

# ISÓTOPOS AMBIENTAIS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE PICOS - PI

**José de Ribamar Xavier Batista<sup>1</sup>, Maria Marlúcia Freitas Santiago<sup>2</sup>,  
Horst Frischkorn<sup>3</sup>, Josué Mendes Filho<sup>2</sup> e Markus Forster<sup>4</sup>**

**Resumo** - Medidas de isótopos ambientais (O-18, D) e de condutividade elétrica foram utilizadas no estudo da água subterrânea captada no município de Picos, no Piauí. Nesta área, os sistemas aquíferos são as formações Serra Grande e Cabeças que constituem também os principais aquíferos regionais separados pela formação Pimenteiras, um aquitarde. Foram amostrados vinte poços ao longo do rio Guaribas e de seus afluentes. Foram determinadas a condutividade elétrica que varia na faixa de 286  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1977  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e feitas medidas de oxigênio-18 e de deutério, cujas faixas de variação são respectivamente de  $-2,3 \text{‰}$  a  $-5,5 \text{‰}$  e de  $-10,8 \text{‰}$  a  $-33,5 \text{‰}$ . Os resultados permitem identificar a origem, com relação ao sistema aquífero explorado, de cada água amostrada.

**Palavras-chave** - Água Subterrânea, Isótopos Ambientais, Qualidade de Água, Picos - Pi.

## INTRODUÇÃO

A área de Picos, no Piauí, vem sendo estudada sob o aspecto de reconhecimento hidrogeológico desde 1955 quando Kegel (1955) fez um levantamento do potencial hidrogeológico da porção oriental da Bacia do Parnaíba, sendo seguido, em 1965 por um trabalho de Koatz et al. (1965) sobre as disponibilidades de água subterrânea em Picos.

<sup>1</sup> Depto. de Física – UFPI, Campus Ministro Petrônio Portella Nunes, CEP.: 64.048-550 - Teresina - Pi - Brasil

<sup>2</sup> Depto de Física – UFC - Campus do Pici, Caixa Postal 6030 - CEP.: 60.451-970 - Fortaleza - CE – Brasil - Telefone: (085) 288 9913 - Fax: (085) 287-4138 - E-mail: marlucia@fisica.ufc.br

<sup>3</sup> Depto de Engenharia Hidráulica e Ambiental – UFC

<sup>4</sup>Hydroisotop GmbH – Alemanha. E-mail: [Hydroisop@T-Online.de](mailto:Hydroisop@T-Online.de)

Neste trabalho também foram discutidos os aspectos econômicos e pedológicos com vistas ao aproveitamento dos recursos de água subterrânea para irrigação.

Outros trabalhos continuaram a ser feitos na área, destacando-se, entre eles, os de hidrogeologia isotópica que foram desenvolvidos por Santiago et al. (1981), Geyh et al. (1991) e Frischkorn e Santiago (1992), através dos quais, foi descoberta uma mudança climática ocorrida a cerca de 12.000 anos antes de hoje, quando então a temperatura aumentou cerca de 5<sup>o</sup>C e a pluviosidade diminuiu em torno de 30%.

Neste trabalho utilizamos medidas de oxigênio-18, deutério e condutividade elétrica para identificar os sistemas aquíferos explorados por cada poço amostrado, reafirmando a importância dos isótopos ambientais nos estudos dos recursos hídricos, em especial nas águas subterrâneas.

## **GEOLOGIA**

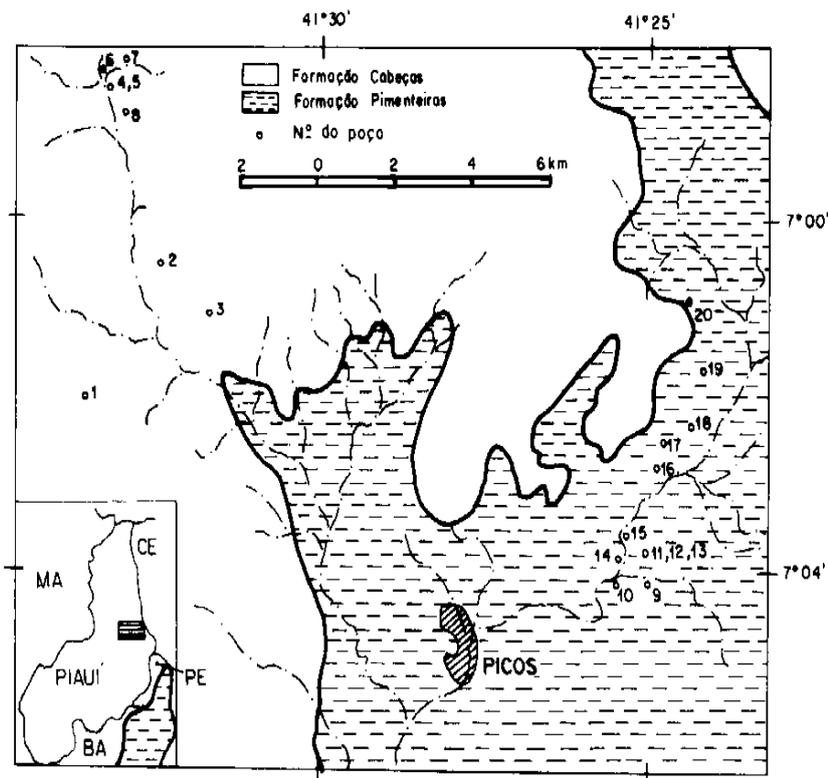
A área deste trabalho compreende o município de Picos, no centro leste do Estado do Piauí, mostrada na figura 1. Nesta área, a seqüência estratigráfica é representada principalmente pelas formações Serra Grande e Pimenteiras, do Devoniano Inferior e pela formação Cabeças, do Devoniano Médio, que compõem a borda oriental da bacia sedimentar Piauí – Maranhão (Figura 2).

Também estão presentes, na área, rochas intrusivas básicas, diabásio do Jurássico - Triássico e sedimentos recentes, representados, principalmente pelos aluviões do rio Guaribas.

A formação Serra Grande consiste de camadas espessas de arenitos médios a grosseiros repousando em discordância angular sobre o embasamento cristalino Pré-Cambriano e seu fácies é característico de ambiente fluvial ou costeiro.

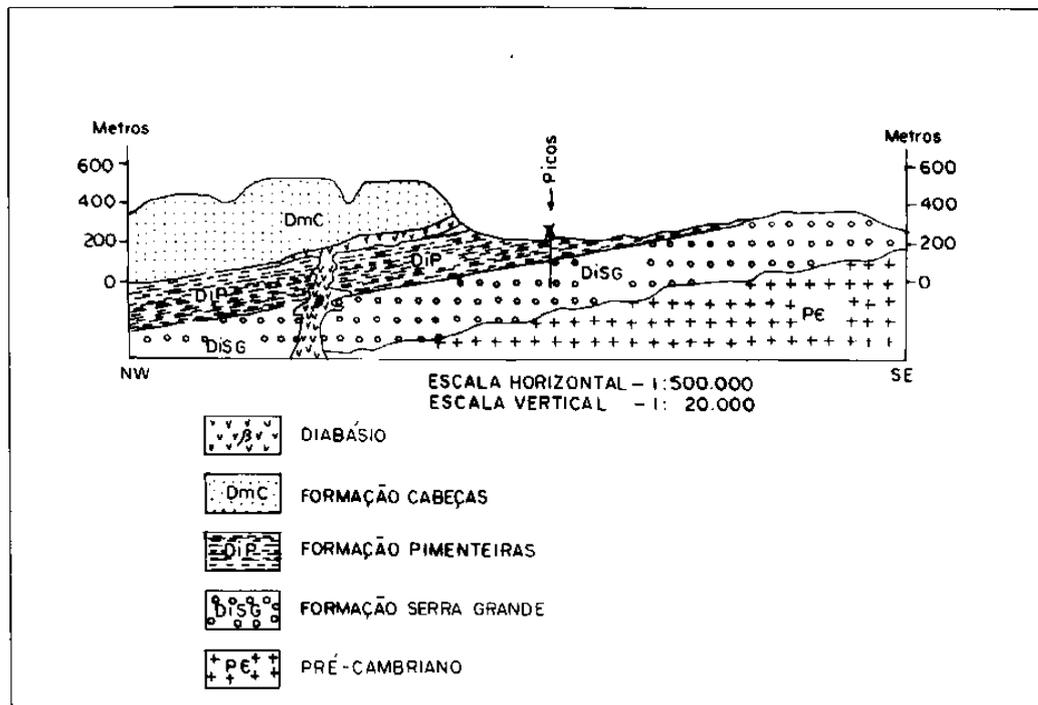
Litologicamente, a formação Pimenteiras é uma sucessão de folhelhos, siltitos e arenitos, apresentando fina estratificação de camadas. Ela aflora na parte leste da área, sendo parcialmente recoberta pelo manto aluvial e, a oeste, pelos sedimentos arenosos da formação Cabeças.

Esta formação é uma seqüência constituída principalmente de arenitos finos a grosseiros e ocorre sobreposta à formação Pimenteiras. A



**Figura 1** – Mapa da área de pesquisa com localização dos poços amostrados no município de Picos e indicação das formações geológicas.

passagem da formação Cabeças à formação Pimenteiras é transicional e forma a linha de escarpas abruptas na direção N-S.



**FIGURA 2** – Corte geológico esquemático em Picos – Piauí.

Fonte: Cruz e França (1967).

## ÁGUA SUBTERRÂNEA

A exceção do diabásio que no geral não produz água ou produz pouca, todas as formações que ocorrem na área de Picos produzem água subterrânea. O principal aquífero é representado pelo sistema Serra Grande aflorando à leste, confinado pela formação Pimenteiras, na área de estudo.

A formação Pimenteiras tem característica de um aquífero mas armazena pequena quantidade de água nos arenitos intercalados nos folhelhos e siltitos argilosos. A qualidade de suas águas é muito inferior à do aquífero Serra Grande (CRUZ e FRANÇA, 1967). A formação Cabeças é outro importante aquífero; sua área de recarga localiza-se a oeste da área deste trabalho.

Os aluviões do rio Guaribas contribuem para fornecimento de água, principalmente para as culturas de vazante. Este rio é temporário, com fluxo superficial somente no período chuvoso; mas segundo Cruz e França ele parece ser realimentado pelos aquíferos Pimenteiras e Serra Grande.

## MEDIDAS ISOTÓPICAS

Os resultados das medidas isotópicas são expressos em “delta por mil”, que representa a diferença relativa das razões isotópicas ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ou  $\text{D}/^1\text{H}$ ) na amostra em relação à razão isotópica em um padrão internacional (VSMOW), sendo definido, no caso de O-18, por:

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{amostra}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{padrão}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{padrão}}} \times 10^3$$

Frisamos que as chuvas atuais na região têm valores em torno de  $\delta^{18}\text{O} \approx -3,5\text{‰}$  e de  $\delta\text{D} \approx -20\text{‰}$ . Valores significativamente mais baixos que estes testemunham a presença de paleoáguas provenientes de chuvas ocorridas há mais que  $\approx 10.000$  anos antes de hoje, quando aconteceu uma elevação da temperatura atmosférica de aproximadamente  $5^\circ\text{C}$ . Nesta época, em poucos mil anos, os valores isotópicos se elevaram de  $\delta^{18}\text{O} \approx -6\text{‰}$  e  $\delta\text{D} \approx -40\text{‰}$  (no Pleistocênio) para os atuais (holocênicos) citados acima.

## RESULTADOS

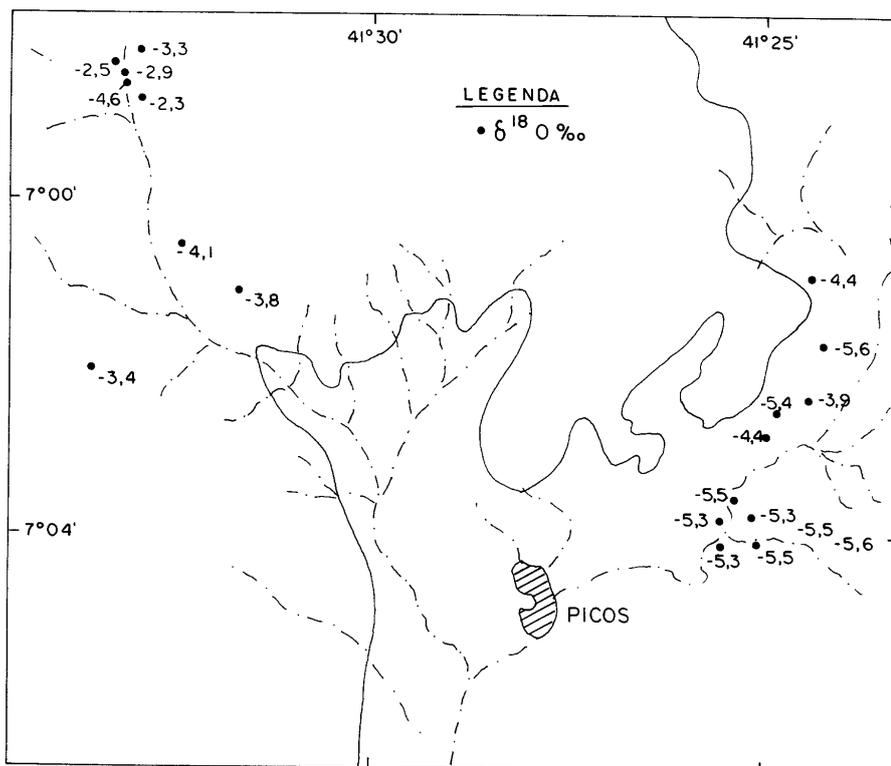
Os resultados das medidas isotópicas e de condutividade elétrica estão apresentados na tabela 1 juntamente com a profundidade dos poços. Sob o aspecto de condutividade, as águas apresentam uma larga faixa de variação, entre  $286 \mu\text{S}/\text{cm}$  e  $1977 \mu\text{S}/\text{cm}$ , não permitindo identificar o sistema explorado através deste parâmetro. As medidas isotópicas apresentam faixas de variação de  $-2,3\text{‰}$  a  $-5,6\text{‰}$  para o oxigênio-18 e de  $-10,8\text{‰}$  a  $-33,5\text{‰}$  para o deutério.

Colocando no mapa de localização os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (Figura 3), que foram levantados em maior número do que os de deutério, observa-se que os mais elevados são encontrados na região onde aflora a formação Cabeças. São os poços de números 1 a 8 na tabela 1. Trata-se basicamente de águas holocênicas. Somente nos poços 2 e 5, com  $\delta^{18}\text{O}$  de  $-4,1\text{‰}$  e  $-4,6\text{‰}$ , respectivamente, é notável uma contribuição de águas pleistocênicas.

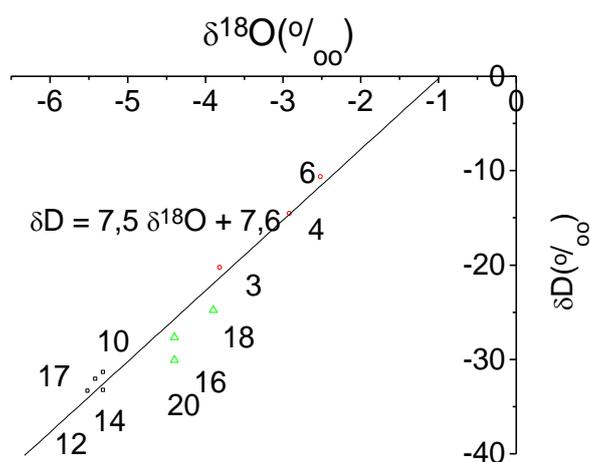
**Tabela 1** – Localização, condutividade elétrica (CE), oxigênio-18, deutério e profundidade

<b>Nº</b>	<b>Localidade</b>	<b>CE (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>	<b><math>\delta^{18}\text{O}</math> (<math>\text{‰}</math>)</b>	<b><math>\delta\text{D}</math> (<math>\text{‰}</math>)</b>	<b>Prof. (m)</b>
01	Saco Grande	540	-3,4	-	550
02	Lagoa dos Félix	335	-4,1	-	140
03	Pov. Junco	286	-3,8	-20,4	-
04	Croatá I	813	-2,9	-14,7	112
05	Croatá II	542	-4,6	-	-
06	Croatá III	984	-2,5	-10,8	117
07	Croatá IV	716	-3,3	-	113
08	Croatá V	736	-2,3	-	110
09	Ponta D'água I	397	-5,5	-	150
10	Ponta D'água II	528	-5,3	-31,5	140
11	Ponta D'água III	495	-5,3	-	150
12	Ponta D'água IV	786	-5,5	-33,5	150
13	Sipaúba I	376	-5,6	-	150
14	Sipaúba II	382	-5,3	-33,4	180
15	Sipaúba III	371	-5,5	-	120
16	Lagoa Grande I	1977	-4,4	-27,7	150
17	Lagoa Grande II	361	-5,4	-32,2	130
18	Piçarreira	1183	-3,9	-24,8	130
19	Suçupara	347	-5,6	-	-
20	Vila Nova	1670	-4,4	-30,1	150

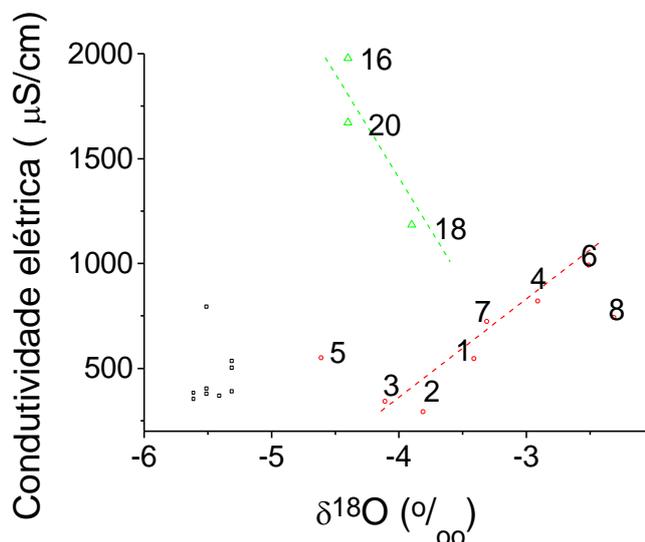
Na parte leste desta área os valores são bem mais baixos indicando, assim, mistura de paleoáguas (pleistocênicas) com águas recentes, predominando a componente velha. Plotando um gráfico de  $\delta\text{D}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$  (Figura 4) identifica-se os mesmos tipos de água: os poços 10, 12, 14 e 17 apresentam paleoáguas, os poços 3, 4 e 6 tem águas recentes e os poços 16, 18 e 20 produzem misturas dos dois grupos anteriores.



**Figura 3** – Distribuição espacial de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰).



**FIGURA 4** -  $\delta^{18}\text{O}$  em função de  $\delta\text{D}$  em poços no município de Picos



**FIGURA 5** - Condutividade elétrica em função de  $\delta^{18}\text{O}$  em poços no município de Picos

O gráfico de condutividade elétrica versus  $\delta^{18}\text{O}$  (Figura 5) é mais conclusivo em relação à origem das águas; separa melhor os agrupamentos e permite representar todas as amostras, já que estes dois parâmetros foram determinados para todos os poços.

No centro esquerdo inferior encontra-se as paleoáguas com  $\delta^{18}\text{O} \ll -3,5\text{‰}$ , exploradas na zona de afloramento do aquífero Pimenteiras, com salinização mediana. São os poços 9 a 20, com exceção dos poços 16, 18 e 20 que formam um agrupamento no centro superior da figura 5 e tem a condutividade elétrica variando inversamente com  $\delta^{18}\text{O}$ .

Estes três poços destacam-se pelos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  mais elevados e sobretudo, pela salinização elevada (com  $\text{CE} > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Destacam-se, também pelo caráter químico de suas águas: enquanto todos os poços restantes produzem águas bicarbonatadas, as águas dos poços 16, 18 e 20 são cloretadas, característica atribuída por KEGEL (1955) às águas provenientes de armazenamento nos arenitos entre folhelhos argilosos da formação Pimenteira. Identificamos, então, as amostras 16, 18 e 20 como águas da formação Pimenteiras.

Um terceiro agrupamento, compreendendo os poços 1 a 9, na porção inferior direita da figura 5, relaciona positivamente a condutividade elétrica e  $\delta^{18}\text{O}$ , representa águas que são enriquecidas, simultaneamente, em O-18 e sais, característica esta produzida pelo processo de evaporação. Encontramos as mesmas relações no aquífero Rio da Batateira, no Vale do Cariri, onde ele está coberto por aluviões (SILVA et al. 1996).

Trata-se de água superficial que recarrega o aquífero, sujeita à evaporação antes da infiltração, e misturada com água subterrânea ou trata-se do efeito de evaporação sobre a água subterrânea emergente de aquíferos mais profundos. Estes processos produzem uma correlação positiva entre  $\delta^{18}\text{O}$  e CE e é difícil identificar qual deles ocorreu. Porém, neste caso, pelo ambiente de paleoáguas exploradas na área e sobretudo por causa das observações de KEGEL (1955) sobre a relação de fluxo de base dos rios com os aquíferos profundos, deve estar ocorrendo o segundo processo.

## **CONCLUSÕES**

As medidas isotópicas identificaram a presença de paleoáguas armazenadas no sistema aquífero Serra Grande e a presença de águas armazenadas nos arenitos entre folhelhos argilosos da formação Serra Grande.

As águas subterrâneas na formação Cabeças são, na maioria, do holocênio tendo também águas de mistura com paleoáguas do pleistocênio. As águas na formação Pimenteiras são cloretadas se distinguindo das demais que são bicarbonatadas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem às instituições FUNCAP, CNPq, SEPLAN-Pi, pelas condições para realização deste trabalho, aos laboratórios do CENA, Piracicaba, pelas análises de oxigênio-18 e deutério, ao LASO/UFPI e ao Laboratório de Solos da UFC, pelas análises hidroquímicas.

## REFERÊNCIAS

- CRUZ, W.B e FRANÇA, H.P.M - 1967 - Água subterrânea sob condições artesianas na área de Picos - Piauí. SUDENE. Hidrogeologia 16, 79p.
- FRISCHKORN, H. and SANTIAGO, M.M.F. –1992-The Paleoclimate of Northeast of Brazil according to isotope Hydrology. In: Impacts of Climatic Variations and Sustainable Development in Semi-arid Regions (ICID), Fortaleza, 27/01 a 01/02/1992, 18 p.
- GEYH, M. A.; STUTE, M.; FRISCHKORN, H. e SANTIAGO, M.M.F. –1991- Contribuição para a história climática do Nordeste do Brasil. In: Base para o futuro: 20 anos de Cooperação Científica e Tecnologia Ed. KFA, Jülich, Alemanha, p. 159 - 162,.
- KEGEL, W. -1955- Águas Subterrâneas no Piauí. DNPM, Rio de Janeiro. Boletim 156, 60p.
- KOATZ, R.; FERREIRA, A. S.; TENÓRIO, J. A. -1965- Reconhecimento das disponibilidades de água subterrânea em Picos - Pi. DNOCS. Boletim 11, 23p.
- SANTIAGO, M. F.; RÄDE, H; TORQUATO, J.R. E GARRETT, L. –1981- Idade e movimento das águas subterrâneas na região de Picos - Piauí (Bacia do Parnaíba) e sua evolução hidroquímica. In: Estudos Hidrológicos do Nordeste. BNB. Série monografia, 3: 73-100.
- SILVA, C.M.V.; SANTIAGO, M.F.; H. FRISCHORN e MENDES FILHO, J. – 1996 – Distinção entre águas dos aluviões e águas profundas nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte – Ce. Anais do IX Congr. Bras. Ág. Subt. 75-77.