são do tipo C₃S₁.

Abstract – Six drilled wells in the eastern part of Ceara, on the top of the Apodi Plateau, exploiting the limestone of the Jandaira aquifer, were sampled during the dry season (in August and November, 2001) and during the rainy one (in January and April, 2002). During all periods, dry or wet, waters are of the Cl/ mixed type. Oxygen-18 was measured in samples from August and November, 2001. The results show that these waters are marked by elevated ¹⁸O, indicating evaporation before recharge. As these waters are being used in large scale irrigation, we classified them according to the American Salinity Laboratory System. With the exception of one single sample, all are of the C₃S₁ type.

Palavras-chave – hidroquímica; oxigênio-18; Chapada do Apodi.

INTRODUÇÃO

Na Chapada do Apodi, as condições geológicas não favorecem a formação de rios e/ou riachos, sendo, portanto, os recursos hídricos superficiais escassos. Este fato levou à exploração dos recursos hídricos subterrâneos. Como os solos da chapada representam uma das mais importantes manchas sedimentares do Estado do Ceará, foi instalado o Projeto de Irrigação da Chapada do

¹ Departamento de Física da UFC, Tel.: (0xx85)288.9913, Fax: (0xx85)288.9450, e-mail: marlucia@fisica.ufc.br.

² Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, Caixa Postal 6018, CEP 60451-970, Fortaleza, CE, Tel.: (0xx85)288.9775, Fax: (0xx85)288.9627, e-mail: cariri@ufc.br.

Apodi, ao qual foi associada uma estação de bombeamento para elevar água do rio Jaguaribe ao sistema de canais do projeto, com desnível de 100m.

A exploração de águas subterrâneas na Chapada, é restrita a pequenas áreas, pois o nível estático dos poços, em geral, é grande, tornando a exploração da água inviável economicamente. No entanto, em outras pequenas áreas localizadas fora do perímetro do projeto, a exploração de águas subterrâneas é possível e já está sendo realizada. Porém, a salinidade das águas na Formação Jandaíra, onde estão inseridos estes poços, tem causado preocupação ao usuário para agricultura.

Este trabalho foi desenvolvido para identificar o nível de salinidade das águas, bem como os processos responsáveis pela produção dos sais, e buscar alternativas capazes de minimizar o problema.

ÁREA DE ESTUDO

A Chapada do Apodi localiza-se na porção leste do Estado do Ceará, na fronteira com o Rio Grande do Norte (Figura 1), e faz parte da Bacia Potiguar, onde os aquíferos estão na Formação calcária Jandaíra e no arenito Açú [1]. A área de trabalho pertence ao município de Quixeré no Ceará a 236 Km de Fortaleza, onde está instalada a Fazenda Frutacor que desenvolve fruticultura com uma plantação em grande escala de bananas para exportação.

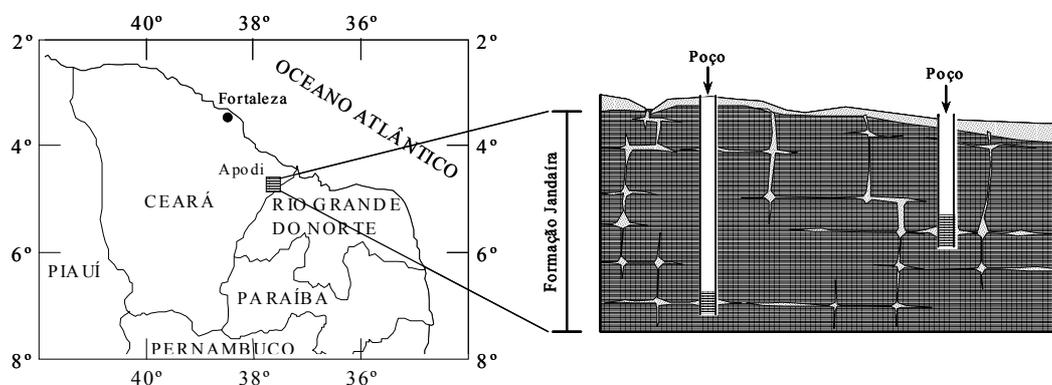


Figura 1 – Localização da área de trabalho.

A formação Jandaíra caracteriza-se por carbonatos marinhos de águas rasas e sua litologia dominante é constituída por calcários clásticos e dolomíticos compactos, duros, lajeados e fraturados. Estes sedimentos apresentam coloração predominantemente creme e cinza. Apresenta um relevo bastante plano e pouco ondulado, solo argiloso, formando escarpas quando em contato com os arenitos mais antigos. Esta formação constitui um aquífero livre, predominantemente cárstico, onde o armazenamento e a circulação de água ocorrem em fissuras oriundas de dissolução, sendo limitado na base por níveis argilosos da Formação Açú.

A formação Açú caracteriza-se por sedimentos clásticos em camadas relativamente espessas e de granulometria muito fina e conglomerática. Esta formação se comporta como aquífero livre, nas zonas de afloramento e como aquífero confinado, onde está sobreposto pelo Jandaíra e pelo seu nível superior mais argiloso. Sua litologia é formada por arenitos brancos, cinza e avermelhados, com intercalação de folhelhos, siltitos e calcarenitos. A recarga deste aquífero ocorre predominantemente pelas chuvas na zona aflorante e por conexão hidráulica através de fraturas no aquífero Jandaíra.

METODOLOGIA

Medidas hidroquímicas

Coletas de amostras de água de seis poços tubulares foram feitas nos meses de agosto/2001, novembro/2001, janeiro/2002 e abril/2002. Estes poços têm profundidades entre 40 e 56m e exploram somente o aquífero na formação Jandaíra.

As concentrações dos íons maiores Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$ e HCO_3^- , foram determinadas no laboratório de análises físico-químicas do Departamento de Física da UFC. Os parâmetros temperatura, condutividade elétrica e pH foram determinados durante as coletas.

Na interpretação dos resultados foi utilizado o diagrama de classificação para irrigação que relaciona a razão de adsorção de sódio (SAR) com a condutividade elétrica (C.E.) da água.

Medidas isotópicas de oxigênio-18

A razão isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ nas precipitações é função de vários fatores; decresce com a distância à costa, com o aumento da altitude, com a diminuição da temperatura da atmosfera e com a quantidade de chuva. Em águas superficiais, a evaporação produz um enriquecimento em ^{18}O , marcando, desta maneira, estas águas por aumento sazonal na razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Em aquíferos profundos esta razão é conservada e é característica da água de recarga.

As medidas de oxigênio-18 são expressas em delta por mil $\delta(\text{‰})$, que é o desvio da amostra em relação a um padrão (VSMOW – Vienna Standard Mean Ocean Water), dado por:

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} - 1 \right) \cdot 10^3, \text{ onde } R \text{ é a razão isotópica, } R = ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}.$$

As medidas de $\delta^{18}\text{O}$ (‰) foram feitas no CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura)/Piracicaba, com um erro de aproximadamente $\pm 0,15 \text{ ‰}$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 1 estão as concentrações dos íons maiores, os parâmetros físico-químicos e as medidas de $\delta^{18}\text{O}$ das amostras de águas subterrâneas do aquífero cárstico Jandaíra.

Classificação e qualidade das águas

A figura 2 mostra a variação da condutividade elétrica com o tempo. Observa-se na tabela 1 e na figura 2 que em janeiro, início do período chuvoso, houve uma recarga com diluição dos sais, fazendo com que a condutividade elétrica e as concentrações da maioria dos íons diminuíssem. Porém, em abril, com a redução das chuvas, como pode ser visto no histograma de pluviosidade da figura 3, ocorreu um aumento na salinidade das águas.

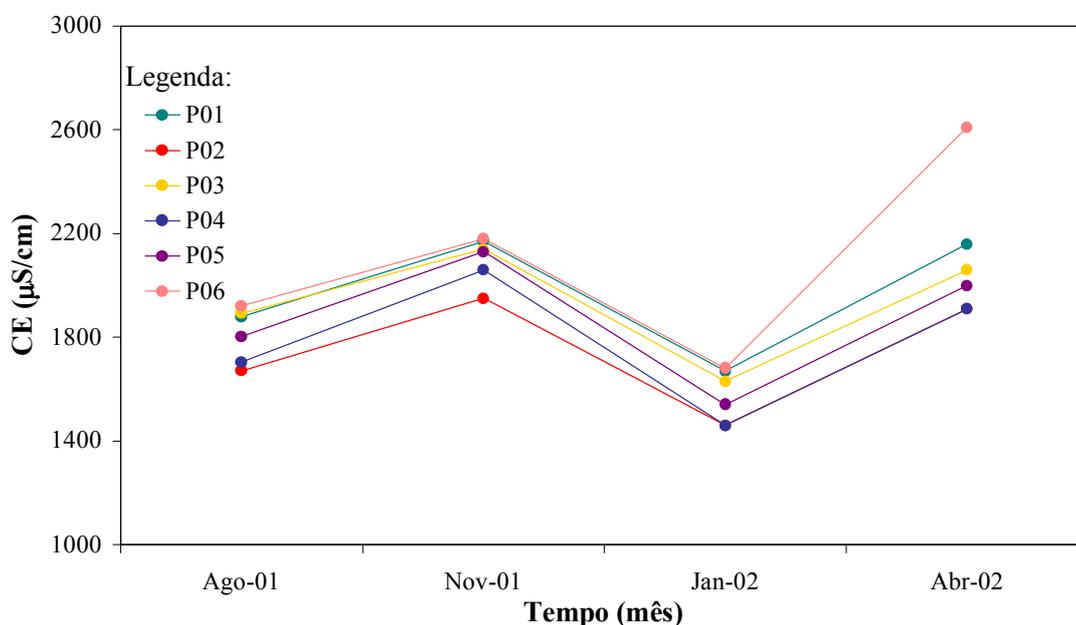


Figura 2 - Variação da condutividade elétrica com o tempo.

Tabela 1 - Hidroquímica de amostras de águas dos poços na Fazenda Frutacor, Chapada do Apodi, município de Quixeré.

		Mês	POÇOS					
			P01	P02	P03	P04	P05	P06
Concentração (mg/L)	Ca ⁺⁺	ago/01	179,30	186,30	175,30	178,30	173,30	188,30
		nov/01	175,00	170,00	166,00	160,00	158,00	162,00
		jan/02	84,98	97,76	68,43	74,45	78,96	95,50
		abr/02	192,86	180,32	183,46	166,99	163,07	236,77
	Mg ⁺⁺	ago/01	76,90	63,20	62,60	64,40	59,60	56,60
		nov/01	59,97	52,29	67,36	51,52	57,64	64,93
		jan/02	37,00	55,28	44,31	45,23	47,05	40,20
		abr/02	69,52	51,64	67,05	40,97	60,67	80,37
	Na ⁺	ago/01	155,30	131,30	147,30	144,60	160,60	152,60
		nov/01	133,65	119,78	137,22	130,12	140,83	139,02
		jan/02	73,16	68,23	65,38	101,40	114,35	80,47
		abr/02	133,06	111,18	125,98	124,59	133,06	143,35
	K ⁺	ago/01	0,28	0,23	0,28	0,33	0,28	0,33
		nov/01	0,56	0,54	0,60	0,62	0,66	0,62
		jan/02	1,89	2,37	2,37	2,83	2,60	2,13
		abr/02	3,99	2,70	3,67	3,67	3,35	4,30
	Cl ⁻	ago/01	377,90	324,10	415,80	332,70	359,60	412,20
		nov/01	351,25	300,57	353,61	300,57	324,14	346,54
		jan/02	219,36	219,36	158,53	194,48	225,82	232,27
		abr/02	403,70	319,83	388,04	309,69	332,73	533,66
	SO ₄ ⁼	ago/01	51,20	46,70	45,50	49,30	46,90	44,20
		nov/01	47,65	39,49	44,92	47,83	49,29	49,91
		jan/02	70,43	65,59	65,97	83,39	84,65	53,48
		abr/02	94,79	82,22	84,29	86,34	86,43	85,71
	HCO ₃ ⁻	ago/01	445,86	415,75	455,98	425,75	452,57	472,69
		nov/01	383,02	379,87	386,15	383,02	392,43	386,15
		jan/02	186,10	197,73	175,76	240,38	188,69	180,93
		abr/02	396,85	401,98	389,17	401,98	417,34	368,69
pH	ago/01	6,76	6,84	6,85	6,88	6,83	6,78	
	nov/01	6,74	7,10	6,77	6,75	6,75	6,77	
	jan/02	7,24	7,08	6,73	6,80	6,74	6,70	
	abr/02	6,97	7,10	6,80	6,80	6,76	6,82	
C.E. (μS/cm)	ago/01	1879	1671	1892	1704	1802	1921	
	nov/01	2170	1950	2140	2060	2130	2180	
	jan/02	1670	1460	1630	1460	1540	1680	
	abr/02	2160	1910	2060	1910	2000	2610	
δ ¹⁸ O (‰)	ago/01	-2,59	-2,53	-2,44	-2,43	-2,41	-2,45	
	nov/01	-0,76	-2,23	-2,02	-2,32	-2,30	-2,27	

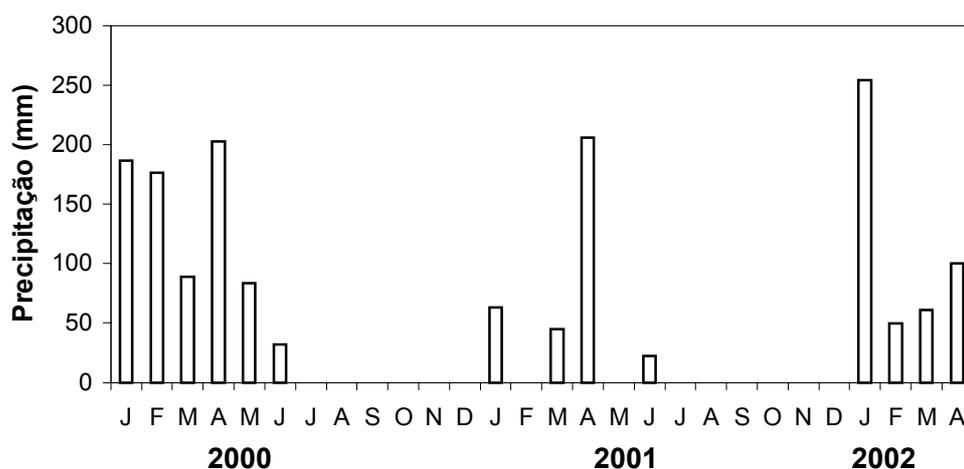


Figura 3 – Pluviosidade da estação meteorológica de Quixeré -CE (Fonte: FUNCEME)

De acordo com o diagrama de Piper visto na figura 4, as águas permaneceram cloretadas mistas durante todo período de observação.

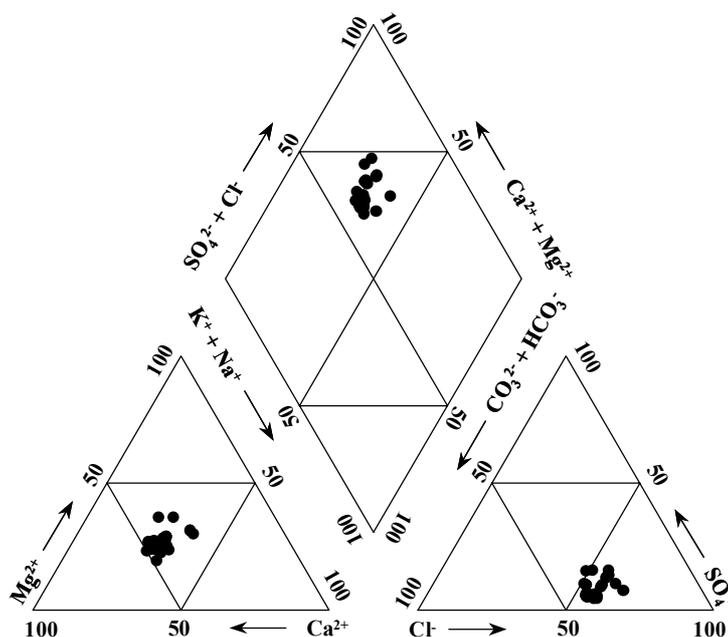


Figura 4 - Diagrama de Piper para as águas da Formação Jandaíra na Chapada do Apodi.

Quanto ao risco de sódio, o diagrama de classificação das águas para agricultura da figura 5 indica que todas as águas são do tipo S_1 e que podem ser utilizadas em quase todos os solos, com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio. Quanto ao risco de salinidade, a maioria das amostras é classificada como C_3 , indicando que estas águas só podem ser utilizadas em solos bem

drenados e na irrigação de vegetais de alta tolerância salina. Apenas uma amostra foi classificada como C₄, não servindo para irrigação. Todavia, podendo ser utilizada em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados, sendo indicada para irrigação de vegetais de altíssima tolerância salina.

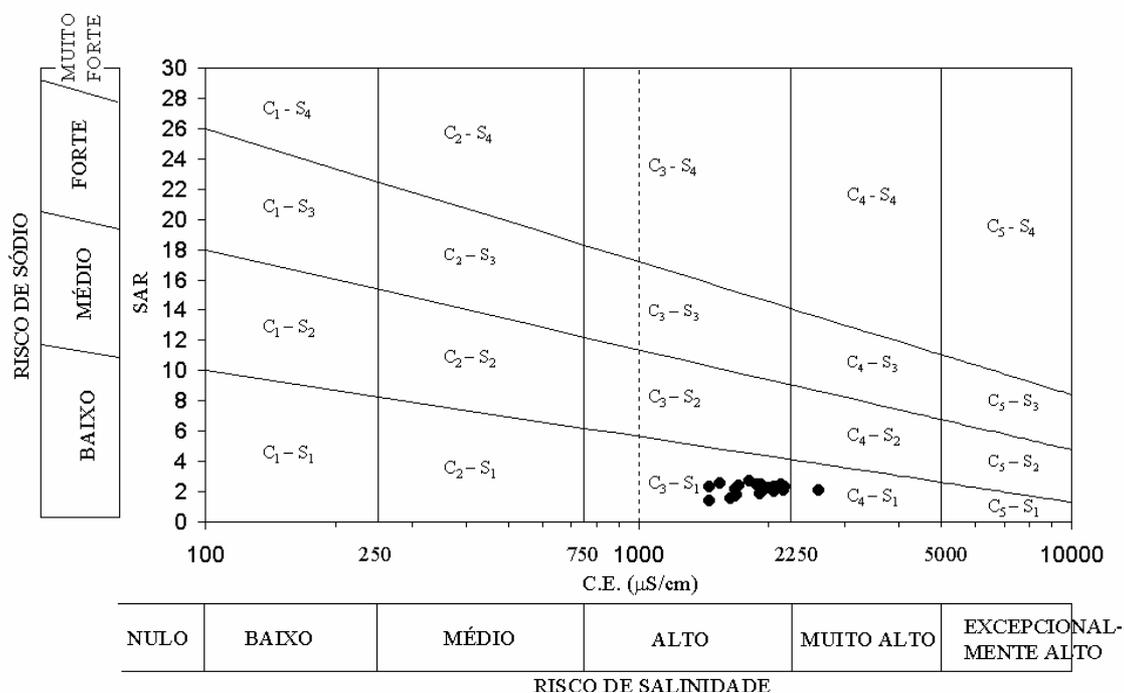


Figura 5 - Diagrama de classificação das águas para agricultura para as águas da Formação Jandaíra na Chapada do Apodi.

Origem dos sais

Como o aquífero explorado é a Formação calcária Jandaíra, a dissolução da calcita é uma das importantes fontes de íons de cálcio nas águas subterrâneas. Esta dissolução pode ocorrer com liberação dos íons Ca^{++} e HCO_3^- nas proporções 1:1 ou 1:2. A figura 6 mostra a relação entre as concentrações destes dois íons nas águas subterrâneas, indicando preferencialmente, a liberação dos íons na proporção 1:1.

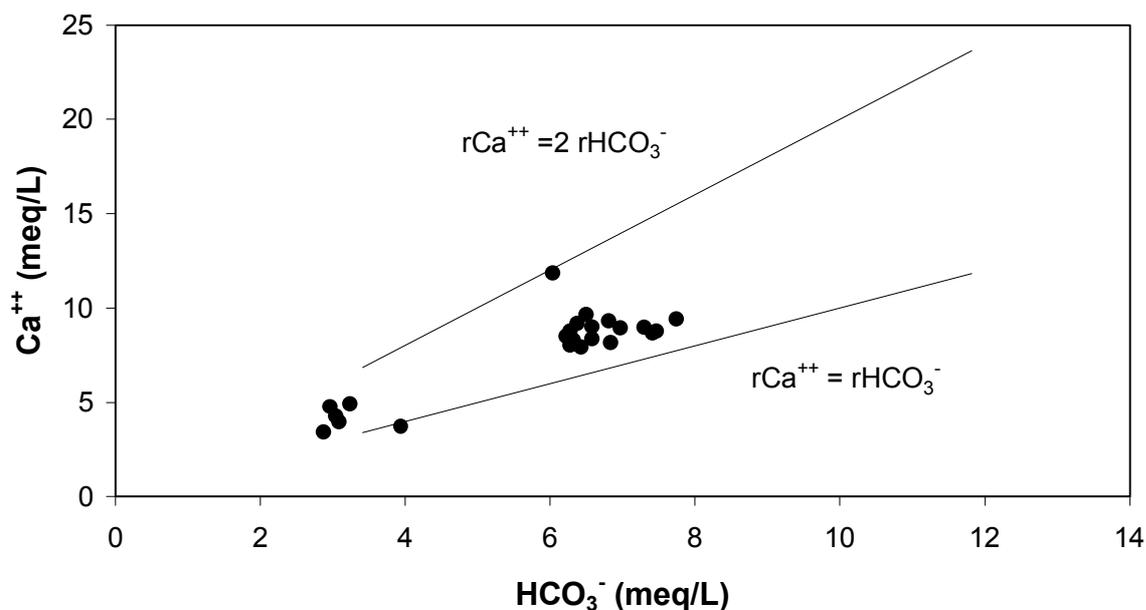


Figura 6 – Relação entre os íons Ca^{++} e HCO_3^- para as águas da Formação Jandaíra na Chapada do Apodi.

Os íons de cálcio podem também ser provenientes da dissolução de dolomita, quando então libera simultaneamente, íons de Ca^{++} e Mg^{++} . Os índices de saturação da calcita (ISC) e da dolomita (ISD) apresentados na tabela 2 dão uma idéia do nível de dissolução destes minerais [2]. Estes índices indicam que no período de maiores recargas as águas dos poços da Chapada do Apodi estão subsaturadas em calcita e dolomita, tendendo ao equilíbrio, com ISC e ISD médio de respectivamente $-0,35$ e $0,04$. Nos períodos seco e de pouca recarga, os poços apresentam águas saturadas em calcita e dolomita com ISC e ISD médio de respectivamente $0,20$ e $0,49$.

Tabela 2 –Índice de dissolução da calcita (ISC) e da dolomita (ISD) nas águas subterrâneas da formação Jandaíra.

	Mês	POÇOS					
		P01	P02	P03	P04	P05	P06
ISC	ago/01	0,16	0,24	0,25	0,27	0,23	0,23
	nov/01	0,08	0,43	0,09	0,06	0,06	0,08
	jan/02	0,01	-0,08	-0,61	-0,38	-0,53	-0,50
	abr/02	0,35	0,47	0,15	0,15	0,10	0,24
ISD	ago/01	0,50	0,50	0,50	0,60	0,50	0,50
	nov/01	0,40	0,70	0,40	0,30	0,40	0,40
	jan/02	0,40	0,30	-0,20	0,00	-0,10	-0,20
	abr/02	0,60	0,70	0,50	0,40	0,40	0,50

O diagrama de Piper mostra que as águas são cloretadas quanto aos ânions. Porém, em geral, os cloretos são pouco abundantes nos minerais componentes da rocha principal armazenadora de água.

Como a formação Jandaíra foi originada por sedimentação marinha, nesta fase podem ter sido depositados cristais de halita e bischofita. Em áreas onde ocorrem cristais de halita, as concentrações de cloretos e de sódio, ocorrem na proporção de 1:1. Quando ocorre dissolução de bischofita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a produção de íons de cloro e magnésio acontece numa relação 1:2 [3].

O gráfico da figura 7, que correlaciona os cátions magnésio e sódio com os cloretos, mostra uma relação de Mg^{++} e Cl^- do tipo 1:2, indicando dissolução de bischofita. Já a relação entre as concentrações de Na^+ e Cl^- próximo de 1:2 não dá indício de dissolução importante de halita.

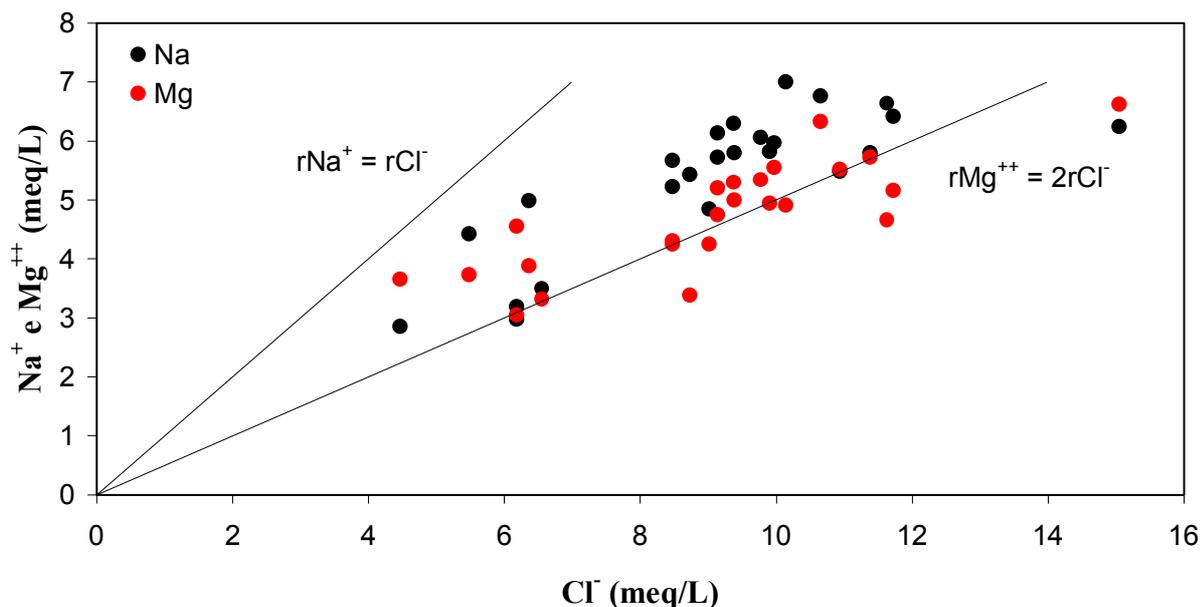


Figura 7– Correlação entre os íons Na^+ e Mg^{++} com o Cl^- .

Na figura 8 vê-se que os poços que captam água na Chapada do Apodi possuem água com $\delta^{18}\text{O}$ médio de $-2,23 \text{ ‰}$, menos negativo que o valor médio das chuvas na área de $-3,50 \text{ ‰}$ [4], indicando que as águas sofreram evaporação antes da recarga. A figura 9 comprova o processo de evaporação através do coeficiente angular da reta de correlação δD vs. $\delta^{18}\text{O}$ de 4,9, menor que 8, o valor da reta meteórica mundial.

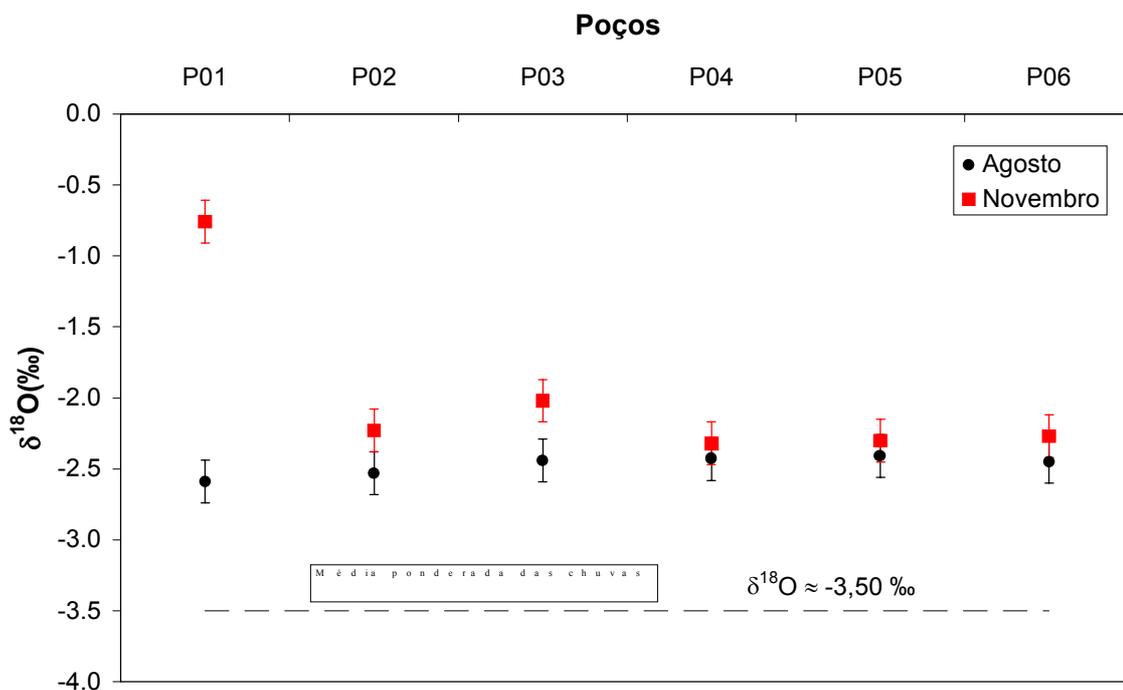


Figura 8 – $\delta^{18}\text{O}$ das águas subterrâneas na chapada do Apodi.

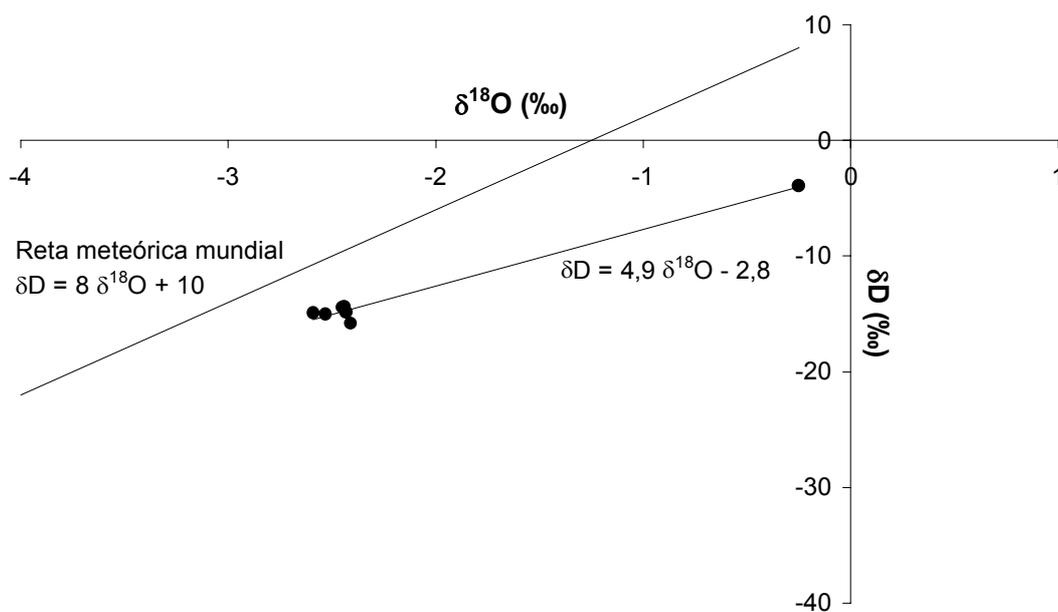


Figura 9 – $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD das águas subterrâneas na chapada do Apodi.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, à CAPES e à FUNCAP pelo apoio financeiro, à UNIVALE (nas pessoas de Dr. João Teixeira Junior e José Aldair) pelo apoio logístico e ao CENA/USP-Piracicaba-SP (na pessoa do Dr. Plínio Barbosa de Camargo) pelas análises isotópicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - FEITOSA, E. C. **A exploração do aquífero Açu na região de Mossoró – RN**: caracterização da situação atual e perspectiva de atendimento da demanda futura (Programa de água subterrânea para a região nordeste – série hidrogeologia: pesquisa e desenvolvimento, 1). Brasília: CPRM, 1996. 44p.
- 2- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1979. 604p.
- 3- FENZL, N. **Introdução à hidrogeoquímica**. Belém : Gráfica e Editora Universitária – UFPA, 1988. 189p.
- 4 - SANTIAGO, M. F.; FRISCHKORN, H.; SALES NETO, P.; MENDES FILHO, J.; The recharge mechanisms in an alluvial aquifer zone in northeast Brazil. **Ground water**, v. 39, n. 1, p. 18 – 23, 2001.