

**Coutinho, R., P. M. Carreira, C. Almeida, A. M. Monge  
Soares, M. C. R. Vieira, M. R. Carvalho, J. V. Cruz  
(1996)**

**Estudo Isotópico dos Sistemas Aquíferos do Maciço das  
Sete Cidades, S. Miguel – Resultados Preliminares**

Recursos Hídricos, vol. 17, p. 25-32.

# ESTUDO ISOTÓPICO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DO MACIÇO DAS SETE CIDADES, S. MIGUEL - RESULTADOS PRELIMINARES

## *ISOTOPIC STUDY OF THE AQUIFER SYSTEMS FROM MACIÇO DAS SETE CIDADES, S. MIGUEL - PRELIMINARY RESULTS*

Rui Coutinho

Geólogo, Departamento de Geociências e Centro de Vulcanologia da Universidade das Ações, membro da APRH n.º 849

P. M. Carreira

Geóloga, Laboratório de Isótopos Ambientais, Departamento de Química do Instituto Tecnológico e Nuclear

C. Almeida

Geólogo, Departamento de Geologia da FCUL - Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, membro da APRH n.º 506

A. M. Monge Soares

Eng. Químico, Laboratório de Isótopos Ambientais, Departamento de Química do Instituto Tecnológico e Nuclear

M. C. R. Vieira

Eng. Química, Laboratório de Isótopos Ambientais, Departamento de Química do Instituto Tecnológico e Nuclear

M. R. Carvalho

Geóloga, Departamento de Geociências e Centro de Vulcanologia da Universidade dos Açores, membro da APRH n.º 762

J. V. Cruz

Geólogo, Departamento de Geociências e Centro de Vulcanologia da Universidade dos Açores, membro da APRH n.º 921

**RESUMO** - Os resultados obtidos através das análises isotópicas ( $\delta^2\text{H}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) realizadas em amostras de água subterrânea colhidas em nascentes e furos, e em três lagoas do Maciço das Sete Cidades (Açores) permitem a identificação de um mecanismo de mistura entre o sistema superficial (lagoas) e os sistemas aquíferos. Por outro lado, os valores observados indi-

cam também a possibilidade de recarga a partir da condensação de nevoeiro que envolve a ilha durante uma grande parte do ano.

Os resultados de trítio determinados nas nascentes localizadas perto do litoral, a cotas relativamente baixas, contrariam o modelo proposto anteriormente de uma circulação local. Os teores em  $^3\text{H}$  apontam para uma área de recarga afastada.

**ABSTRACT** - The results obtained with the isotope analysis ( $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) performed in groundwater samples collected in springs, wells, in a lake and two lakelets at Sete Cidades Massif (Azores), allow the identification of a mixing mechanism between surface water and groundwater. In view of these results there is also the possibility of recharge of the aquifer system by fog that surrounds the island approximately during all the year.

The water of the springs located near the coastline, at low altitude, have a residence time in the order of 5 to 10 years based on the tritium content. The  $^3\text{H}$  values stand for a recharge area located relatively far away from the outlet.

## 1. INTRODUÇÃO

O Maciço das Sete Cidades situa-se no extremo oeste de S. Miguel (Fig. 1), uma das nove ilhas que compõem o arquipélago dos Açores, localizando-se entre as latitudes  $36^\circ 56' - 39^\circ 44'$  norte e as longitudes  $24^\circ 47' - 31^\circ 17'$  oeste.

Na ilha de S. Miguel os sistemas hídricos subterrâneos constituem a principal origem de água para abastecimento público. Os sistemas aquíferos mais importantes localizam-se em materiais piroclásticos e em escoadas lávicas

traquíticas e basálticas (*s.l.*). Um dos aspectos hidrológicos característicos da ilha é a presença de numerosas lagoas, ocupando depressões de aparelhos vulcânicos (crateras e caldeiras).

Na continuação do trabalho iniciado por COUTINHO (1990) procedeu-se à colheita de amostras de água de sistemas superficiais e subterrâneos com vista à caracterização da dinâmica e eventual interacção desses sistemas.

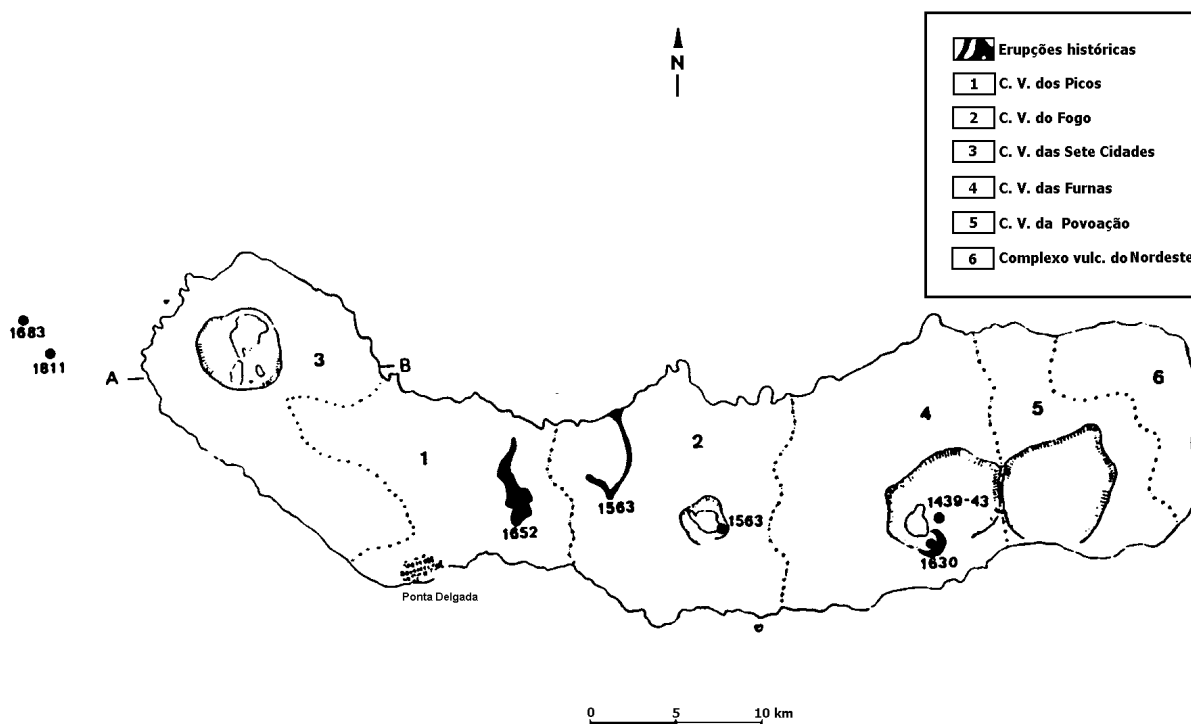


Fig. 1 – Esquema vulcanoestratigráfico da ilha de S. Miguel (modificado de Forjaz, 1984)

## 2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O Maciço das Sete Cidades consta de um estratovulcão com caldeira, constituído por uma alternância de depósitos de fases explosivas e efusivas (Fig. 2).

A sua composição química engloba rochas da série de basaltos alcalinos, sendo os termos mais diferenciados traquitos e traquitos comendíticos (SCHMINKE, 1973).

Relativamente à vulcanoestratigrafia indentificaram-se quatro unidades cuja sequência, do topo para a base, é formada por:

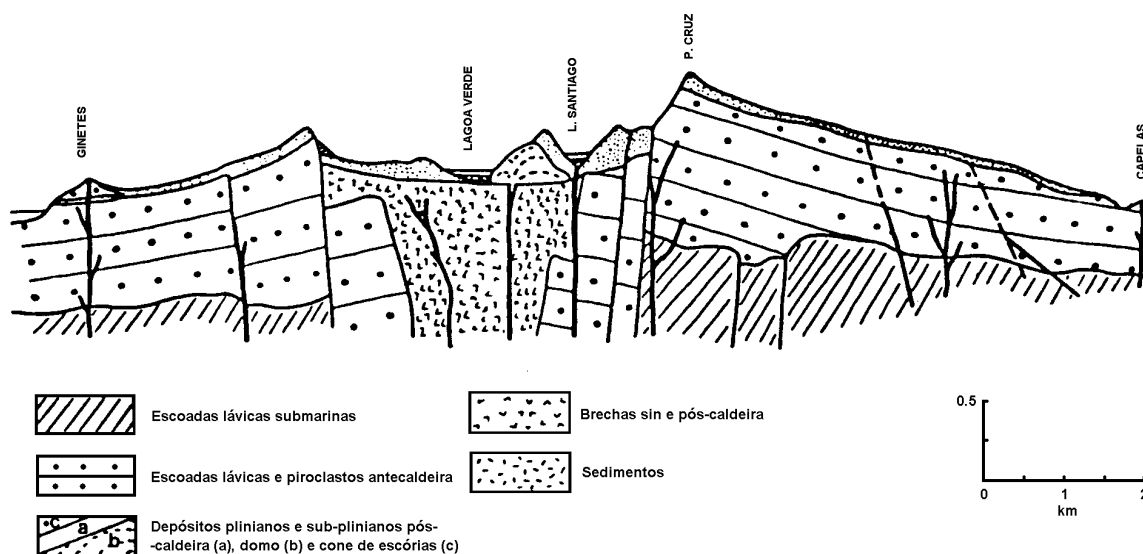


Fig. 2 – Corte esquemático do Maciço das Sete Cidades (Queiroz et al., 1989).

- Grupo das Lagoas;
- Formação da Seara;
- Grupo da Rocha da Relva e,
- Formação do porto das Feteiras.

As duas unidades inferiores são essencialmente constituídas por material piroclástico quer de queda, quer escoadas piroclásticas e depósitos de *surge*. Observam-se ainda escoadas basálticas (*s.l*) e traquíticas (*s.l*) intercaladas apresentando, contudo, maior expressão no topo das unidades (QUEIROZ, 1990).

Um espesso conjunto de escoadas piroclásticas (ignimbritos, escoadas de blocos e cinzas) e brechas coignimbríticas constitui a Formação da Seara e está relacionada com uma fase de formação da caldeira (QUEIROZ, 1990).

Quanto à tectónica, o Maciço é afectado por um conjunto de falhas paralelas e sub-paralelas, orientadas NNW-SSE e NE-SE constituindo, nalguns casos, importantes estruturas geológicas como o *Graben* dos Mosteiros. É possível, ainda, encontrar diversas falhas radiais instaladas nos flancos do estratovulcão (COUTINHO, 1990).

### 3. ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO E HIDROQUÍMICO

As alternâncias de materiais referidas nas sequências vulcanoestratigráficas explicam, conjuntamente com um controlo tectónico, a existência de vários tipos de circulação e captação. As formações com boas propriedades hidrocinâmicas correspondem a escoadas lávicas, níveis de piroclastos basálticos e pedra pomes. Por outro lado, ignimbritos soldados, níveis de cozimento e paleossolos constituem os níveis impermeáveis (COUTINHO, 1990). A acumulação de cinzas no fundo de crateras e da caldeira condicionou a formação de lagoas.

O abastecimento público é maioritariamente feito pelo aproveitamento de nascentes e através de alguns furos. As nascentes apresentam caudais muito variáveis que oscilam entre alguns litros por minuto e cerca de 7 l/s. O controle periódico de caudais de algumas nascentes permitiu determinar valores do coeficiente de esgotamento ( $\alpha$ ) entre  $1,2 \times 10^{-3}$  e  $1,4 \times 10^{-2}$  (COUTINHO 1990; COUTINHO *et al.*, 1991).

Do ponto de vista hidrogeoquímico as águas subterrâneas são hipotermiais sendo caracterizadas por possuírem valores de pH próximos da neutralidade, alcalinidades baixas que não ultrapassam os 115 mg/l  $\text{CaCO}_3$  e mineralizações que variam entre 25 e 358 mg/l (COUTINHO, 1990; COUTINHO *et al.*, 1991). A projecção em diagrama de Piper (Fig. 3) permite verificar que

predominam as fácies bicarbonatadas-sódicas e cloretas-sódicas.

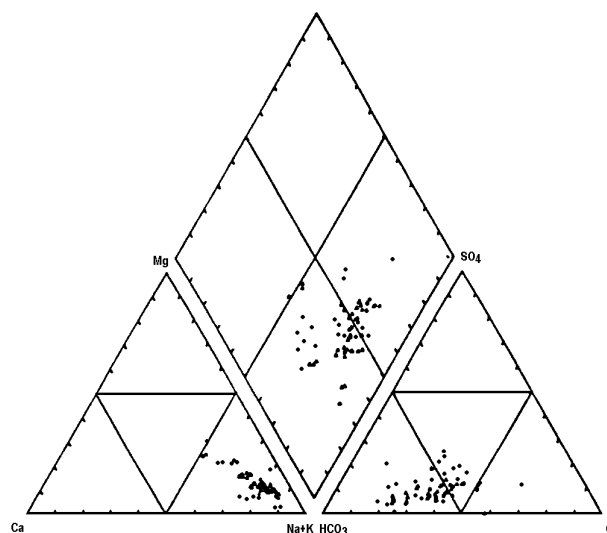


Fig. 3 – Diagrama de Piper relativo às águas amostradas no Maciço das Sete Cidades.

O teor de nitratos destas águas parece controlar, pelo menos parcialmente, a mineralização, facto que pode inferir-se da relação com o resíduo seco. A contaminação por actividades agrícolas e a decomposição de matéria orgânica são as razões do teor relativamente elevado de algumas das águas (COUTINHO *et al.*, 1991).

A especiação e cálculos de índices de saturação destas águas mostram que as mesmas se encontram sobressaturadas em quartzo e calcedónia e, em alguns casos, em sílica gel. Esta sobressaturação resulta da dissolução de rochas e vidro vulcânico.

### 4. PARTE EXPERIMENTAL

As análises isotópicas foram realizadas no espectrómetro de massa Sira 10 - VG ISOGAS instalado no Laboratório de Isótopos Ambientais do Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), tendo-se utilizado os métodos de FRIEDMAN e de EPSTEIN e MAYEDA, nas determinações de  $^3\text{H}$  e de  $^{18}\text{O}$  respectivamente (GONFIANTINI, 1981). Os resultados foram expressos na notação  $\delta$  (desvio em permilagem) relativamente ao padrão internacional V-SMOW. O valor médio do desvio padrão associado é de  $\pm 0,1 \text{ ‰}$  para o  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\pm 1 \text{ ‰}$  para o  $\delta^3\text{H}$ .

Nas determinações dos teores em  $^3\text{H}$  utilizou-se a técnica de enriquecimento electrolítico e posterior medição das taxas de contagem por cintilação líquida recorrendo-se, para

tal, a um espectrómetro PACKARD TRI-CARB 2000 CA/LL, instalado no Laboratório atrás citado.

Os resultados foram expressos em Unidades de Trítio (TU) sendo o valor médio do desvio padrão de  $\pm 0,7$  TU.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS. DISCUSSÃO

Em Setembro de 1989 realizou-se uma amostragem de águas subterrâneas no Maciço das Sete Cidades (em furos e nascentes) com vista à determinação da sua composição isotópica -  $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  e  $^3\text{H}$ . Foram também colhidas amostras de água superficial em três lagoas do Maciço. Por outro lado, tendo por objectivo conhecer qual a contribuição do nevoeiro na recarga dos sistemas hídricos subterrâneos, uma vez que a ilha se encontra envolta em nevoeiro durante uma parte considerável do ano, foram colhidas amostras de vapor de água cuja composição isotópica ( $\delta^2\text{H}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) foi também determinada (Fig. 4).

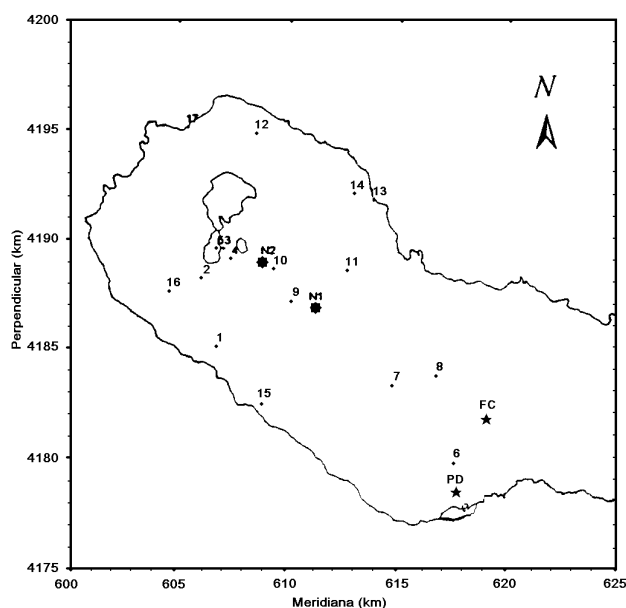


Fig. 4 - Localização dos pontos de água amostrados (● 2), do nevoeiro colhida (★ NI) e das estações climatológicas (★).

Os resultados isotópicos obtidos com as amostras de água subterrânea e superficial apresentam-se na Tabela I.

### 5.1. Variação dos Teores em $^3\text{H}$

Os teores  $^3\text{H}$  oscilam entre  $2,5 \pm 0,7$  TU a  $9,6 \pm 0,7$  TU, observando-se as menores concentrações nas amostras provenientes das lagoas, reflectindo estas águas superficiais os valores de concentração em  $^3\text{H}$  actualmente existente na atmosfera, ou seja, valores próximos de 3 TU (base de dados inédita do Laboratório de Isótopos Ambientais do ITN).

Tabela I

Amostra	Localização	Tipo	Altitude (m)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$^3\text{H}$ (TU)
1	Chã dos Tanques	Nascente	210	-20,4	-4,25	
2	Ribeira III	Nascente	430	-14,5	-3,33	5,6
3	M. Sete Cidades	Nascente	280	-15,0	-3,09	7,7
4	Lagoa Rasa	Lagoa	545	-2,3	0,27	2,5
5	Lagoa Verde	Lagoa	260	-7,2	-0,97	3,1
6	JK3	Furo	82	-17,4	-3,57	6,4
7	JK2	Furo	250	-17,6	-3,73	8,9
8	LC1	Furo	284	-17,3	-3,71	6,6
9	Empadadas	Lagoa	750	-6,9	-1,59	
10	Canário 2	Nascente	730	-18,8	-3,65	
11	Fontainhas	Nascente	400	-17,1	-3,79	
12	Lagos	Nascente	270	-20,9	-4,21	
13	Rocha Capelas	Nascente	60	-20,7	-4,03	5,9
14	Chão Fontes	Nascente	245	-16,9	-3,95	
15	Rocha Feteiras	Nascente	200	-21,5	-4,15	9,6
16	Pinguinhas	Nascente	210	-17,3	-3,73	
17	Moinhos Mosteiros	Nascente	110	-20,2	-4,09	6,9

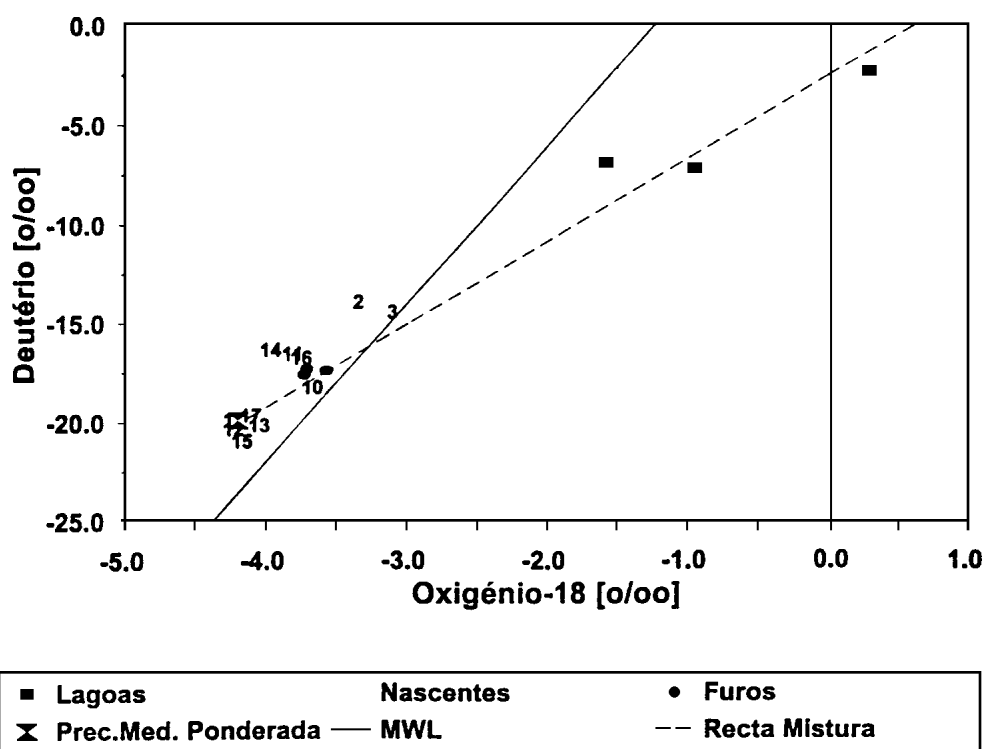
Se, por um lado, os teores em  $^3\text{H}$  para as águas superficiais se encontram relativamente próximos dos valores atmosféricos, os obtidos com as amostras dos sistemas subterrâneos variam entre  $5,6 \pm 0,7$  TU e  $9,6 \pm 0,7$  TU, valores relativamente elevados se comparados com os valores atmosféricos actuais. Estes dados apontam para condições de recarga quando os teores em  $^3\text{H}$  na atmosfera eram superiores aos actuais, em consequência dos testes termonucleares realizados entre 1963 e 1980, os quais introduziram na atmosfera quantidades elevadas desta espécie radioactiva. Considerando os teores observados procurou-se estimar qual o tempo de circulação da água subterrânea no sector estudado. Recorreu-se ao «Modelo de Mistura Completa» (IAEA, 1988) no qual se considera que cada episódio de recarga se mistura completa e instantaneamente com existente no sistema aquífero. Para aplicação deste modelo matemático utilizaram-se os teores em trítio determinados nas águas de precipitação na estação meteorológica Valentia (Irlanda), uma vez que não existe um registo completo da variação desta espécie radioactiva para a estação Ponta Delgada. Os resultados obtidos apontam para um tempo de residência entre 5 e 10 anos.

### 5.2. Variação dos Valores de $\delta^2\text{H}$ e de $\delta^{18}\text{O}$

Os resultados referentes aos isótopos estáveis permitem a individualização de grupos diferentes de amostras de água. A composição isotópica da água subterrânea colhida em furos e nascentes (ver Tabela I), varia entre -22 e -15‰ para o  $\delta^2\text{H}$  e entre -4,3 e -3,1‰ para o  $\delta^{18}\text{O}$ , enquanto que as lagoas apresentam valores que oscilam entre -7 e -2‰ para o  $\delta^2\text{H}$  e entre -1,6 a 0,3‰ para o  $\delta^{18}\text{O}$ .

Representando os valores obtidos num diagrama  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$  é possível subdividir em dois grupos o conjunto

correspondente às águas subterrâneas (Fig. 5). Assim, além do grupo com composições mais enriquecidas em espécies isotópicas pesadas (correspondentes às lagoas), é fácil diferenciar um segundo grupo com valores mais empobrecidos que as restantes amostras (representado pelas nascentes situadas perto do litoral - amostras 1, 12, 13, 15 e 17 - a cotas mais baixas) e um terceiro grupo intermédio correspondente a amostras de água subterrânea colhidas em nascentes e furos que apresentam uma composição isotópica entre aqueles dois grupos extremos.



No diagrama anterior (Fig. 5) encontra-se também representada a composição isotópica das águas de precipitação (média ponderada) colhidas no posto meteorológico de Fajã de Cima e na estação meteorológica de Ponta Delgada. Entre 1962 a 1974 a amostragem foi efectuada na estação climatológica de Fajã de Cima a 175 m de altitude e a cerca de 4 km de Ponta Delgada. Actualmente, a colheita de águas de precipitação realiza-se na estação de Ponta Delgada à cota de 36 m. Das análises efectuadas obtiveram-se os valores de  $\delta^2\text{H} = -19,9\text{‰}$  e de  $\delta^{18}\text{O} = -4,20\text{‰}$  que representam a composição isotópica média ponderada de uma série de seis anos [valores obtidos nos anos 1962 a 1965, 1973 a 1974 (IAEA, 1992)].

A amplitude dos valores isotópicos observada nas amostras de água, em particular nas lagoas, deverá estar relacionada com processos de evaporação a que as águas superficiais estão sujeitas. Este mecanismo induz um enriquecimento em espécies isotópicas mais pesadas, ou seja, é responsável por

uma variação isotópica para valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^2\text{H}$  mais positivos.

Utilizando os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^2\text{H}$  obtidos nas lagoas e a composição isotópica da precipitação (média ponderada), determinou-se a equação da recta de mistura entre estes «sistemas» calculada através da equação da recta de regressão (regressão ortogonal). Esta recta de mistura encontra-se representada no diagrama da Fig. 5. Além desta recta representa-se também a recta das águas meteóricas a nível mundial, a chamada «Global Meteoric Water Line»

(GMWL), de equação  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ , uma vez que se desconhece qual a equação das águas meteóricas regional.

Analisando o diagrama  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  (Fig. 5) observa-se a disposição das amostras de água subterrânea, pertencentes a furos e a nascentes, segundo a recta de mistura. Por outro lado, dada a localização altimétrica da maior parte destas amostras, situadas a cotas superiores à da estação de Ponta Delgada, os resultados isotópicos parecem à primeira vista contrariar o «efeito de altitude», devido a apresentarem valores  $\delta$  mais enriquecidos que a precipitação local.

Ao projectar-se a composição isotópica em

função da altitude do local de amostragem, o «efeito de altitude» parece, na verdade, não estar presente quando se representam em função da altitude quer os valores de  $\delta^2\text{H}$  quer os de  $\delta^{18}\text{O}$  (Fig. 6a e 6b). O chamado «efeito de altitude» traduz-se numa correlação negativa entre a altitude do lugar e a composição isotópica, ou seja, para maiores altitudes dever-se-ão encontrar valores de composição isotópica mais negativos, expressos por um empobrecimento em oxigénio-18 e deutério. A ausência de uma correlação entre a altitude e os valores  $\delta$  leva à formulação da hipótese de a variação dos valores isotópicos das águas-subterrâneas ser não somente definida pelas condições de recarga (altitude, temperatura, quantidade de precipitação, etc.), mas também condicionada pela percentagem de mistura com água proveniente das lagoas, sistema superficial com valores  $\delta$  mais positivos.

Perante um processo de mistura de águas com composição isotópica diferente, a água resultante apresenta uma composição isotópica proporcional à percentagem de cada uma das composições extremas. Neste estudo, definiram-se

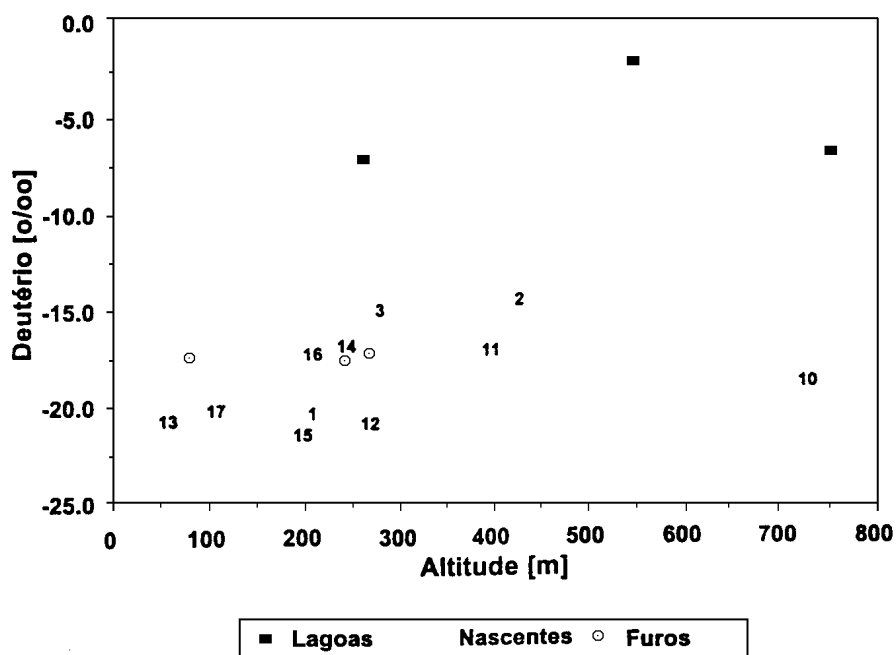


Fig. 6b – Variação da composição de  $\delta^2H$  em função da altitude

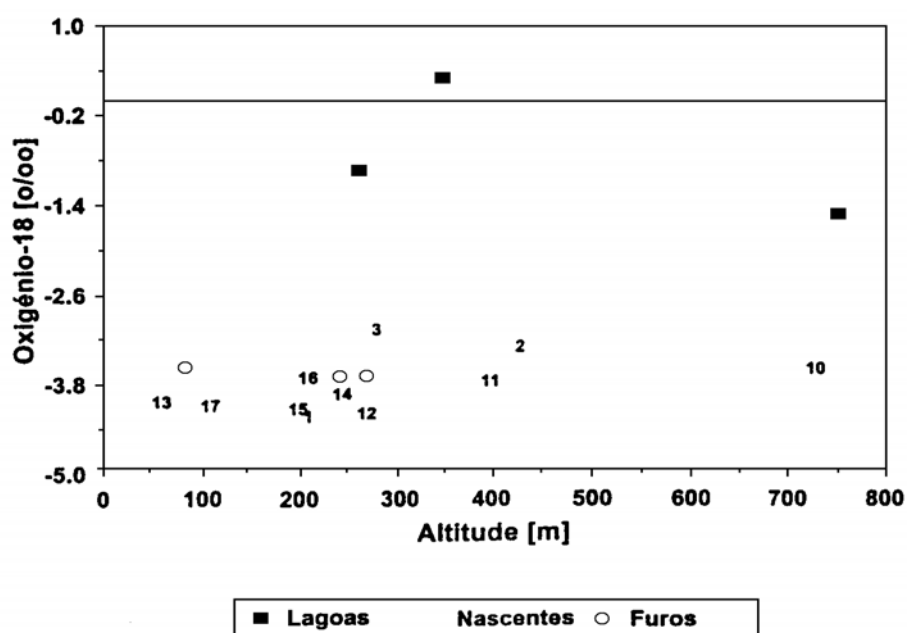


Fig. 6b – Variação da composição isotópica de  $\delta^{18}O$  em função da altitude

como pontos extremos o valor da composição média ponderada das águas de precipitação em Ponta Delgada e o valor médio das águas das lagoas (média aritmética, ponderada das águas de precipitação em Ponta Delgada e o valor médio das águas das lagoas (média aritmética,  $\delta^2H = -5,5\text{‰}$  e  $\delta^{18}O = 0,76\text{‰}$ ).

Utilizando estes extremos é possível efectuar um cálculo da percentagem de mistura de água superficial no sistema subterrâneo (Tabela II. O valor de mistura poderá corresponder a um valor subestimado uma vez que se desconhece a composição isotópica da água de precipitação na área de recarga. Por outro lado, estes valores poderão desviar-se da realidade devido a desconhecer-se a contribuição de cada lagoa no processo de mistura.

Nos diagramas anteriores (Figs. 5 e 6) verifica-se que os valores de  $\delta^{18}O$  e de  $\delta^2H$  das nascentes localizadas perto do litoral, a cotas relativamente baixas (a altitudes que oscilam entre os 60 e 270 m), se apresentam empobrecidos comparativamente aos das amostras colhidas no interior da ilha, sendo a composição próxima do valor da média ponderada da composição isotópica das águas de precipitação. Assim, para este grupo de nascentes e dada a sua localização geográfica/altimétrica, os dados parecem indicar águas com uma circulação local, isto é, com uma área de recarga localizada a cotas relativamente próximas das exsurgências. No entanto, os teores em trítio determinados nestas águas indicam um tempo de residência da ordem de 5 a 10 anos, contrariando a hipótese de uma circulação local, modelo proposto por RODRIGUES (1995).

Os valores de  $^3H$  apontam, antes, para uma circulação regional com uma área de

recarga mais distante das exsurgências e a cotas mais elevadas, pelo que deveriam apresentar valores isotópicos mais empobrecidos que os encontrados na precipitação de Ponta Delgada.

Deste modo e com base nos resultados isotópicos, formula-se a hipótese de os valores observados nestas nascentes representarem, também, uma mistura entre a água subterrânea infiltrada a altitudes elevadas e mais

*Tabela III*  
*Percentagem de mistura de água proveniente de lagoas no sistema*  
*Subterrâneo calculada com base nos valores de  $\delta^2\text{H}$  e de  $\delta^{18}\text{O}$*

Amostra	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Amostra	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
2	37,5	25,3	10	7,6	16,0
3	34,0	32,3	11	19,4	11,9
6	17,4	18,3	14	20,8	7,3
7	16,0	13,7	16	18,1	13,7
8	18,1	14,2			

empobrecida (cuja verdadeira composição isotópica -  $\delta^2\text{H}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  - se desco-nhece), com água proveniente das lagoas. No entanto, a percentagem de mistura será menor neste grupo de nascentes.

Dadas as características climatológicas da Ilha de S. Miguel que se encontra envolta em nevoeiro durante uma grande parte do ano, em particular nas zonas altas, procurou-se estimar qual a contribuição do vapor de água atmosférico na recarga dos sistemas hídricos subterrâneos. Com este objectivo foram colhidas duas amostras de nevoeiro (Fig. 4).

A assinatura isotópica do nevoeiro em regiões litorais reflecte um «processo único» no ciclo evaporação-condensação. De um modo geral, o mecanismo de evaporação da massa de água oceânica processa-se em condições de equilíbrio isotópico, sendo o vapor de água assim originado empobrecido em cerca de -13 a -12‰ em  $^{18}\text{O}$  relativamente à água do mar. O nevoeiro ao condensar-se a partir deste vapor de água está sujeito exclusivamente aos efeitos de equilíbrio isotópico, resultando daí valores da sua composição que, representados em diagrama  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ , se dispõem sobre a GMWL. Além disso, apresentam-se empobrecidos em  $\delta^{18}\text{O}$  em cerca de -3 a -1‰ relativamente ao valor correspondente da água do mar (GONFIANTINI e LONGINELLI, 1962; ARAVENA *et al.*, 1989; INGRAHAM e MATTHEWS, 1990).

Os valores da composição isotópica obtidos nas duas amostras de nevoeiro colhidas no Maciço das Sete Cidades afastam-se bastante da composição média ponderada da água de precipitação colhida em Ponta Delgada e, por conseguinte, dos valores isotópicos encontrados quer no sistema subterrâneo quer superficial (Tabela III).

*Tabela III*

Amostra (Nevoeiro)	Altitude (m)	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
Nev. 1	635	418 6750	611 300	-73,1	-22,08
Nev. 2	800	418 8650	608 825	-82,0	-24,14

Uma possível explicação para a diferença entre os valores determinados e os citados na bibliografia, valores sempre mais enriquecidos que a precipitação, deverá encontrar-se no processo de amostragem. Nos Açores procedeu-se à condensação do nevoeiro através da utilização de um leque metálico mergulhado em azoto líquido. Este método poderá induzir uma remoção preferencial das espécies isotópicas mais leves, conduzindo a um fraccionamento isotópico acentuado, que resultará, em valores  $\delta$  muito negativos. O método utilizado por GONFIANTINI e LONGINELLI (1962), ARAVENA *et al.* (1989) e por INGRAHAM e MATTHEWS (1990) consiste na aplicação de uma rede de fio de nylon, a qual provoca condensação do nevoeiro sob a forma de pequenas gotas, o que proporciona condições de equilíbrio isotópico.

Desta forma, os valores isotópicos determinados nas duas amostras não representam a composição isotópica real do nevoeiro que envolve a ilha, uma vez que estes valores deveriam aproximar-se e ser mais enriquecidos que os valores da precipitação local.

Assim sendo, ao admitir-se que a composição isotópica do nevoeiro (condensação em equilíbrio isotópico) é mais enriquecida que a das águas de precipitação, é possível existir recarga dos sistemas subterrâneos pelo nevoeiro e pelas lagoas.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados referentes aos isótopos  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  mostram, nalguns casos, um enriquecimento relativo das águas subterrâneas, indicando a possibilidade de uma contribuição de algumas lagoas para a recarga dos aquíferos, assim como, uma contribuição a partir da condensação de nevoeiro que envolve a ilha durante uma grande parte do ano. Está prevista a recolha de mais amostras de nevoeiro, em condições de equilíbrio isotópico, para o esclarecimento das hipóteses formuladas e a quantificação das contribuições envolvidas.

## BIBLIOGRAFIA

- ARAVENA, R.; SUZUKI, O.; POLLASTRI, A. - *Coastal fog and its relation to groundwater in IV region of northern Chile*. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 79, 83-91. Amsterdam (1989).
- COUTINHO, R. - *Estudo Hidrogeológico do Maciço das Sete Cidades*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre, Lisboa, 134 p (1990).
- COUTINHO, R.; CRUZ, J.V.; CARVALHO, M.R.; FORJAZ, V.H.; De BRUYNE, I. - *Distribuição de nitratos nas águas subterrâneas do Maciço das Sete Cidades (S. Miguel, Açores)*. Com. apresentada no III

Congresso Nacional de Geologia, Coimbra, Doc. Int. CV/INIC 08/91 (1991).

- FORJAZ, V.H. - *S. Miguel: Volcanostratigraphic sketch*. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores (1984). GONFIANTINI, R. - *The  $\delta$ -notation and the mass-spectrometric measurement techniques. In Stable isotope Hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle*. Technical Reports Series N.º 210, 35-84. International Atomic Energy Agency. Vienna (1981).



- GONFIANTINI, R. & LONGINELLI, A. - *Oxygen isotopic composition of fogs and rains from the north Atlantic*. Separatum EXPERIENTIA, 18, 222, 1-5 (1962).
- IAEA - Modelo de Mistura Completa. Programa de Computador criado pela Secção de Hidrologia Isotópica da Agência Internacional de Energia Atómica, Viena (1988).
- IAEA - *Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitation*. Technical Reports Series N.º 331, 781 p. International Atomic Energy Agency. Vienna (1992).
- INGRAHAM, N. & MATTHEWS, R. - *A stable isotopic study of fog: the Point Reyes Peninsula, California, USA*. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 80, 281-290. Amsterdam (1990).
- QUEIROZ, G. - *Aspectos Vulcanológicos do Maciço das Sete Cidades*. Provas de progressão na carreira de investigação para obtenção da categoria de Assistente de Investigação. Centro de Vulcanologia do Instituto Nacional de Investigação Científica, Ponta Delgada (1990).
- QUEIROZ, G.; GASPAR, J.L.; FORJAZ, V.H. - *Sete Cidades Stratovolcano and Associated Structures*. European Geophysical Society XIV General Assembly, Barcelona (1990).
- QUEIROZ, G.; GASPAR, J.L.; COLE, P.D.; GUEST, J.E.; WALLENSTEIN, N.; DUNCAN, A.M.; PACHECO, J. - *Erupções Vulcânicas no Vale das Furnas (Ilha de S. Miguel, Açores) na Primeira Metade do Século XV*. Açoriana, Vol. VIII, N.º 1 (1995).
- RODRIGUES, R. - *Hidrologia de Ilhas Vulcânicas*. Tese apresentada a concurso para acesso à categoria de Investigador Auxiliar e para a obtenção do grau de Especialista. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (1995).
- SCHMINKE, H.U. - *Magmatic evolution and tectonic regime in the Canary, Madeira and Azores Islands Groups*. Geol. Soc. Amer. Bull., v. 84, 633-648 (1973).