

CONTRIBUIÇÃO DA HIDROGEOLOGIA PARA O PLANEAMENTO E A GESTÃO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES

J. Virgílio CRUZ⁽¹⁾ ; A. GUERREIRO de BRITO⁽²⁾

RESUMO

A água subterrânea constitui um recurso de importância estratégica vital nos Açores, o que resulta do seu significado ambiental e do valor sócio-económico e cultural intrínseco. No entanto, no passado, o desenvolvimento deste recurso foi frequentemente realizado sem atender à complexidade e à vulnerabilidade dos sistemas aquíferos.

A hidrogeologia dos Açores denota as características peculiares dos meios vulcânicos, e condiciona o aproveitamento dos recursos de água subterrânea existentes, estimados em 1587.7 Mm³/ano. A distribuição de pontos de água subterrânea de ilha para ilha é bastante heterogénea, e os parâmetros hidrodinâmicos mostram igualmente uma grande variabilidade.

Do ponto de vista da qualidade, a salinização tem implicado constrangimentos ao desenvolvimento dos recursos hídricos subterrâneos, o que resultou no abandono de diversos furos de captação. Para além da salinização e da poluição natural, relacionada com a influência do vulcanismo activo, a poluição difusa provocada pelas actividades agrícolas é outro processo que implica uma pressão adicional sobre a qualidade da água subterrânea nos Açores.

A elaboração do Plano Regional da Água correspondeu ao primeiro esforço coerente para formular um diagnóstico integrado relativo aos recursos hídricos subterrâneos. No presente trabalho, apresentam-se os objectivos propostos no Plano, e as medidas que os sustentam, como por exemplo o incremento do grau de conhecimento, a protecção, a monitorização e a melhoria da gestão das águas subterrâneas.

Palavras-chave: hidrogeologia; hidrogeoquímica; recursos hídricos subterrâneos; meios vulcânicos; planeamento de recursos hídricos.

⁽¹⁾ Professor Auxiliar - Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, Apartado 1422, 9501-801 Ponta Delgada, Portugal

⁽²⁾ Professor Auxiliar - Centro de Engenharia Biológica/IBQF, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal

1 - INTRODUÇÃO

A água subterrânea assume em numerosas regiões do globo terrestre um papel fundamental no abastecimento de água para variados fins, nomeadamente para o consumo humano, a agricultura e a indústria. Nestas áreas, onde a água subterrânea é alvo de uma pressão crescente, a adopção de medidas de gestão integradas é imprescindível para assegurar a sustentabilidade dos recursos, quer no que concerne à adequação das extracções às disponibilidades existentes, quer relativamente à protecção da qualidade, o que, desde logo, passa pela percepção real do valor ambiental, social, económico e cultural de que está imbuída.

Em ilhas vulcânicas a gestão racional dos recursos hídricos subterrâneos coloca problemas adicionais comparativamente com áreas continentais, quer em resultado da reduzida dimensão e limitação geográfica destes espaços, quer devido às condicionantes específicas de índole geológica e hidrogeológica. Estes constrangimentos, genericamente, promovem a limitação da capacidade de autorregulação da água subterrânea nos aquíferos, o que constitui uma das vantagens da utilização destes recursos comparativamente com a água superficial e, inversamente, acentuam a necessidade de conservar e proteger estas unidades geológicas.

O arquipélago dos Açores corresponde a um exemplo claro do exposto, na medida que os sistemas de abastecimento de água assentam, quase integralmente, no desenvolvimento dos recursos hídricos subterrâneos, mediante a captação de nascentes ou o bombeamento em furos (CRUZ e COUTINHO, 1998; DROTRH/INAG, 2001).

O arquipélago dos Açores é constituído por nove ilhas e alguns ilhéus, de origem vulcânica, e está localizado no Atlântico Norte, sensivelmente a 1500 Km do continente europeu, entre as latitudes 36°55'43"N e 39°43'23"N e as longitudes 24°46'15"W e 31°16'24"W. Com uma área total de 2333 Km², os Açores têm um total de 242073 habitantes, dispersos pelas nove ilhas, dos quais cerca de 54% se encontram na ilha de São Miguel e 23% na ilha Terceira.

Como a água subterrânea assume um papel fulcral na implementação de medidas consequentes de gestão dos recursos hídricos no arquipélago dos Açores, e corresponde a um valor estratégico da maior relevância para o desenvolvimento regional, urge avançar com um conjunto de medidas visando a sua valorização e protecção.

O exposto realça a importância dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Plano Regional da Água, que integraram uma análise crítica da informação existente, a inventariação das lacunas de conhecimento, uma análise prospectiva dos usos e necessidades de água nos Açores e a proposta de um conjunto vasto de objectivos que, num dado prazo, permitam obter mais valias ambientais e sócio-económicas neste domínio. No presente trabalho, para além de enquadrar as tarefas executadas, discutem-se alguns objectivos propostos para a valorização das águas subterrâneas. Merecem especial atenção, no contexto referenciado, a protecção de origens de água para consumo humano e o estabelecimento de redes de monitorização, as quais se entendem constituir elementos basilares de uma política integrada de gestão da água na Região Autónoma dos Açores.

Julga-se que o desenvolvimento das linhas de orientação propostas, o que implica um esforço financeiro apreciável, resultará numa melhoria geral da gestão dos

recursos hídricos nos Açores, com inegáveis consequências, por exemplo, no que concerne à qualidade da água.

2 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Os Açores localizam-se nas proximidades da junção tripla entre as placas Americana, a Oeste, e as placas Africana e Euroasiática, a Este. O enquadramento geodinâmico do arquipélago é complexo, e ainda controverso relativamente ao terceiro ramo da junção tripla, o que se traduz pela intensa actividade sismovulcânica observada nas ilhas. Os ramos N e S da junção tripla são definidos pela Crista Média Atlântica, que separa o grupo ocidental de ilhas (Flores e Corvo) do resto do arquipélago.

As ilhas são todas de origem vulcânica e unicamente em Santa Maria se pode observar um complexo sedimentar, de idade Ante-Miocénica, intercalado na sequência vulcânica. As formações vulcânicas subaéreas mais antigas do arquipélago foram datadas de aproximadamente 8.12 Ma e ocorrem em Santa Maria (ABDEL-MONEM *et al.*, 1975). Por outro lado, a ilha mais recente é a do Pico, que terá emergido do mar à cerca de 300000 anos (CHOVELON, 1982). Desde a descoberta e povoamento dos Açores ocorreram mais de trinta episódios eruptivos, descritos nos acervos históricos, correspondendo o último à erupção submarina da Serreta, ao largo da ilha Terceira, entre os anos 1998 e 2000.

Vários estilos eruptivos ocorreram nos Açores, desde erupções de carácter predominantemente efusivo, do tipo havaiano e estromboliano, relacionadas com lavas basálticas *s.l.*, a erupções sub-plinianas a plinianas, que denotam uma maior explosividade e correspondem a erupções de lavas quimicamente mais evoluídas. Em algumas ilhas é ainda possível observar aparelhos vulcânicos, mais ou menos preservados, resultantes de erupções hidromagmáticas/surtseianas.

A edificação das ilhas de Santa Maria, Pico e São Jorge caracterizou-se pela extrusão de lavas de natureza basáltica *s.l.*, observando-se numerosos cones de escórias e escoadas lávicas do tipo *pahoehoe* e *aa*. Este tipo de vulcanismo ocupa ainda extensas áreas nas ilhas de São Miguel, Terceira, Faial e Graciosa. Frequentemente está associado a sistemas fissurais, podendo observar-se algumas estruturas deste tipo por exemplos nas ilhas de São Jorge e do Pico.

Em áreas onde ocorrem vulcões compósitos, com magmas mais evoluídos, observam-se formações originadas por erupções mais explosivas, nomeadamente extensas coberturas de depósitos pomíticos de queda, depósitos piroclásticos de fluxo, como os ignimbritos, e domos traquíticos. Do ponto de vista geomorfológico, estas estruturas estão encimadas por caldeiras que, por vezes, estão truncadas por acção de processos de geodinâmica externa.

3 - HIDROGEOLOGIA

Os condicionalismos de ordem geológica e hidrogeológica são determinantes para a consecução de uma adequada gestão dos recursos hídricos, o que é particularmente relevante nas regiões em que os aquíferos são constituídos por materiais de origem vulcânica. Com efeito, as condições hidrogeológicas são, neste enquadramento, marcadas por uma acentuada heterogeneidade, função do tipo de formações vulcânicas que as constituem, nomeadamente dos aspectos primários singenéticos desses depósitos e de factores de ordem secundária, como a alteração e a

fracturação das rochas (CRUZ, 1992, 1997). A maior escala, o meio vulcânico revela um elevado grau de compartimentação dos sistemas aquíferos, e por outro lado é muito reactivo, o que se reflecte nas características hidrogeoquímicas da água. Acresce, ainda, que em domínios insulares o sistema aquífero basal é limitado perifericamente pelo mar e, em numerosas ilhas vulcânicas, apresenta geralmente um gradiente hidráulico muito baixo, o que implica um constrangimento sobre a exploração dos aquíferos e um significativo impacto sobre a qualidade dos recursos.

3.1. Inventário dos pontos de água

O primeiro inventário sistemático de pontos de água subterrânea no arquipélago dos Açores foi publicado em 1980 (PARADELA, 1980), e posteriormente actualizado em 1992 (MENDONÇA, 1992), tendo sido referida a existência de 500 nascentes e 67 furos de captação. Recentemente, trabalhos efectuados no âmbito do planeamento de recursos hídricos nos Açores permitiram apurar um número substancialmente mais elevado de pontos de água, na ordem de grandeza do milhar, correspondendo predominantemente a 950 nascentes e 83 furos (CRUZ, 2001a). Os números constantes neste inventário actualizado foram posteriormente aferidos por um estudo conduzido independentemente (LNEC, 2001). Não obstante, decorrem actualmente trabalhos de perfuração de novos furos, pelo que o número referido destas captações está avaliado por defeito.

A distribuição das nascentes no arquipélago patenteia grandes assimetrias (figura 1), o que reflecte a heterogeneidade inerente ao comportamento hidrogeológico do meio vulcânico, para além dos contrastes geomorfológicos e climáticos existentes.

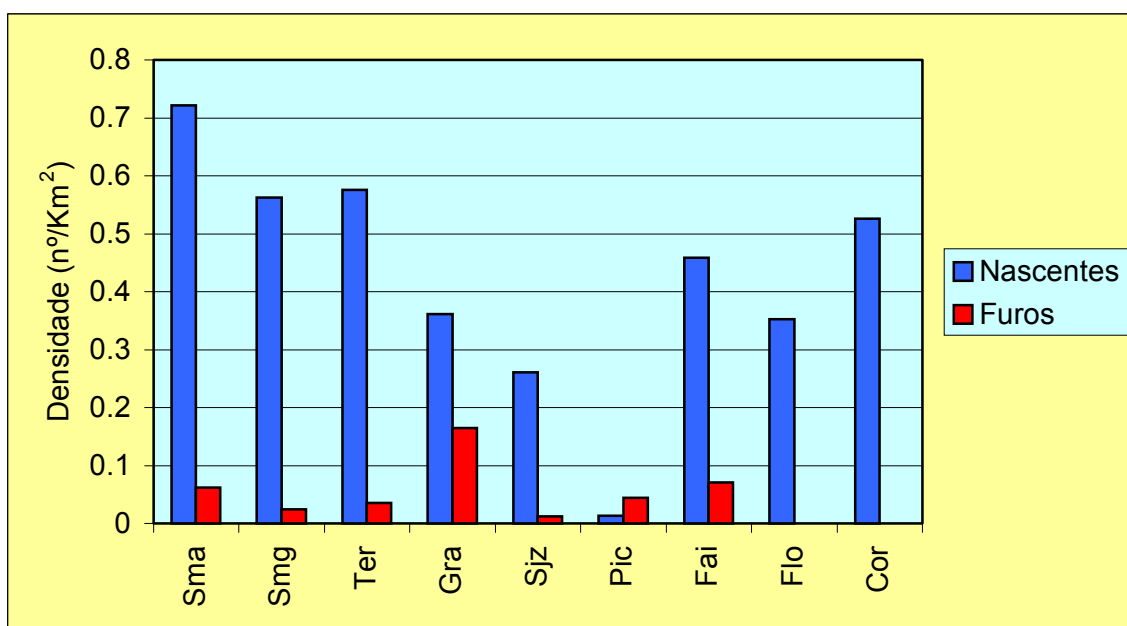


Figura 1 – Densidade de nascentes e furos existentes no arquipélago dos Açores (a partir de dados compilados em CRUZ, 2001a).

O gráfico referenciado põem em evidência o efeito de alguns factores geológicos que influenciam o funcionamento dos aquíferos vulcânicos: a comparação entre o número de nascentes situadas na ilha do Pico e de Santa Maria, ambas edificadas

por vulcanismo de natureza basáltica, sugere que a alteração das rochas poderá explicar as diferenças existentes. Com efeito, a intensidade da alteração é muito maior em Santa Maria, onde se podem observar nomeadamente escoadas lávicas completamente argilizadas, o que evidentemente resulta indirectamente do intervalo de tempo em que as formações vulcânicas foram sujeitas ao intemperismo, ou seja da sua idade relativa.

3.2. Nascentes

A análise dos hidrogramas de nascentes permite esboçar uma caracterização hidrodinâmica dos aquíferos, nomeadamente pela determinação do caudal no início da recessão. Os resultados obtidos denotam uma grande variabilidade, reflectindo a heterogeneidade dos aquíferos, o que pode ser deduzido da larga amplitude de resultados patente na figura 2. O valor da mediana em emergências da ilha de Santa Maria é igual a $18.19 \text{ m}^3/\text{dia}$ (CRUZ, 1992; CRUZ *et al.*, 1997), enquanto na ilha de São Miguel e do Faial é respectivamente igual a $120.70 \text{ m}^3/\text{dia}$ e $133.66 \text{ m}^3/\text{dia}$ (COUTINHO, 1990; COUTINHO, 2000). Os valores obtidos em Santa Maria são notoriamente mais baixos que os determinados noutras ilhas, o que demonstra também a diversidade de condições hidrogeológicas, já referida no presente trabalho.

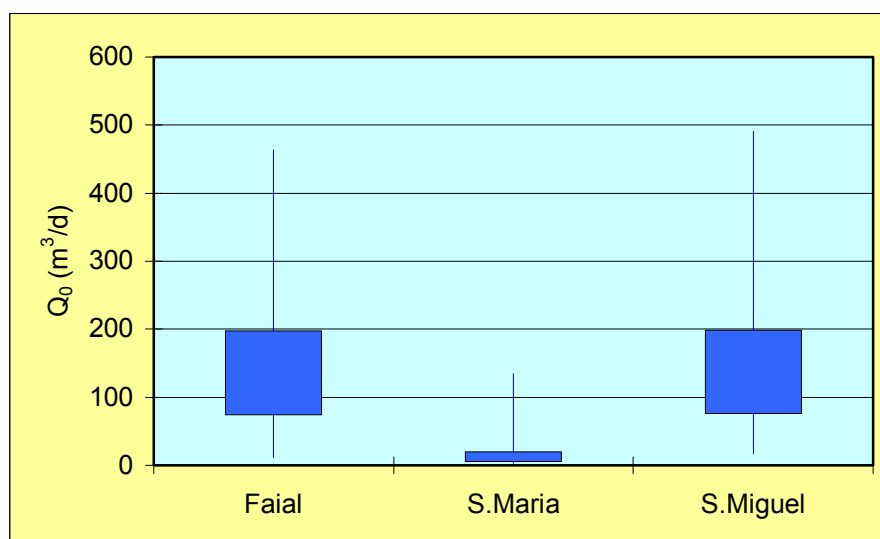


Figura 2 – Diagrama de caixas respeitante aos caudais no início da recessão. A caixa é limitada pelo 1º e 3º quartis e as linhas projectadas a partir desta são desenhadas até aos valores mínimo e máximo (adaptado de CRUZ, 2001a).

3.3. Parâmetros hidrodinâmicos

De forma a determinar os parâmetros hidráulicos característicos dos aquíferos vulcânicos dos Açores, recorreu-se à interpretação de ensaios de bombeamento efectuados nos furos de captação, sempre que tal informação esteja disponível, assim como observações de efeito de maré conduzidas em furos e poços de grande diâmetro. A interpretação dos ensaios com registos acessíveis foi efectuada com base em métodos de uso universal (CRUZ, 2001a), e depara-se com algumas contrariedades, resultantes quer do tipo de teste, geralmente correspondente a

ensaios de produtividade, quer a constrangimentos decorrentes do próprio funcionamento aquífero (MENDONÇA, 1992).

Um passo preliminar do estudo efectuado consistiu na análise dos caudais específicos dos furos de captação, que propiciam uma primeira indicação das propriedades transmissivas do meio e, sempre que não era possível aplicar outra metodologia, permitiram estimar a transmissividade pelo método de LOGAN (1964). Neste caso, e para os aquíferos livres, deve-se proceder à correcção dos rebaixamentos observados, o que no caso vertente se revela negligenciável como demonstrado por CRUZ (1997).

Os caudais específicos estimados ($n = 65$) variam entre 1.40×10^{-2} e 266.67 L/sm, com um valor de mediana igual a 32.29 L/sm, e a larga gama de resultados mostra a heterogeneidade dos aquíferos (CRUZ, 2001a). A distribuição dos valores apurados mostra uma grande variação de ilha para ilha, o que é patente no gráfico de caixas respectivo (Figura 3), observando-se os resultados mais elevados nas ilhas do Pico e da Graciosa, onde os furos captam em níveis de escoadas lávicas basálticas s.l. recentes e que geralmente se apresentam muito fracturadas.

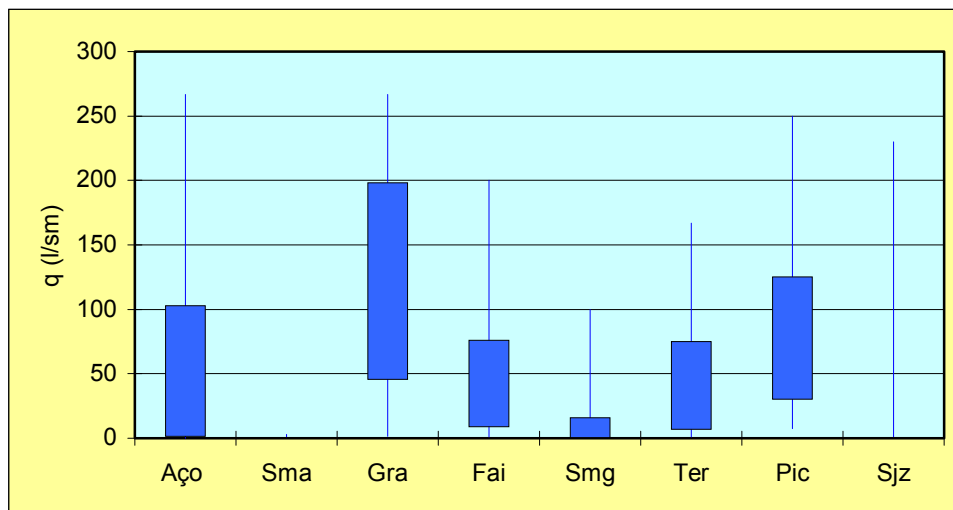


Figura 3 - Diagrama de caixas respeitante aos caudais específicos em furos. A caixa é limitada pelo 1º e 3º quartis e as linhas projectadas a partir desta são desenhadas até aos valores mínimo e máximo (adaptado de CRUZ, 2001a).

Os resultados da determinação da transmissividade mostram igualmente uma grande variabilidade de ilha para ilha, correspondendo os valores mais elevados a furos na Graciosa, no Pico e no Faial, enquanto os mais baixos são observados em Santa Maria (figura 4). A utilização da classificação de KRÁSNÝ (1993) demonstra isso mesmo, na medida que naquelas ilhas respectivamente 90%, 84.6% e 72.7% dos resultados se enquadram no grupo de transmissividades muito altas, que engloba todos os valores superiores a 11.6×10^{-3} m²/s, enquanto 50% das determinações levadas a cabo sobre dados de Santa Maria podem ser consideradas como intermédias (1.16×10^{-4} a 1.16×10^{-3} m²/s). O conjunto de resultados ($n = 65$) varia entre 1.65×10^{-5} e 4.03×10^{-1} m²/s, com a mediana igual a 3.66×10^{-2} m²/s, correspondendo 63.5% das estimativas a valores muito altos.

Valores de difusividade hidráulica obtidos na ilha do Pico (CRUZ, 1997; CRUZ e SILVA, 1998, 2001), mediante a realização de observações de efeito de maré em poços e furos, que corresponde a um fenómeno generalizado nas captações efectuadas no sistema aquífero basal, conjugadas com as estimativas de transmissividade para esses pontos de água, permitiram determinar o coeficiente de armazenamento nalguns aquíferos. Estas determinações – predominantemente na ordem de grandeza de 10^{-3} a 10^{-4} – são compatíveis com observações efectuadas em aquíferos fissurados, o que se conforma ao enquadramento hidrogeológico local.

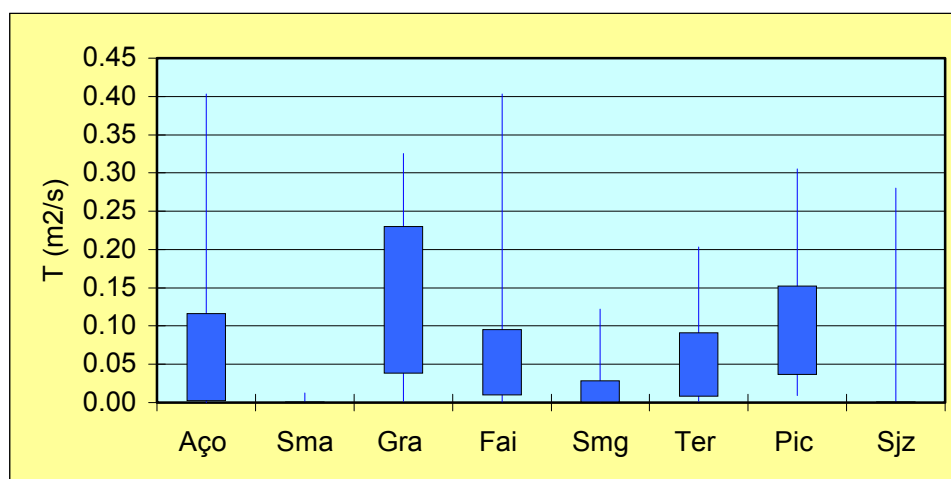


Figura 4 - Diagrama de caixas respeitante aos valores de transmissividade. A caixa é limitada pelo 1º e 3º quartis e as linhas projectadas a partir desta são desenhadas até aos valores mínimo e máximo (retirado de CRUZ, 2001a).

As observações de maré efectuadas no Pico permitem ainda aferir a influência da fracturação sobre o funcionamento hidrogeológico de aquíferos vulcânicos: poços situados a escassos metros da linha de costa, mas perfurados em escoadas lávicas possantes e não fissuradas, apresentam flutuações de nível de amplitude muito reduzida quando comparadas com poços em posições semelhantes, mas que captam em escoadas do mesmo tipo mas densamente fracturadas.

4 – AVALIAÇÃO DA RECARGA AQUÍFERA

A avaliação das disponibilidades hídricas subterrâneas realizada no âmbito dos estudos técnicos relativos ao Plano Regional da Água dos Açores assentou na aplicação do modelo CIELO (AZEVEDO, 1996). Desta forma, os valores de recarga aquífera foram determinados mediante a realização de simulações com o modelo supramencionado, o que garante a integração de todo o balanço hídrico, na medida que o programa em causa estima todas as variáveis climatológicas de base, nomeadamente a precipitação, a evapotranspiração real, o escoamento superficial e a humidade do solo.

O volume da recarga aquífera aponta para a existência de um volume total de recursos hídricos subterrâneos no arquipélago dos Açores igual a 1587.7 Mm³/ano. Os valores variam entre um mínimo de 8.3 Mm³/ano, na ilha do Corvo, e um máximo de 582 Mm³/ano, observados na ilha do Pico (Quadro 1). Os resultados mais elevados, acima da mediana (101.3 Mm³/ano), ocorrem nas ilhas do Pico, São

Miguel, São Jorge, Terceira e Flores. Este valor de recarga corresponde ao volume de recursos hídricos renováveis, visto estas duas grandezas serem equivalentes quando se considera um espaço de tempo alargado (CASTANY, 1963).

As taxas de recarga que estiveram na base da determinação dos recursos hídricos subterrâneos variam, para a totalidade do arquipélago entre 8.5% e 62.1% do volume da pluviosidade, e verifica-se a partir do exposto no Quadro 1 que os valores mais elevados são atingidos nas ilhas do Pico, Terceira, Faial, São Miguel e Graciosa, nomeadamente em sistemas aquíferos constituídos predominantemente por escoadas lávicas basálticas *s.l.* recentes, intercaladas com níveis piroclásticos da mesma natureza.

Os resultados mais elevados foram observados no sistema aquífero da Montanha, na ilha do Pico, e são compatíveis com as estimativas de CRUZ (1997) para a mesma área. Numa região geologicamente similar da ilha da Madeira os resultados apurados referentes à taxa de recarga aquífera são também equivalentes (NASCIMENTO, 1990, 2000).

Ilha	Rec. Subterrâneos (Mm ³ /ano)	Taxa de Recarga	
		Máx. (%)	Mín. (%)
Santa Maria	25.2	33.2	14.6
São Miguel	369.7	45.0	16.0
Terceira	193.1	48.6	16.2
Faial	74.1	47.5	12.4
Graciosa	15.0	36.2	8.5
Pico	582	62.1	18.5
São Jorge	219	54.0	19
Flores	101.3	14.0	32.0
Corvo	8.3	25.9	15.9

Quadro 1 - Recursos hídricos subterrâneos e taxas de recarga máxima e mínima por ilha (retirado de CRUZ, 2001a).

A robustez dos resultados obtidos com a metodologia adoptada pode ser, como no exemplo supramencionado, avaliada mediante a comparação com os resultados obtidos nas mesmas áreas em trabalhos anteriores. Neste contexto, constata-se que o valor proposto para o sistema aquífero Anjos – Vila do Porto (Santa Maria), igual a 14.6%, é semelhante às taxas de recarga entre 13.2% e 15.43% calculadas para a mesma área por CRUZ (1992), neste caso mediante a realização de um balanço de cloretos e um balanço hídrico sequencial diário. Por seu turno, FERREIRA (1991) estima, para uma zona que corresponde grosseiramente ao sistema aquífero Ponta Delgada – Fenais da Luz uma taxa de recarga da ordem de 45%, igual ao valor apresentado neste trabalho. O mesmo autor calculou em 6.3 Mm³/ano o volume de água subterrânea que se escoia da área da bacia da lagoa das Furnas, valor

compatível com o volume de recursos e reservas subterrâneas disponíveis no sistema Furnas – Povoação, onde se integra.

4 - HIDROGEOQUÍMICA

A compilação de bases de dados relativas à composição das águas de nascentes e furos dos Açores (CRUZ, 2001a, 2001b; CRUZ E FRANÇA, 2001a) permite pôr em evidência os mecanismos geoquímicos intervenientes, assim como comprovar os principais processos de poluição da água subterrânea. A caracterização das águas minerais e termais que emergem nos Açores, nomeadamente nas ilhas de São Miguel, Terceira, Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Flores também foi alvo de estudos desenvolvidos (CRUZ *et al.*, 1999; CRUZ e FRANÇA, 2001b).

As amostras das nascentes frias apresentam uma temperatura média de 15°C e correspondem a águas ácidas a ligeiramente alcalinas, em que o pH varia entre 4.7 e 8.21, com um valor de mediana igual a 7.2, e mineralizações reduzidas, o que se deduz da condutividade eléctrica. Este parâmetro varia entre 36 e 725 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com um valor médio igual a 188 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A alcalinidade varia entre 4 e 170 mg/l CaCO_3 , e o valor médio da dureza total, igual a 33.7 mg/l CaCO_3 , enquadra-se na gama característica das águas brandas.

O quimismo destas águas é controlado pelas espécies mais importantes em solução, nomeadamente o HCO_3^- , o Cl^- , o Na^+ e o K^+ (figura 5). O Cl^- e o Na^+ correspondem respectivamente a 13.8% a 84.9% e 38% a 93.2% do conteúdo aniónico e catiónico total, o que denota a contribuição de sais marinhos para a composição química das nascentes amostradas, origem comum para estes elementos, como é sugerido pela relação linear bem marcada entre ambas as espécies (figura 6). Contudo, nalgumas nascentes observa-se um enriquecimento em HCO_3^- , que relativamente pode explicar até 84.9% da composição aniónica das águas. Este facto sugere uma tendência no aumento da mineralização devida essencialmente a processos de interacção água-rocha e à dissolução de CO_2 no solo. Nalguns casos, a tendência bicarbonatada é favorecida pela libertação de voláteis de origem vulcânica, nomeadamente CO_2 , que pode ser absorvido pela água contida nos aquíferos dos níveis superiores.

Necessariamente, as emergências de águas minerais e termais apresentam mineralizações mais elevadas. Neste grupo de águas inserem-se amostras de nascentes que, no sentido estrito do termo, não podem ser consideradas minerais mas, comparativamente às outras nascentes frias, apresentam teores de CO_2 mais elevados, o que em muitos casos explica que as populações as denominem de “Águas Azedas” como por exemplo em São Jorge ou em São Miguel.

A maioria das águas deste grupo são do tipo $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ e $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-\text{-Cl}^-$, e apresentam temperaturas de amostragem até 93.2°C e pH entre 4.70 e 8.73. Algumas amostras respeitantes a descargas em campos fumarólicos apresentam águas de grande acidez, com pH entre 2.02 e 2.27, e um quimismo dominado pelo SO_4^{2-} , o que revela que são influenciadas pela água de aquíferos aquecidos por vapor.

Algumas das águas termais resultam da descarga de fluidos hidrotermais, mas a grande maioria denota a influência de um processo de mistura entre estes e águas meteóricas frias e, nalguns casos, mistura com água do mar.

A água captada em furos caracteriza-se por uma maior mineralização, expressa pelo valor da mediana da condutividade eléctrica, igual a 1044 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CRUZ, 2001b).

Estas amostras correspondem predominantemente a águas do tipo cloretada sódica, variando o pH entre 6.19 e 9. A salinização da água tem criado uma pressão adicional sobre a gestão dos recursos hídricos nos Açores e, apesar de favorecida pelas condições hidrogeológicas peculiares de algumas ilhas (CRUZ e SILVA, 1999, 2000), advoga-se o estabelecimento de uma rede de monitorização da qualidade da água que permita acompanhar e sustentar políticas neste sector.

Para além da poluição natural da água, resultante da influência vulcânica, e da salinização, a poluição difusa dos recursos hídricos resultante das actividades agrícolas é outro processo que degrada a qualidade da água no arquipélago dos Açores. Este mecanismo tem sido estudado e caracterizado em estudos levados a cabo nalgumas ilhas (COUTINHO, 1990; CRUZ, 1992), e o estabelecimento de uma rede de monitorização constitui uma das medidas prementes a efectivar na continuidade da elaboração do Plano Regional da Água dos Açores (Cruz, 2001a).

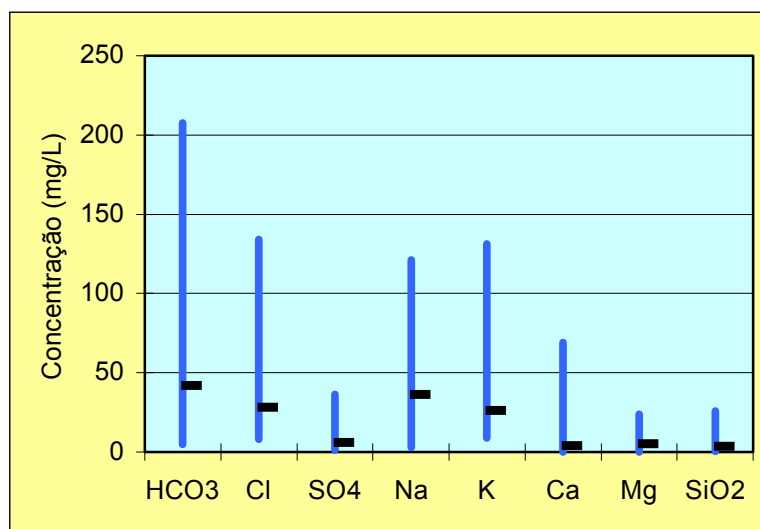


Figura 5 – Concentrações máximas, mínimas e mediana dos elementos principais em solução na água das nascentes frias (adaptado de CRUZ e FRANÇA, 2001a).

5 - CONTRIBUIÇÃO DO PLANO REGIONAL DA ÁGUA

O enquadramento hidrogeológico apresentado realça a importância dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Plano Regional da Água, que permitiram realizar um diagnóstico integrado relativo aos recursos hídricos subterrâneos, bem como identificar diversas lacunas de conhecimento técnico e científico. Quando na generalidade das regiões do globo o desenvolvimento dos recursos hídricos subterrâneos é feita à revelia de uma efectiva compreensão da natureza complexa e da vulnerabilidade dos sistemas aquíferos, qualquer esforço de ordenamento deste uso é de importância incontornável (BURKE e MOENCH, 2000).

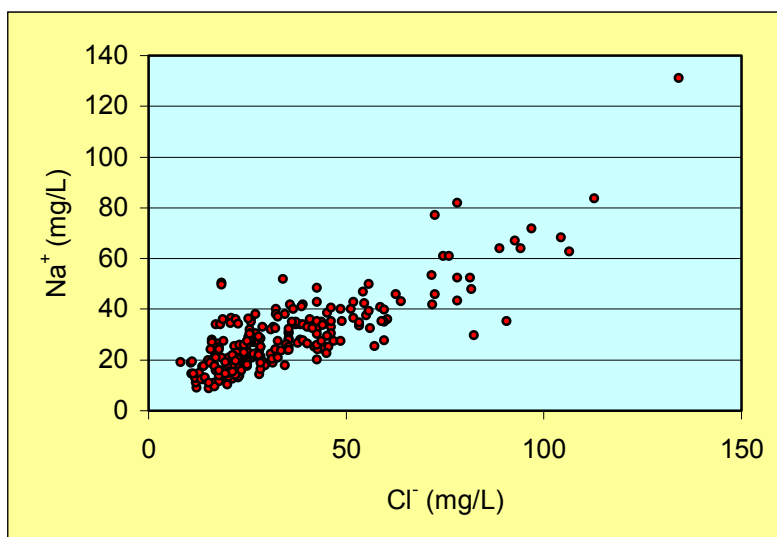


Figura 6 – Relação entre o teor em cloreto e em sódio nas águas emergentes em nascentes frias (retirado de CRUZ e FRANÇA, 2001a).

Com base nos conhecimentos adquiridos perspectivou-se um conjunto de linhas de orientação destinadas a preparar a Região para enfrentar, adequadamente, os desafios que se colocam neste domínio, e constituir um elemento basilar de gestão dos recursos hídricos subterrâneos, obviamente integrada na política da água adoptada no arquipélago. Para a sua formulação foi considerada a necessidade destas políticas serem dinâmicas e mutáveis, visto que a adaptabilidade constitui uma das virtualidades da definição de objectivos no decurso do planeamento de recursos hídricos (BETÂMIO DE ALMEIDA, 2000).

As principais lacunas referenciadas resultam principalmente do reduzido envolvimento das autoridades regionais e locais, não obstante o esforço dispendido na captação de água subterrânea, de que resultou uma deficiência ao nível de dados de base, quer de índole quantitativo, quer relativos à qualidade da água (CRUZ, 2001a).

Neste contexto, e considerando que a definição de objectivos é um aspecto crucial do processo de planeamento de recursos hídricos, uma vez que o seu desenvolvimento pode ser aferido quantitativamente (CORREIA, 2000), definiram-se as linhas de acção indicadas no Quadro 2. A relação entre os objectivos, e respectivas medidas, é expressa na figura 7, onde é igualmente realçada a respectiva hierarquização proposta no decurso da implementação do Plano Regional da Água (CRUZ, 2001c, 2001d).

O objectivo basilar prende-se com o incremento do grau de conhecimento sobre os recursos hídricos subterrâneos dos Açores. Pretende-se, desta forma, sustentar adequadamente todas as medidas posteriores, nomeadamente pela aferição do inventário de pontos de água subterrânea, suportado numa base de dados, com referência geográfica e em actualização permanente com a adição de novos furos entretanto realizados. A segunda vertente deste objectivo relaciona-se com a calibração dos valores de recarga e, muito importante, com a incorporação do volume das descargas subterrâneas e das transferências hídricas entre sistemas aquíferos, de forma a que a determinação das reservas seja mais segura.

Objectivos	Medidas
O.1-Aumentar o grau de conhecimento actual sobre os recursos hídricos subterrâneos dos Açores	M.1-Inventário de pontos de água. M.2-Characterização hidrogeoquímica actualizada. M.3-Aferição dos valores de recarga estimados nas várias ilhas da RAA. M.4-Aferição dos valores de descarga estimados nas várias ilhas da RAA.
O.2-Protecção integrada dos recursos hídricos subterrâneos	M.5-Mapeamento da vulnerabilidade à poluição da água subterrânea. M.6-Definição de áreas de protecção às captações de água subterrânea. M.7-Identificação, avaliação do risco e controlo dos focos de poluição.
O.3-Implementação de um sistema de monitorização	M.8-Definição e operação de redes de referência e redes específicas de monitorização.
O.4-Gestão dos recursos hídricos subterrâneos	M.9-Ordenamento das captações de recursos hídricos subterrâneos. M.10-Fiscalização das extracções de água subterrânea M.11-Constituição de bases de dados sobre as captações de água subterrânea
O.5-Informação e participação do público	M.12-Divulgação sobre a realidade da água subterrânea e a protecção dos recursos hídricos subterrâneos.

Quadro 1 – Objectivos estabelecidos no âmbito do Plano Regional da Água dos Açores e medidas inerentes (retirado de CRUZ, 2001c).

Uma segunda linha de objectivos propostos tem a ver com a implementação de linhas de acção tendentes a assegurar a protecção e a monitorização das águas subterrâneas, aspectos imprescindíveis em qualquer proposta de planeamento de recursos hídricos (ASWATHANARAYANA, 2001), bem como a melhoria dos mecanismos de gestão institucional dos recursos. Estes objectivos apresentam uma marcada interdependência entre si e, no que concerne à melhoria da gestão, acabam por fortalecer o desenvolvimento do grau de conhecimento. Com efeito, a melhoria do processo de licenciamento de novas captações deve exigir não só adequar as extracções às disponibilidades existentes, bem como propiciar um manancial de informação técnica a incluir na base de dados referida anteriormente. O último objectivo considerado prende-se com o incentivo da participação do público em geral, o que deverá assentar num esforço de informação, constante ao longo do tempo. Assume-se, aliás, que a educação dos usuários da água é um factor da maior importância no intuito de limitar os conflitos de interesses entre estes (FORNÉS E RAMÓN LLAMAS, 2000).

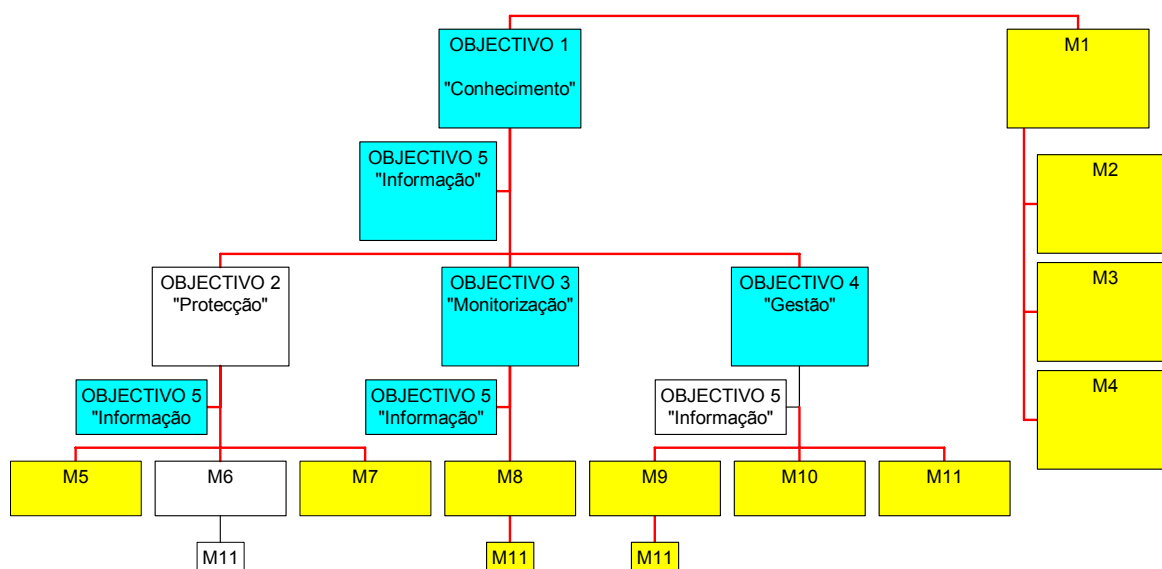


Figura 7 – Fluxograma que relaciona os objectivos e medidas consignados no Plano Regional da Água, salientando as relações existentes e a hierarquização.

6 - CONCLUSÕES

A água subterrânea é um recurso de inegável importância na Região Autónoma dos Açores, onde grande parte do abastecimento é assegurada a partir da exploração de nascentes e furos. Contudo, o desenvolvimento dos recursos subterrâneos foi, em muitos casos, efectuada sem atender à complexidade e vulnerabilidade dos sistemas aquíferos.

O Plano Regional da Água correspondeu à primeira oportunidade para efectuar um diagnóstico integrado sobre os recursos hídricos dos Açores em geral, e relativamente à água subterrânea em particular, e perspectivar uma série de linhas de acção para não só colmatar as lacunas de informação como subsequentemente promover (1) a protecção da água subterrânea, (2) a monitorização dos sistemas aquíferos e (3) a melhoria da gestão da água subterrânea, por parte das instituições regionais responsáveis pelo abastecimento e pela regulação do sector.

BIBLIOGRAFIA

- ABDEL-MONEM, A.; FERNANDEZ, L.; BOONE, G. - "K/Ar ages from the eastern Azores group (Santa Maria, São Miguel and the Formigas islands)". *Lithos*, 1975, pp. 247-254.
- ASWATHANARAYANA, U. – *Water resources management and the environment*. Ed. Balkema, Amsterdam (Holanda), 2001.
- AZEVEDO, E.B. – *Modelação do clima insular à escala local. Modelo CIELO aplicado à ilha Terceira*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo (Portugal), 1996.
- BETÂMIO DE ALMEIDA, A. - "Reflexões sobre o planeamento de água e a situação portuguesa". *Recursos Hídricos*, 21, 2000, pp. 13-24.

BURKE, J.J. ; MOENCH, M.H. – *Groundwater and society: resources, tensions and opportunities. Themes in groundwater management for the twenty-first century*. Ed. United Nations, New York (Estados Unidos da América), 2000.

CASTANY, G. – *Traité pratique des eaux souterraines*. Ed. Dunod, Paris (França), 1963.

CHOVELON, P. - *Évolution volcanotectonique des îles de Faial et de Pico, archipel des Açores*. PhD dissertation, Université Paris-Sud, Paris (França), 1982.

CORREIA, F.C. - “O planeamento de recursos hídricos como instrumento de política de gestão da água”. *Recursos Hídricos*, 21, 2000, pp. 5-12.

COUTINHO, R.M. - *Estudo hidrogeológico do maciço das Sete Cidades*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada pela FCUL, Universidade de Lisboa, Lisboa (Portugal), 1990.

COUTINHO, R.M. - *Elementos para a monitorização sismovulcânica da ilha do Faial (Açores): caracterização hidrogeológica e avaliação de anomalias de Rn associadas a fenómenos de desgaseificação*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada (Portugal), 2000.

CRUZ, J.V. - *Hidrogeologia da ilha de Santa Maria*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada pela FCUL, Universidade de Lisboa, Lisboa (portugal), 1992.

CRUZ, J.V. - *Hidrogeologia da Ilha do Pico*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada (portugal), 1997.

CRUZ, J.V. – *Recursos Subterrâneos. Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores*. Relatório Técnico-Científico 03/DGUA/01, Centro de Geologia Ambiental, Universidade dos Açores, Ponta Delgada (Portugal), 2001a.

CRUZ, J.V. – “Salinization of the Basal Aquifer System at Volcanic Islands: Azores Archipelago (Portugal) Case Study”. In Proceedings 3th International Conference on Future Groundwater Resources at Risk, Lisboa (Portugal), 25-27 Jun. 2001b, em publicação.

CRUZ, J.V. – *Recursos Subterrâneos. Fase II - Objectivos e Medidas. Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores*. Relatório Técnico-Científico 05/DGUA/01, Centro de Geologia Ambiental, Universidade dos Açores, Ponta Delgada (Portugal), 2001c.

CRUZ, J.V. – *Recursos Subterrâneos. Fase III - Estratégias de Implementação. Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores*. Relatório Técnico-Científico 06/DGUA/01, Centro de Geologia Ambiental, Universidade dos Açores, Ponta Delgada (Portugal), 2001d.

CRUZ, J.V.; COUTINHO, R. - “Breve nota sobre a importância dos recursos hídricos subterrâneos no arquipélago dos Açores”. *Açoreana*, 8, 4, 1998, pp. 591-594.

CRUZ, J.V; SILVA, M.O. - “Efeito de maré em aquíferos costeiros: o caso de estudo da ilha do Pico (Açores - Portugal)”, in *Anais (em CD ROM) do 4º Congresso Nacional da Água*, Lisboa (Portugal), 23 - 27 Mar. 1998, 13 pp.

CRUZ, J.V.; SILVA, M.O. - “Salinização de águas subterrâneas na ilha do Pico (Açores-Portugal): processos hidrogeoquímicos e efeitos na qualidade”, in *Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica - XI Semana de Geoquímica*, Lisboa (Portugal), 14 - 17 Jun. 1999, pp. 209-212.

CRUZ, J.V.; SILVA, M.O. - “Groundwater salinisation in Pico island (Azores, Portugal): origin and mechanisms”. *Environmental Geology*, 39, 2000, pp. 1181-1189.

- CRUZ, J.V.; SILVA, M.O - "Hydrogeologic framework of the Pico island (Azores, Portugal)". *Hydrogeology Journal*, 9, 2001, pp. 177-189.
- CRUZ, J.V.; FRANÇA, Z. – "Groundwater composition of perched-water bodies at azores volcanic islands". In Proceedings Tenth International Symposium on Water Rock Interaction, Vilasimius (Itália), 10 - 15 Jun. 2001a, pp. 481-484.
- CRUZ, J.V.; FRANÇA, Z. - "Mineral and thermal waters in the Azores archipelago (Portugal): Geological setting and hydrogeochemical outline". in Proceedings of the XXXI IAH Congress - New Approaches to Characterising Groundwater Flow, Munique (Alemanha), 10-14 Set. 2001b, pp. 477-481.
- CRUZ, J.V.; SILVA, M.O.; CARVALHO, M.R. - "Síntese hidrogeológica da ilha de Santa Maria (Açores)". *Geolis*, 7, 1997, pp. 31-44.
- CRUZ, J.V.;COUTINHO, R.M.; CARVALHO, M.R.; OSKARSSON, N.; GISLASON, S.R. - "Chemistry of waters from Furnas volcano, São Miguel, Azores: fluxes of volcanic carbon dioxide and leached material". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 92, 1999. pp. 151-167.
- DROTRH/INAG - *Plano regional da água. Relatório técnico. Versão para consulta pública*. DROTRH - INAG, Ponta Delgada (Portugal), 2001, 414 pp.
- FERREIRA, J.P.L. - *Plano para a gestão dos recursos hídricos da ilha de S.Miguel. Avaliação da recarga dos aquíferos da ilha de S.Miguel*. Relatório 239/91 - GIAS, LNEC, Lisboa (Portugal), 1991.
- FORNÉS, J.M^a.; LLAMAS, M.R. – "Conocimiento, educación e información sobre las aguas subterráneas en España". In Actas do II Congresso Ibérico Sobre o Planeamento e Gestão da Água, Porto (Portugal), 9-12 Nov. 2000, 9 pp.
- KRÁSNÝ, J. – "Classification of transmissivity magnitude and variation". *Ground Water*, 31, 1993, pp. 230-236.
- LNEC - *Desenvolvimento de um inventário das águas subterráneas dos Açores - Relatório final - 3º Ano, Fase 3*. Relatório LNEC 239/01 - GIAS, LNEC, Lisboa (Portugal), 2001.
- LOGAN, M.A.G. - "Estimating transmissibility from routine production tests of waterwells". *Ground Water*, 2, 1964, pp. 35-37.
- MENDONÇA, J.J.L. - "Contribuição para o conhecimento da hidrogeologia do arquipélago dos Açores". *Mem. e Notícias do Mus. Lab. Min. Geol.Univ. Coimbra*, 113, 1992, pp. 57-74.
- NASCIMENTO, S.L.P. – *Estudo hidrogeológico do Paúl da Serra (ilha da Madeira)*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada pela FCUL, Universidade de Lisboa, Lisboa (Portugal), 1990
- NASCIMENTO, S.L.P. – *Geologia e recursos hídricos subterráneos da ilha da Madeira*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade da Madeira, Funchal (Portugal), 2000.
- PARADELA, P.L. - "Hidrogeologia geral das ilhas adjacentes". *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 66, 1980, pp. 241-256.