

CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA E HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA SEDIMENTAR LAVRAS DA MANGABEIRA, CEARÁ

*Michel Lopes Granjeiro¹, Maria Marlúcia Freitas Santiago¹, Carla Maria Salgado Vidal Silva¹,
Josué Mendes Filho¹, Horst Frischkorn², Liano Silva Veríssimo³*

RESUMO --- Águas subterrâneas na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira foram estudadas utilizando medidas de isótopos ambientais e hidroquímica. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ estão na faixa de -3,1 a -0,2 ‰ e os de δD de -17,9 a -3,6 ‰. São águas de recarga recente que sofreram evaporação. Têm baixa salinidade, são potáveis quanto a hidroquímica e predominantemente dos tipos bicarbonatada mistas e bicarbonatada sódicas. As duas sub-bacias, a do Riacho do Meio e a do Rosário mostraram diferentes processos de salinização.

ABSTRACT --- Groundwaters from the Lavras da Mangabeira Sedimentary Basin were studied through environmental isotope and chemical analyses. Values for $\delta^{18}\text{O}$ range from -3,1 to -0,2 ‰ and for δD , from -17,9 to -3,6 ‰. These waters are of recent recharge and show influence from evaporation. They are of low salinity, predominantly of the $\text{HCO}_3^-/\text{mixed}$ and $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$ types and are chemically suitable for human consumption.

Palavras-Chave – isótopos ambientais, Lavras da Mangabeira, água subterrânea.

¹Departamento de Física, Campus do Pici, Cx. Postal 6030, Tel. (85) 33669913, CEP: 60455-760, Fortaleza-CE, E-mail: michelantares@yahoo.com.br, marlucia@fisica.ufc.br, carla@fisica.ufc.br, josue@fisica.ufc.br

²Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, Cx. Postal 6006, 60455-760, Fortaleza-CE. E-mail: cariri@ufc.br

³ Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Avenida Antonio Sales, 1418, Joaquim Távora, Fortaleza-Ce. Tel. (85) 3246-12.42, Fax (85) 3246-16.86 liano@fo.cprm.gov.br;

1-INTRODUÇÃO

O crescimento da população do município de Lavras da Mangabeira e o uso da água para a agricultura e consumo animal contribuíram para aumentar cada vez mais a necessidade da água dessa região, intensificando a perfuração de poços para suprir as necessidades da população; em 2003, era de 31.360 habitantes, 16.730 localizados na zona urbana e 14.630, na zona rural (IBGE, 2003).

Embora seja pequena, a Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira, com área aproximada de 60,2 km², é importante por fazer parte da área sedimentar no Ceará, que é de apenas 25% do Estado. Além de dispor da quantidade de água é necessário que sua qualidade seja conhecida para indicação de um consumo adequado. É comum encontrar no Ceará águas subterrâneas com concentrações elevadas de sal que as tornam inadequadas para diversos usos.

As águas subterrâneas armazenadas nas três sub-bacias estão discutidas neste trabalho utilizando análises dos isótopos ambientais oxigênio-18 e deutério e medidas hidroquímicas para identificar sua qualidade e seus processos de salinização.

Estas análises foram feitas no âmbito do Projeto Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro. Implantado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, através da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, foi executado em conjunto pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM/Residência de Fortaleza e Universidade Federal do Ceará – UFC por meio de uma rede cooperativa de pesquisa.

2-ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira está localizada no município de mesmo nome, na porção sudeste do Estado do Ceará, como mostra a Figura 1, e faz parte das cartas topográficas da SUDENE Cedro (SB.24-Y-B-VI) e Cajazeiras (SB.24-Z-A-IV). A Bacia Sedimentar tem posição geográfica entre os paralelos 06°46'00" e 06°51'00" de Latitude Sul e os meridianos 39°10'00" e 38°56'00" de Longitude Oeste de Greenwich.

Segundo os Atlas dos órgãos estaduais IPLANCE (1997) e SRH-CE (1992), o clima da região se caracteriza por temperaturas médias variando de 23 °C, no “inverno”, a 29 °C, no “verão”; as pluviosidades mensais máximas ocorrem nos meses de fevereiro a março; a precipitação anual média é de 724 mm. São registradas, no município, altitudes entre 200 e 500 m acima do Nível do Mar. A vegetação é constituída por três tipos: Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta e Floresta Mista dicotilo-Palmácea (Mata Ciliar). A área de estudo está inserida na unidade morfológica denominada de Depressão Sertaneja.

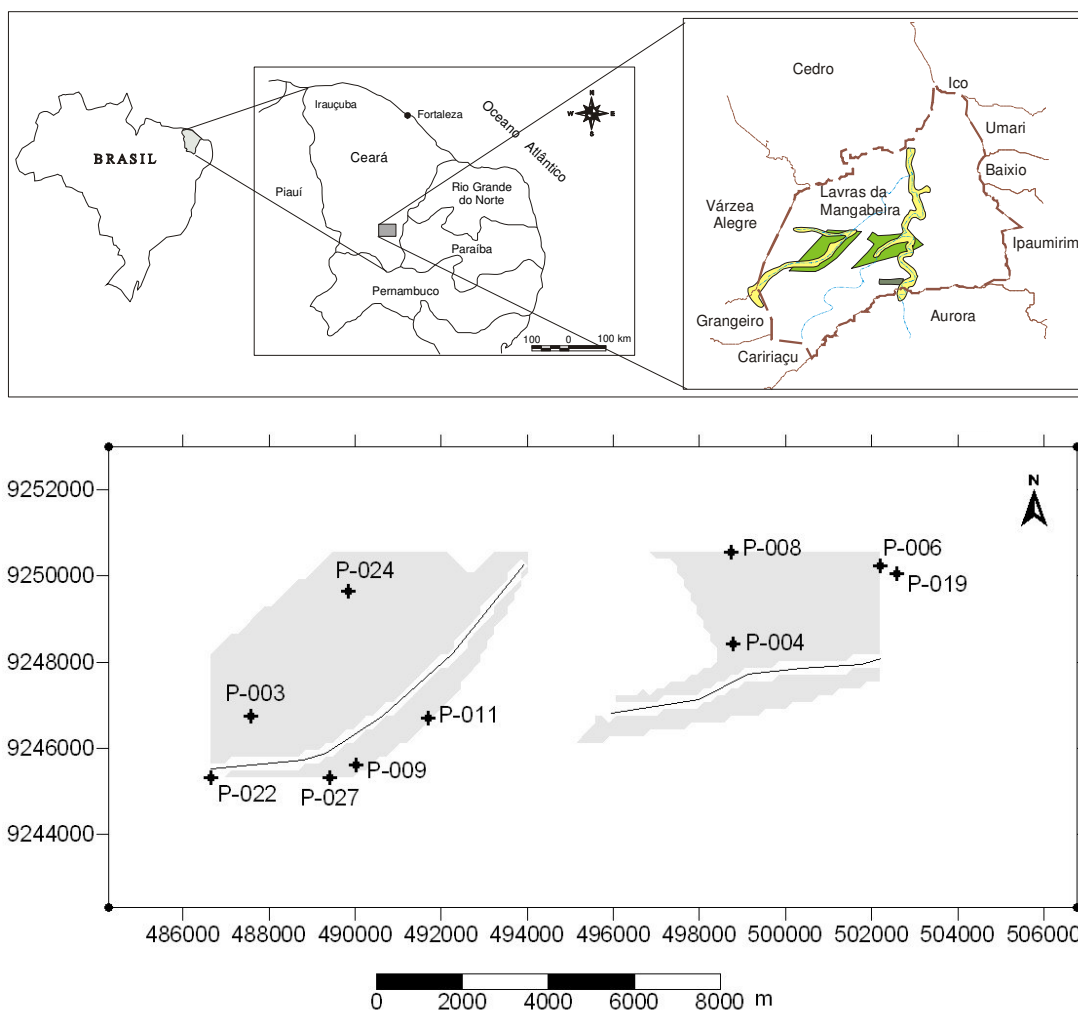


Figura 1. Localização da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira e dos pontos amostrados.

A geologia em superfície da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira está mostrada na Figura 2; a bacia se constitui em um conjunto de três pequenas bacias: a Bacia do Riacho do Meio com uma área aproximada de 33,2 km², a Bacia do Riacho do Rosário com 24,8 km² e a mini-bacia de Ipoberi com 2,2 km² (PONTE et al., 1990).

3 - ISÓTOPOS AMBIENTAIS

Os isótopos, naturalmente presentes no meio ambiente, em quantidades que permitem seu uso como traçadores, são chamados de isótopos ambientais. O emprego desses isótopos na hidrologia é muito difundido a nível mundial, constituindo nos dias de hoje uma ferramenta de grande importância.

Os isótopos do oxigênio são ¹⁶O, ¹⁷O e ¹⁸O e os isótopos estáveis do hidrogênio são ¹H e D, deutério; eles aparecem na natureza nas proporções: ¹H: 99,984% e D: 0,016%; ¹⁶O : 99,75%, ¹⁷O:

0,204%, ^{18}O : 0,037%. Com estes isótopos, a água é composta pelas seguintes moléculas: H_2^{16}O , H_2^{18}O , HD^{16}O , D_2^{16}O , HD^{18}O , D_2^{18}O , sendo as mais abundantes H_2^{16}O : 99,7%, H_2^{18}O : 0,2% e HD^{16}O : 0,032%. As abundâncias variam basicamente por mudanças de fase, o que torna os isótopos traçadores naturais no ciclo hidrológico.

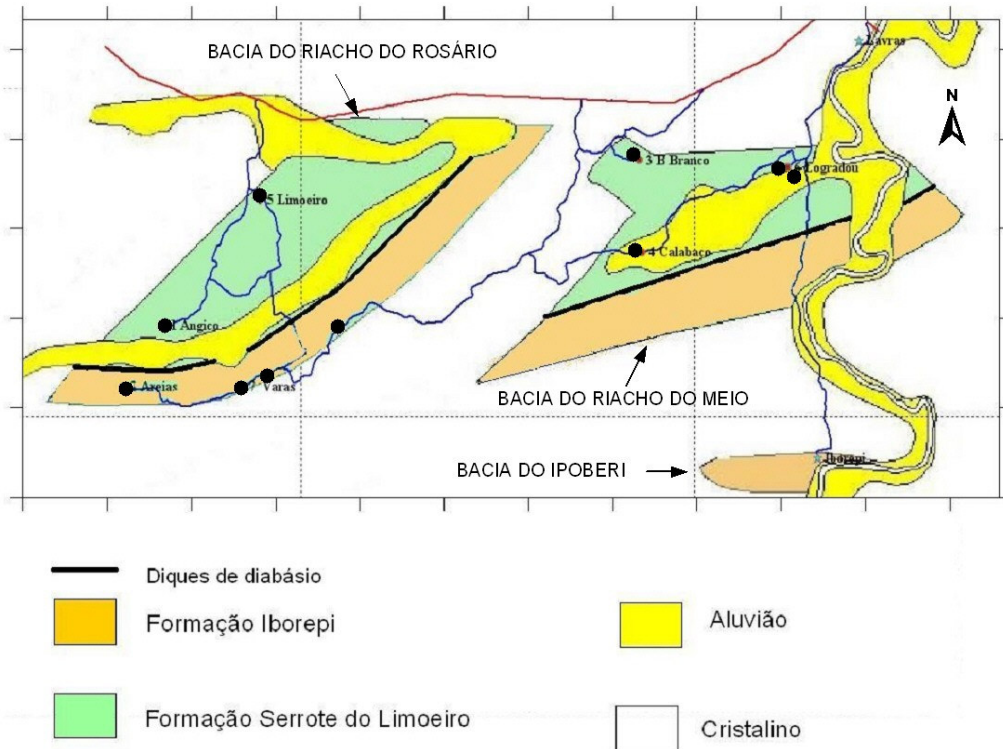


Figura 2. Geologia da área de trabalho e localização dos pontos amostrados.

A evaporação e a condensação são as mudanças de fase que mais influenciam no processo de fracionamento isotópico da água. Isso porque durante a evaporação, as moléculas mais leves da água (H_2^{16}O) evaporam mais facilmente do que as moléculas de maior peso molecular (H_2^{18}O e HD^{16}O). E à medida que a evaporação continua a água restante torna-se mais enriquecida em isótopos pesados e o vapor relativamente mais leve.

Assim, a razão isotópica entre os isótopos menos abundantes e os mais abundantes ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$; H/D) muda, mas na prática, a razão absoluta não tem muita importância e é de medição difícil. Por isso, o que se mede é o enriquecimento ou o empobrecimento do isótopo em uma amostra em relação a um padrão convenientemente adotado.

Atualmente o padrão usado nos trabalhos de Hidrologia é o V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), que é distribuído pela IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) em Viena, Áustria. As medidas são expressas em termos de $\delta\text{‰}$, definido como:

$$\delta = \left\{ \left[\frac{R - R_0}{R_0} \right] - 1 \right\} \cdot 10^3 \quad (1)$$

sendo, R a razão isotópica de uma amostra, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou D / H, e R_0 a razão isotópica do padrão.

Valores positivos de δ nos dizem que a amostra em estudo é mais rica em espécies isotópicas pesadas com relação ao padrão; valores negativos de δ indicam que a amostra é mais pobre em espécies isotópicas pesadas em relação ao padrão.

Em 1961, Harmon Craig (Craig, 1961) analisou a concentração de ^{18}O e D em cerca de 400 amostras de água de chuva e águas superficiais, coletadas mundialmente e observou que a concentração desses dois isótopos varia de acordo com a equação linear (CRAIG, 1961):

$$\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (2)$$

Rozanski et al. (1993) encontraram

$$\delta\text{D} = 8,17(\pm 0,07) \delta^{18}\text{O} + 11,27(\pm 0,65) \quad (\text{‰}) \text{ SMOW} \quad (3)$$

O gráfico dessa equação é conhecido como reta meteórica mundial (GMWL, Global Meteoric Water Line), porque se baseia em amostras de grande variedade de condições climáticas, sendo válida de uma maneira geral para todo o globo, com variações locais, servindo então como referência para o entendimento da origem e movimento de águas locais.

4 - METODOLOGIA

As determinações das concentrações iônicas foram realizadas no Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará. A metodologia adotada foi a seguinte: Ca^{2+} e Mg^{2+} , por método titulométrico com EDTA; Na^+ e K^+ , por fotometria de chama; Cl^- , pelo método titulométrico com AgNO_3 ; SO_4 , pelo método espectrofotométrico com cloreto de bário; $\text{CO}_3^{=}$ e HCO_3^- , pelo método titulométrico com HCl e NO_3^- , pelo método espectrofotométrico do NITRAVER.

As curvas de calibração elaboradas para os diferentes tipos de determinações, tanto fotométricas como espectrofotométricas, mostraram coeficientes de correlação da ordem de 0,99, enquanto as análises titulométricas foram realizadas sempre em duplicata, com diferença de valores na faixa de 0-5%. Os resultados das análises, que têm erros de balanço iônico da ordem de até 6,0%, estando, portanto, numa faixa bem abaixo daqueles admissíveis pela literatura (10%), indicam que as análises físico-químicas e químicas alta precisão, estando de acordo com o perfil de qualidade exigida pela OMS.

Os isótopos estáveis oxigênio-18 e deutério foram medidos no Laboratório de Física Nuclear Aplicada do Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia, com erro analítico de $\pm 1,0 \text{ ‰}$ para o δD e de $\pm 0,1 \text{ ‰}$ para o $\delta^{18}O$.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

De um conjunto de dez poços na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira (Tabela 1) seis foram amostrados para análise dos isótopos estáveis, oxigênio-18 e deutério; um poço está localizado na Sub-bacia Riacho do Meio (P6) e os demais, na Sub-bacia Riacho do Rosário. Os resultados estão mostrados no Tabela 2 juntamente com as condutividades elétricas das amostras. Considerando que as chuvas atuais da região têm valores médios de aproximadamente $\delta^{18}O = -3,0 \text{ ‰}$ e $\delta D = -18 \text{ ‰}$, os valores de $\delta^{18}O$ dos poços indicam águas levemente evaporadas mostrando que a recarga acontece através dos riachos de cada sub-bacia.

A Figura 3 mostra que a relação entre δD e $\delta^{18}O$ destas amostras de água subterrânea é uma reta com um coeficiente angular 4,8, bem diferente da GMWL, indicando que elas sofreram processos de evaporação. A figura mostra também a reta meteórica com coeficiente angular igual a 8 para águas que não evaporaram. O ponto mais separado dos demais é a medida do poço P6, na sub-bacia Riacho do Meio. Este poço obviamente recebe recarga por águas superficiais sujeitas à evaporação elevada. Relacionando a condutividade elétrica com as medidas de $\delta^{18}O$ e de δD o poço P6 também se separa dos demais na outra sub-bacia como mostra a Figura 4.

Tabela 1. Coordenadas, localização, sub-bacias e profundidade de poços em Lavras da Mangabeira.

Poço	UTMN	UTME	Localização	Bacia	Prof. (m)
P 3	9246709	487539	Sítio Angico	Riacho do Rosário	60
P 4	9248351	498650	Sítio Calabaço	Riacho do Meio	70
P 6	9250367	502177	Sítio Logradouro	Riacho do Meio	62
P 8	9250516	498827	Sítio Barro Branco	Riacho do Meio	60
P 9	9245579	489986	Varas 1	Riacho do Rosário	80
P 11	9246684	491657	Tabuleiro Alegre	Riacho do Rosário	64
P 13	9250452	504236	Ass. Sítio Logradouro	Riacho do Meio	155
P 22	9245479	487265	Areias	Riacho do Rosário	60
P 24	9249568	489850	Sítio Limoeiro	Riacho do Rosário	68
P 27	9245289	489383	Sítio Varas 2	Riacho do Rosário	60

Tabela 2. Medidas dos isótopos oxigênio-18 e deutério e da condutividade elétrica em poços de Lavras da Mangabeira.

Poço	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Poço	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
LM003	-3,1	-17,9	1111	LM022	-3,0	-17,1	133
LM006	-0,2	-3,6	914	LM024	-2,2	-13,7	476
LM011	-2,2	-12,7	964	LM027	-2,6	-14,5	210

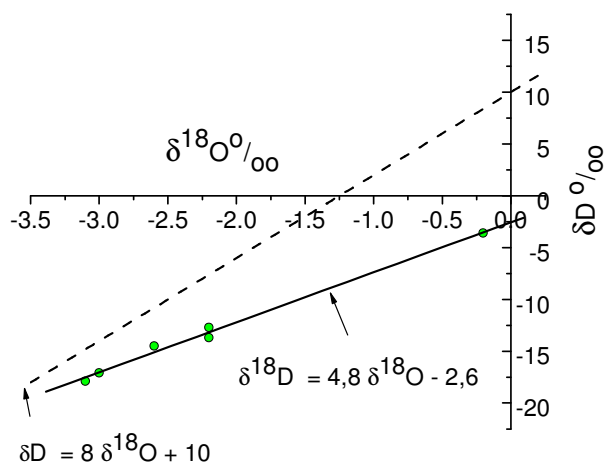


Figura 3. δD versus $\delta^{18}\text{O}$ de amostras de águas subterrâneas.

Os resultados das análises hidroquímicas dos dez poços da Tabela 1 estão mostrados na Tabela 3 (para a 4ª coleta) e apresentados no diagrama de Piper (Figura) 5. As águas são predominantemente bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas mistas, características estas de recargas recentes. Considerando os valores máximos permitidos para as águas potáveis determinados pela Portaria n.º 518 do Ministério da Saúde, as águas são potáveis com exceção da amostra do P14, pela concentração de nitrato acima de 45 mg/L.

Tabela 3. Concentrações, em mg/L, de cátions e ânions para a 4ª coleta.

Poço	Concentração (mg/L)								CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^-	HCO_3^-	NO_3^-	
P3	73,7	35,8	82,2	30,0	157,2	29,1	183,7	179,2	1111
P4	23,5	32,5	194,2	3,5	83,1	8,1	695,3	4,6	1095
P6	33,7	47,1	115,4	3,5	57,0	16,9	596,2	0,5	914
P8	32,9	18,4	110,7	3,5	69,6	0,6	379,4	25,5	743
P9	58,8	26,9	70,1	10,1	102,4	1,2	150,5	26,3	840
P11	49,4	54,7	88,5	6,8	86,0	24,1	517,9	31,9	964
P13	15,7	13,2	70,1	3,5	20,3	4,9	271,0	14,5	412
P22	4,7	2,4	15,1	19,2	22,2	0,4	36,1	11,6	133
P24	18,0	40,1	28,9	3,5	54,1	1,9	231,8	16,8	476
P27	6,3	7,1	17,7	11,6	15,5	4,7	72,3	32,4	210

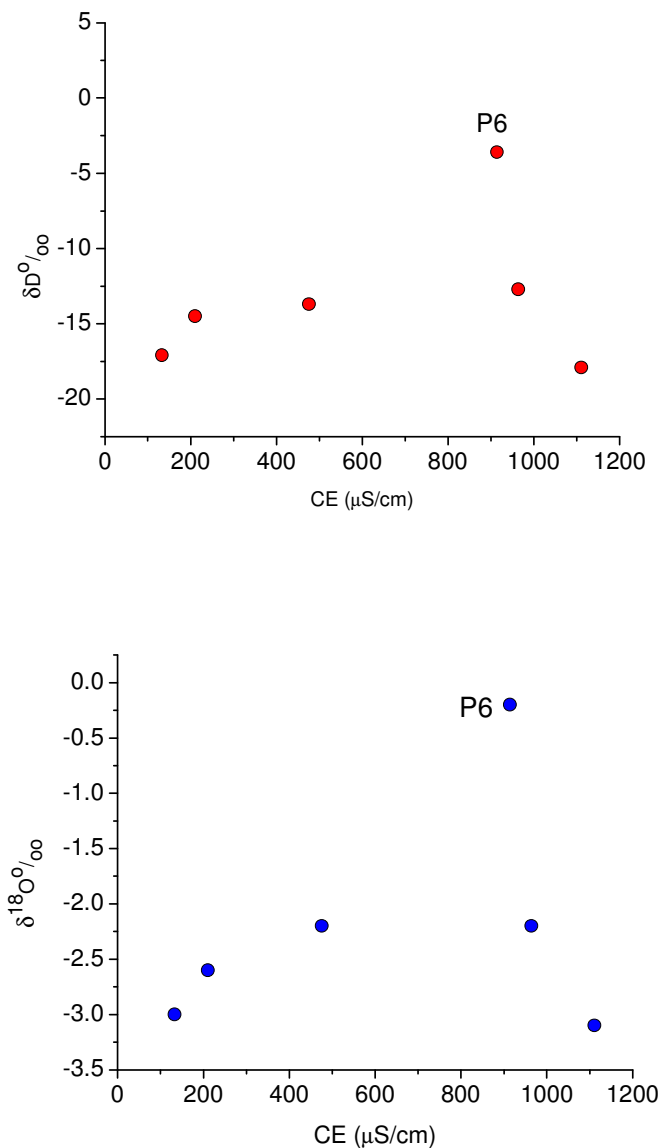


Figura 4. δD versus $\delta^{18}\text{O}$ de amostras de águas subterrâneas.

Os dez poços foram amostrados em quatro coletas, coleta 1, em outubro de 2005, coleta 2, em dezembro de 2005, coleta 3, em abril de 2006 e coleta 4, em julho de 2006. Embora as sub-bacias sejam vizinhas, elas armazenam águas hidroquimicamente diferentes, como se pode observar no diagrama de Piper na Figura 5 e na Figura 6 que relaciona cloretos com sódio (Figura 6, Tabela 4); estes resultados são decorrentes de diferentes estratigrafias das duas sub-bacias. O Poço P3 se destaca dos demais. É um poço não instalado; portanto, a concentração salina é a da água armazenada no poço, e não necessariamente do aquífero.

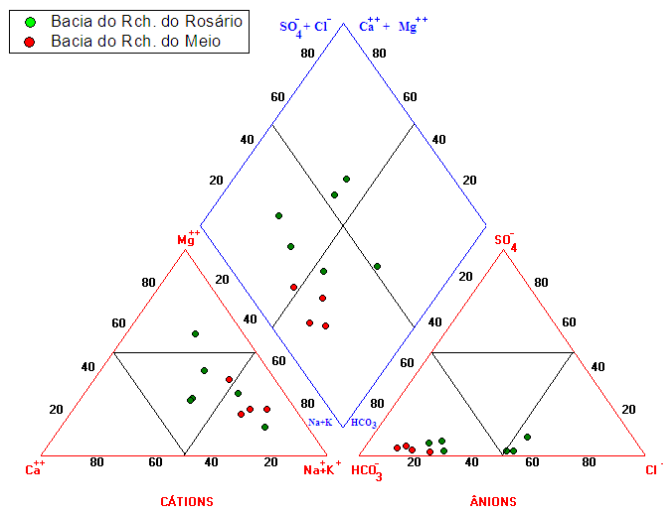


Figura 5. Diagrama de Piper.

Tabela 4. Concentrações de cloretos e sódio em quatro coletas.

Poço	Cl ⁻ (mg/L)				Na ⁺ (mg/L)			
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4
P3	240,1	291,31	290,3	157,5	96,0	115,4	108,4	82,2
P4	-	87,5	45,2	83,1	-	198,7	172,7	194,2
P6	-	57,7	57,7	57,0	-	108,4	108,4	115,4
P8	-	92,3	45,2	69,6	-	144,2	76,1	110,7
P9	-	-	-	102,4	-	-	-	70,1
P11	-	-	-	86,0	-	-	-	88,5
P13	-	-	-	20,3.	-	-	-	70,1
P22	17,4	18,3	23,1	22,2	13,8	11,3	14,4	15,1
P24	53,6	60,6	32,7	54,1	24,6	24,6	26,0	28,9
P27	10,6	11,5	16,3	15,5	14,7	11,9	14,4	17,7

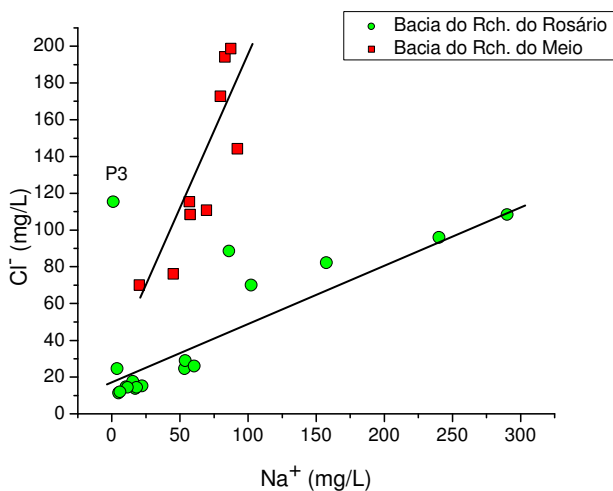


Figura 6. Concentração de cloretos versus concentração de sódio.

6 - CONCLUSÕES

Sob o aspecto de concentração dos íons maiores, as subterrâneas em Lavras da Mangabeira são potáveis e provenientes de recargas recentes por sua característica dominante de água bicarbonatada pelos valores de oxigênio-18 e deutério. Embora sejam águas que evaporaram suas concentrações salinas não atingiram valores elevados de salinidade com exceção das águas do poço P6 que não está instalado.

As duas bacias, Riacho do Rosário Meio e Riacho do Meio, têm diferentes processos de salinização indicados pelas concentrações de cloretos versus sódio com as águas da Bacia do Riacho do Meio atingindo valores de sódio mais elevados.

A recarga é feita através dos riachos de cada sub-bacia onde as águas evaporam antes de chegar ao aquífero.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP pelo apoio financeiro, à CPRM e à UFC pelo apoio logístico.

BIBLIOGRAFIA

CRAIG, H. 1961 a. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science* 133: 1702- 1703.

FRITZ, P. & FONTES, J. CH. (eds.) 1980. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam. 322p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) 2003. Anuário Estatístico de 2003. Rio de Janeiro.

IPLANCE (Fundação Instituto de Planejamento do Ceará) 1997. *Atlas do Ceará – Governo do Estado do Ceará*, Secretaria de Planejamento e Coordenação – SEPLAN. 1997. 65p.

PONTE, F. C., DINO, R., ARAI, M & SILVA-TELLES, JR. A. C. da. 1990. *Geologia das bacias de Lavras da Mangabeira e do remanescente sedimentar do Rio dos Bastiões, no Estado do Ceará*. Petrópolis, – RJ, 1990. PETROBRAS-CENPES-DIVEX-SEBIPE.

ROZANSKI, C.; ARÁGUAS-ARÁGUAS, L.; GONFIANTINI, R. 1933. Isotopic patterns in modern global precipitation. In: *Continental Isotope Indicators of Climatic; American Geophysical Union Monograph*.

SRH, 1992. *Plano Estadual de Recursos Hídricos – Diagnóstico* (v. 1); *Estudos de Base I* (v. 2); *Estudos de Base II* (v. 3); *Planejamento* (v. 4). Fortaleza, CE.