



**Universidade Federal do Ceará  
Departamento de Física**

# **Isótopos ambientais na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira**

**Maria Marlúcia Freitas Santiago  
Carla Maria Salgado Vidal Silva  
Horst Frischkorn  
Josué Mendes Filho**

Fortaleza, setembro de 2007

## ÍNDICE

Índice	2
Lista de Figuras	2
Lista de Tabelas	2
1. Introdução	3
2. Interpretação dos resultados	4
3. Conclusões	7
4. referências Bibliográficas	7

### LISTA DE FIGURAS

1. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar em Lavras da Mangabeira.	4
2. $\delta D$ versus $\delta^{18}O$ em águas subterrâneas do Cariri.	6
3. $\delta^{18}O$ versus condutividade elétrica (CE) de amostras de águas subterrâneas.	6

### LISTA DE TABELAS

1. Resultados de análises isotópicas de águas subterrâneas em Lavras da Mangabeira	5
--	---

## 1. Introdução

O hidrogênio e o oxigênio que fazem parte da molécula da água. Apresentam, cada um deles, três formas isotópicas diferentes; o hidrogênio:  $^1\text{H}$ , D ( $^2\text{H}$ ) e T ( $^3\text{H}$ ) e o oxigênio:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ . Por isso, a água pode ser encontrada em formas isotópicas diferentes, sendo as mais abundantes  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  e  $\text{HD}^{16}\text{O}$ . As abundâncias relativas (em %) médias destas três moléculas da água são, respectivamente:

$$99,73; 0,20; 0,032$$

Portanto, a quantidade de moléculas  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  e  $\text{HD}^{16}\text{O}$  é muito pequena em relação à quantidade de moléculas  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ , porém varia dependendo da origem da água e de processos que ocorrem durante o seu deslocamento e de seu armazenamento superficial. Assim, estas moléculas marcam a água e são usadas como traçadores para pesquisar a história da água.

Os resultados são dados 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  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ou  $\text{D}/^1\text{H}$ , respectivamente, da amostra e  $R_p$  seu valor para uma água padrão “VSMOW” (Viena Standard Mean Ocean Water da IAEA em Viena /Áustria).

O valor de  $\delta$  mede, portanto, o enriquecimento (ou o empobrecimento, quando  $< 0$ ) no isótopo pesado na amostra em relação ao padrão. É importante que, devido à grande predominância do isótopo mais leve ( $^1\text{H}$  ou  $^{18}\text{O}$ ), o  $\delta$  comporta-se como uma concentração em misturas de águas de valores de  $\delta$  diferentes (i.e. segue uma reta de mistura).

Os aspectos mais importantes para interpretar os dados obtidos são:

- As chuvas modernas na região apresentam valores médios ponderados em torno de  $\delta^{18}\text{O} = -4 \text{‰}$  e  $\delta\text{D} = -14 \text{‰}$ .
- Paleoáguas com idade maior que  $\approx 10.000$  anos são marcadas por um clima mais frio no final do Pleistocênio apresentando  $\delta^{18}\text{O}$  em torno de  $-6 \text{‰}$  ( $\delta\text{D}$  de aproximadamente  $-38 \text{‰}$ ).
- Águas que sofreram evaporação mostram em enriquecimento nos isótopos mais pesados e apresenta, portanto,  $\delta$  significativamente elevado em relação aos das águas pluviais.

A determinação do oxigênio-18 ( $^{18}\text{O}$ ) e do deutério (D) na água dá excelente contribuição no estudo do ciclo hidrológico. Relacionando estes dois isótopos, Craig (1961) observou que as águas naturais guardam uma relação do tipo  $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$  e que, se águas sofrem evaporação, apresentam uma relação também linear, mas com coeficiente angular menor do que 8. Especialmente nas regiões onde as águas subterrâneas são muito salinas é possível identificar se a concentração salina decorre do processo de evaporação ou de processos internos do aquífero.

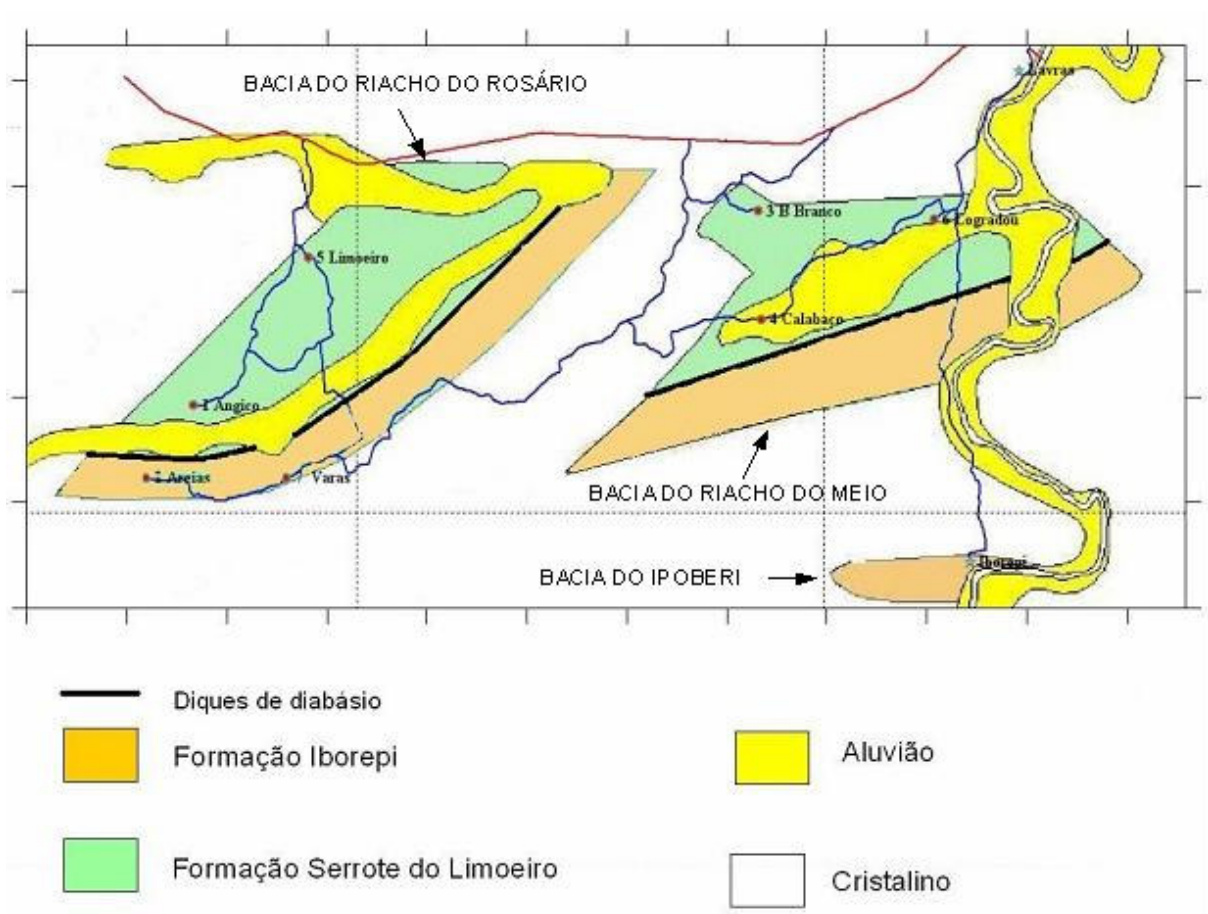
Como as águas ficam marcadas pelos isótopos, as águas subterrâneas que não evaporaram antes da infiltração guardam as características isotópicas das águas de chuva, se a infiltração não ocorre através de um reservatório superficial. Água subterrânea que recebe contribuição de reservatórios superficiais fica marcada pelo efeito (de elevação da concentração dos isótopos pesados) da

evaporação nas águas dos reservatórios. Assim, com estes isótopos é possível identificar interações água superficial/ água subterrânea.

As medidas de oxigênio-18 e de deutério foram feitas por Espectrometria de Massa no Laboratório de Física Nuclear Aplicada – Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia. O erro das medidas é de  $\pm 1 \text{‰}$  para o hidrogênio e de  $\pm 0,1 \text{‰}$  para o oxigênio.

## 2. Interpretação dos resultados

As localizações dos pontos amostrados, para análise dos isótopos, oxigênio-18 e deutério, estão mostradas na Figura 1 e os resultados das análises estão apresentados na Tabela 1.



**Figura 1. Localização dos poços amostrados na Bacia Sedimentar em Lavras da Mangabeira.**

**Tabela 1. Resultados de análises isotópicas de águas subterrâneas em Lavras da Mangabeira**

Poço	Local	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta\text{D}$ (‰)	Prof. (m)	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
03	Angico	-3,1	-17,9	60	1111
13	Associação -Logradouro	-0,2	-3,6	209	412
22	Areias	-3,0	-17,1	60	133
24	Limoeiro	-2,2	-13,7	42	476
11	Tabuleiro Alegre	-2,2	-12,7	64	964
27	Varas 2	-2,6	-14,5	60	210

Do conjunto dos poços na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira seis foram amostrados para análise dos isótopos estáveis, oxigênio-18 e deutério; um poço está localizado na Sub-bacia Riacho do Meio (P13) e os demais na Sub-bacia Riacho do Rosário. Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) encontram-se no intervalo de -3,1 a -0,2 e de  $\delta\text{D}$  (‰) de -17,9 a -3,6 (Tabela 1). Considerando que as chuvas atuais na região têm em média  $\delta^{18}\text{O} = -3,2$  ‰ e  $\delta\text{D} = -15,6$  ‰ os valores isotópicos nas águas dos poços indicam águas evaporadas.

A Figura 2 mostra que a relação entre  $\delta\text{D}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  destas amostras de água subterrânea é uma reta com coeficiente de correlação  $R = 0,96$ , expressa por,

$$\delta\text{D} = 4,8 \delta^{18}\text{O} - 2,6$$

O coeficiente angular 4,8 também indica que as águas sofreram processos de evaporação. Esta figura mostra a Reta Meteorica Mundial (Craig, 1961),

$$\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$$

Este valor de coeficiente angular igual a 8 corresponde à águas que não evaporaram. O ponto mais separado dos demais é a medida do poço na sub-bacia Riacho do Meio.

Adotando o gradiente evaporimétrico encontrado por Santiago (1984) para a região como sendo,

$$\Delta\delta^{18}\text{O} / \Delta f \approx 1,3\text{‰}/10\%$$

(onde  $f$  é a fração de água remanescente) o valor de  $\delta^{18}\text{O}$  igual a -0,2‰ do poço 13 significa um enriquecimento da água em  $^{18}\text{O}$  pela evaporação de 23% do volume de água. Nos poços da Sub-bacia Riacho do Rosário a evaporação foi de 1 a 8% do volume.

Relacionando a condutividade elétrica com as medidas de  $\delta^{18}\text{O}$ , este poço (13) também se separa dos demais (Figura 3) mostrando que este isótopo está discriminando os diferentes sistemas aquíferos.

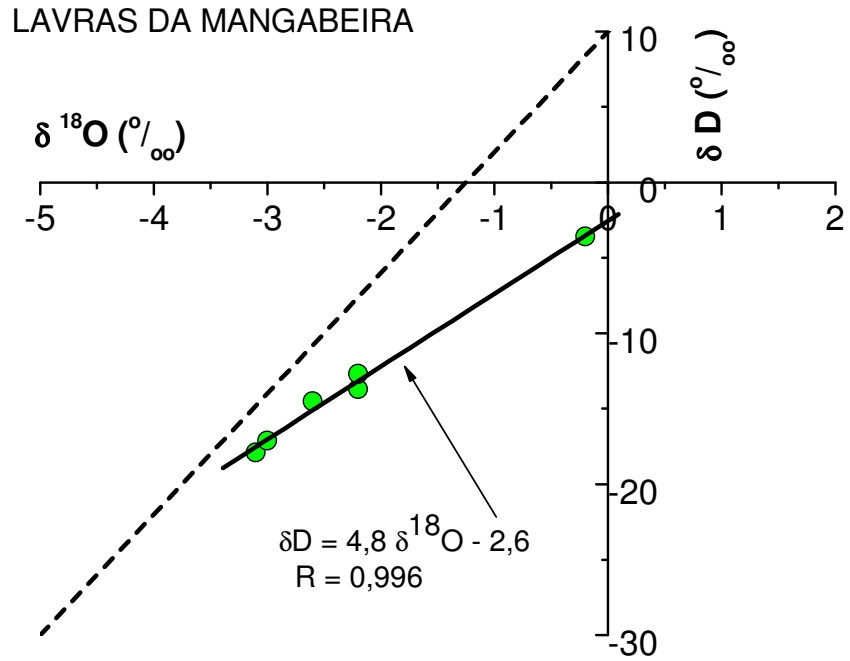


Figura 2.  $\delta\text{D}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$  em águas subterrâneas do Cariri.

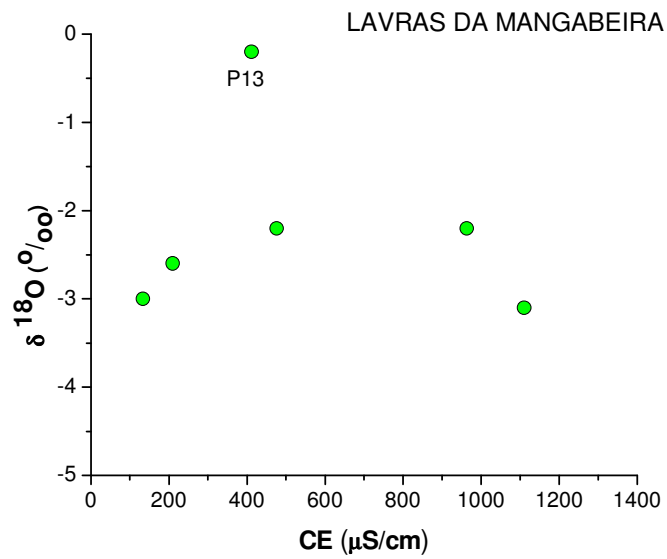


Figura 3.  $\delta^{18}\text{O}$  versus condutividade elétrica (CE) de amostras de águas subterrâneas.

### 3. Conclusões

Com as medidas de oxigênio-18 e deutério em águas de 06 poços localizados na Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira pode-se concluir que:

São águas de chuva que sofreram evaporação.

A evaporação é um processo importante para a salinidade das águas armazenadas nesta bacia sedimentar.

Embora as variações com o tempo das concentrações iônicas reflitam recarga no período chuvoso, ou seja, recargas recentes, as suas salinidades não são baixas (como acontece na maioria dos poços na Bacia Sedimentar do Cariri) por causa da evaporação.

Nesta bacia, a salinidade das águas é decorrente principalmente da evaporação que predomina sobre os processos geoquímicos ocorridos durante a permanência da água no aquífero.

### 4. Referências Bibliográficas

CRAIG, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science 133: 1702.

SANTIAGO, M.F., MENDES FILHO, J., SILVA, C.M.S.V.; FRISCHKORN.H. **Modelo isotópico da dinâmica dos aquíferos do Cariri.** In: Projeto de Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe, 101p. Ministério de Minas e Energia, Recife. P.89-101, 1996.