

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA  
Coordenação

# A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 2 • RECURSOS GEOLÓGICOS E FORMAÇÃO



Coimbra • Imprensa da Universidade

## RECURSOS HÍDRICOS EM PEQUENOS DOMÍNIOS INSULARES: O CASO DA ILHA DAS FLORES, AÇORES

J. M. M. AZEVEDO <sup>1</sup> e M. R. PORTUGAL FERREIRA <sup>1</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** ilha, hidrogeologia, aquífero, exurgência, captação-exploração.

**KEY WORDS:** island, hydrogeology, balance, aquifer, spring, exploitation.

### RESUMO

Atendendo ao imprescindível papel da água no saudável e equilibrado desenvolvimento, quer da actividade humana, quer da larga maioria das componentes ambientais, e à acentuada vulnerabilidade dos corpos hídricos presentes em domínios insulares de reduzida dimensão, todos os elementos que contribuam, directa ou indirectamente, para a melhor gestão e exploração daquele recurso natural deverão ser obrigatoriamente considerados. Neste conjunto de elementos incluem-se obviamente os estudos de natureza hidrológica e hidrogeológica.

Na última década, a evolução verificada na ilha das Flores ao nível (1) dos diversos segmentos da Hidrologia de superfície e da maioria das exurgências (fonte exclusiva da água para consumo humano), (2) da natureza da cobertura vegetal na zona de maior recarga aquífera insular e (3) das exigências de consumo de água, aponta para uma necessidade a curto-médio prazo da captação-exploração de novos corpos hídricos.

A análise e quantificação dos segmentos hídricos superficiais, assim como o modelo hidrogeológico assente fundamentalmente em adequada interpretação geológico-estrutural apontam claramente no sentido da exploração do aquífero de base em detrimento do reforço hídrico baseado na captação de corpos de água superficiais (lagoas e/ou ribeiras).

265

<sup>1</sup> Dep. de Ciências da Terra, Fac. Ciências e Tecnologia, Univ. de Coimbra.

**ABSTRACT: Water resources in small insular domains; case study of Flores Island, Azores**

Considering the unavoidable role of water on a sustainable development of the Society, as well as on the environmental components and the vulnerability of the reduced dimensioned insular hydric bodies, every element that might contribute to a better exploitation and management is to be considered. So, the hydrological and hydrogeological apports are to be emphasised.

During the last two decades the social and economic evolution in the Flores Island impose strains (1) on the segments of the surface hydrology including the exsurgences (which are the exclusive water supply for direct human consumptions), (2) on the nature and role of the vegetation mantle upon the most important recharge domain and (3) on the increasing water demands. As a consequence, it uprises the need of installing new exploitation of water bodies that up to now have been negligenciated.

The studies that we have carried on the surface and ground waters point to the potential of the basal aquifer as the most suitable source to reinforce or replace the present supplies.

## **1. INTRODUÇÃO**

Os diversos corpos hídricos presentes num corpo insular de pequena dimensão (i.e. com área inferior a 200 km<sup>2</sup>, segundo FALKLAND e CUSTÓDIO, 1991) constituem, na maioria dos casos, um recurso natural limitado (muitas vezes escasso), imprescindível e normalmente com elevada vulnerabilidade. Neste cenário, a gestão e a preservação eficazes deste recurso deverão assentar: (1) em rigorosos critérios de natureza quantitativa e qualitativa, e (2) no melhor conhecimento da hidrologia superficial, bem como da hidrogeologia insular.

Pertencendo a ilha das Flores ao vasto conjunto de ilhas em que a água para consumo humano provém quase exclusivamente do meio subterrâneo e, em particular, da captação de exsurgências associadas à circulação hídrica subsuperficial e a aquíferos suspensos, a caracterização geológico-estrutural e hidrogeológica do meio rochoso é fundamental para: (1) a preservação, em termos quantitativos, mas sobretudo qualitativos, dos pontos de água actualmente explorados, (2) a definição de novos locais e processos de captação e (3) sistemas de exploração com impacte ambiental minimizado.

## 2. HIDROLOGIA DA SUPERFÍCIE

A avaliação dos recursos hídricos de uma ilha impõe necessariamente a análise e quantificação dos diversos segmentos hidrológicos de superfície – Precipitação atmosférica (*Input* hídrico), Evapotranspiração, Retenção e Escoamento hídricos superficiais e Infiltração. Naturalmente, nos estudos de natureza hidrogeológica a estimativa das disponibilidades hídricas direccionadas para a recarga aquífera assume um papel principal.

### 2.1. INPUT HÍDRICO GLOBAL

Na ilha das Flores, como é de regra nos domínios insulares, a limitação e a descontinuidade territoriais impõem como única fonte natural de água doce (*input* hídrico) as diversas formas de precipitação atmosférica que atingem a superfície insular.

Atendendo ao diâmetro médio das gotas de água, a precipitação pode subdividir-se em: (1) precipitação visível (*rainfall*) quando as gotas possuem diâmetros superiores a 100 mm e (2) precipitação horizontal (neblinas e nevoeiros, *drip fog* ou *wet-fog-catch*) (INGRAHM e MATHEWS, 1988; RODRIGUES, 1995) sempre que as gotas de água apresentem dimensão compreendida entre 100 mm e 1 mm.

Para além deste aspecto, a estimativa do *input* hídrico nestes locais tem de atender à variação lateral das condições meteorológicas, nomeadamente ao desenvolvimento de domínios microclimáticos.

Na ilha das Flores os registos meteorológicos apontam para a ocorrência de três grandes domínios desta natureza – I, II e III (fig. 1).

No Domínio III (zona central da ilha) a presença persistente de nevoeiros, proporciona *de per se* um importante desenvolvimento de precipitação horizontal. Para além desta forma de precipitação, desenvolve-se neste domínio um importante aporte hídrico proveniente da condensação directa da humidade atmosférica sobre a superfície insular (designado nalgumas ilhas dos Açores por “chirene”, no Continente por orvalho e “cacimbo” e na literatura anglo-saxónica por *dewfall*). Ao somatório das duas formas de *input* hídrico designou-se por precipitação oculta (após OLIVEIRA DA SILVA, 1988 e AZEVEDO, 1996).

A análise espacial e temporal dos registos disponíveis da precipitação visível para cada domínio microclimático (fig. 2) em conjunto com determinações *in situ* da precipitação oculta (AZEVEDO, 1998) forneceram os seguintes valores globais anuais:

Precipitação visível (P)	= 290,7 hm <sup>3</sup>
Precipitação oculta (Po)	= 15,7 hm <sup>3</sup>
<i>Input</i> hídrico	= 306,4 hm <sup>3</sup>

Tendo em conta a área plana insular (143 km<sup>2</sup>), estes valores sugerem uma precipitação média global (P+Po) de cerca de 2200 mm/ano.

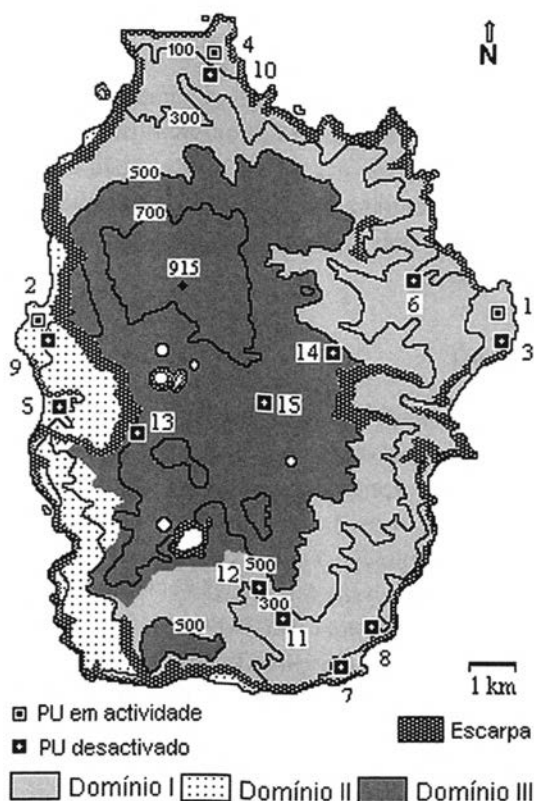


Fig. 1 – Domínios microclimáticos apontados para a ilha das Flores (AZEVEDO, 1998): I - variações climáticas sazonais bem definidas, II- semelhante a I, mas mais seco e III- nevoeiros persistentes.

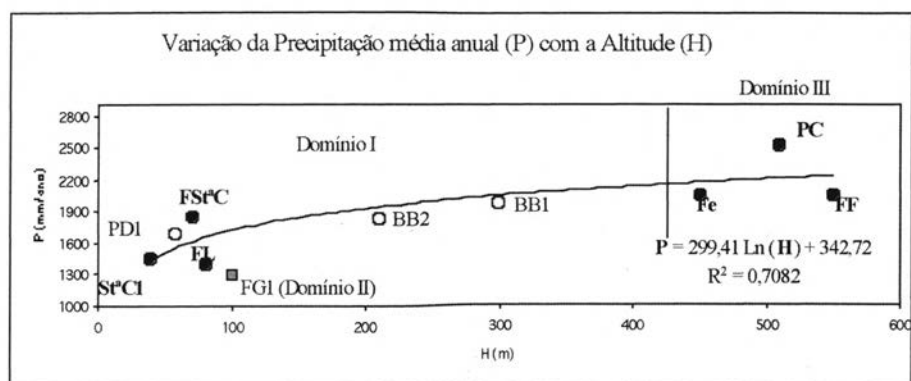


Fig. 2 – Distribuição espacial da precipitação atmosférica média anual nos três domínios microclimáticos da ilha das Flores.

## 2.2. RETENÇÃO HÍDRICA SUPERFICIAL

Em determinadas ilhas uma percentagem considerável dos recursos hídricos podem ocorrer na própria superfície insular. O facto da ilha das Flores corresponder a esta situação traduz o desenvolvimento de diversas condições naturais, necessárias e suficientes, para a retenção superficial, por períodos consideráveis (superiores a 1 ano) de uma fracção importante do *input* hídrico anual. Neste conjunto de condições destacam-se:

- O desenvolvimento de um considerável *superavit* hídrico.
- A ocorrência de condições topográficas, em particular, de depressões com fundos impermeabilizados ou semi-impermeabilizados e implantadas em bacias hidrográficas endorreicas.
- A presença e a manutenção de cobertos vegetais potencialmente favoráveis ao armazenamento superficial de volumosas quantidades de água.

Na Tabela 1 apresentam-se os valores obtidos (AZEVEDO, 1998) para o armazenamento hídrico em lagoas implantadas em crateras de importantes centros vulcânicos da ilha.

A retenção superficial de água na cobertura vegetal da ilha das Flores em quantidades anormalmente elevadas deve-se exclusivamente à presença maciça de *Sphagnum* nas zonas altas e centrais da ilha.

Ensaio de pesagem, *in situ* e no laboratório, de amostras de *Sphagnum*, alternadamente secas e saturadas em água de retenção (ou de ligação), apontaram para uma capacidade média de armazenamento de 150 litros de água por cada m<sup>3</sup> de *Sphagnum*.

Atendendo a que a cobertura desta briófitas ocupa presentemente cerca de 16,5 hm<sup>3</sup>, atinge-se um valor de água armazenado de 2,48 hm<sup>3</sup> (AZEVEDO, 1998).

Tabela 1 – Características hidrológicas nas principais lagoas da ilha das Flores

Lagoa	Profundidade máxima (m)	Input hídrico (hm <sup>3</sup> /ano)	Armazenamento hídrico médio (× 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Varição (±) no armazenamento (%)	Tempo médio de residência (anos)
Lomba	17	0,130	297	6	2,3
Rasa	16	0,397	1356,5	6	3,4
Funda	22	3,065	7073,5	4,5	2,3
Comprida	17	0,481	685	6	1,4
Negra	108	0,490	7256	1	14,8
Total	—	4,563	16668	—	—

### 2.3. BALANÇO HÍDRICO

Assim como noutras regiões, nos domínios insulares o desenvolvimento do balanço hídrico ao nível do solo, constitui o corolário da análise dos diversos segmentos hidrológicos da superfície.

Os balanços apresentados na Fig.3 para os três domínios microclimáticos da ilha das Flores assentaram na determinação da Evapotranspiração potencial pelo método de Thornyhaite e na avaliação da capacidade de campo através de ensaios *in situ* e laboratoriais. Os resultados obtidos a partir do balanço assente nas concentrações em Cl- nos diversos segmentos hidrológicos superficiais forneceu resultados claramente irrealis.

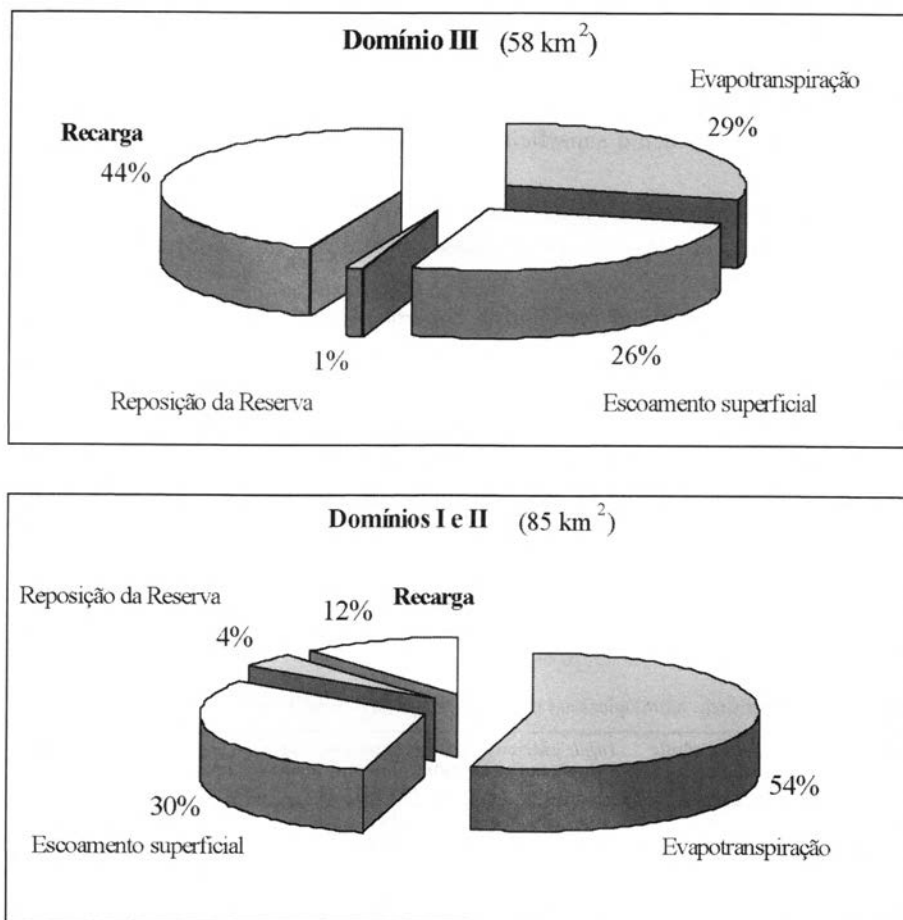


Fig. 3 – Balanços hídricos ao nível do solo para os três domínios microclimáticos da ilha das Flores.

Na Tabela 2 apresentam-se os valores globais obtidos para esta ilha, cuja análise sugere os seguintes comentários:

- A zona central da ilha (domínio III) constitui seguramente o sector superficial mais determinante no equilíbrio hidrogeológico insular, não apenas pelos quantitativos hídricos envolvidos, mas sobretudo pela estabilidade anual dos diversos segmentos do Ciclo hidrológico.
- Relativamente à Hidrologia superficial, esta importância advém principalmente do contributo volumoso e contínuo para a escorrência superficial de base e da estabilidade e quantidade da reserva hídrica armazenada neste sector.
- A elevada percentagem de excedentes hídricos encaminhada para a percolação subterrânea no Domínio III (cerca de 30 %) constitui um factor decisivo no desenvolvimento de uma complexa e intensa hidrogeologia insular.

Tabela 2 – Valores globais do balanço hídrico determinado para a ilha das Flores.

Domínio	I e II		III	
	(hm <sup>3</sup> )	(%)	(hm <sup>3</sup> )	(%)
ETR	86,8	54,5	42,7	29,0
Escoamento superficial (*)	47,8	30,0	38,3	26,0
Reposição da Reserva	6,4	4,0	1,5	1,0
Recarga aquífera	18,3	11,5	64,8	44,0
<i>Input</i> hídrico	159,2	100,0	147,2	100,0

(\*) Admitindo um Coeficiente de escoamento superficial (Ke)=0,28 (AZEVEDO, 1998).

### 3. HIDROGEOLOGIA

As características quantitativas, qualitativas e dinâmicas dos corpos de água doce que evoluem no meio subterrâneo de domínios insulares de natureza vulcânica são controladas em larga medida por factores de natureza (1) hidrológica, nomeadamente da Hidrologia superficial e sub-superficial, (2) geológico-estrutural e hidrogeológica e (3) geomorfológica.

No caso específico da ilha das Flores, a circulação e o armazenamento hídricos subterrâneos são fortemente condicionados (AZEVEDO, 1998) (1) por uma elevada precipitação anual que ronda os 2200 mm, (2) pelo desenvolvimento de uma extensa plataforma na zona central da ilha (*Plateau Central*), (3) pela natureza da cobertura vegetal natural, constituída principalmente por um “manto” de *sphagnum* que se desenvolve no *Plateau Central* e que apresenta elevadas capacidades de intercepção-retenção-cedência da precipitação oculta (AZEVEDO, 1996; AZEVEDO e PORTUGAL FERREIRA, 1996) (4) pela ocorrência de um substracto pedológico e lito-pedológico com grande continuidade lateral.



Em termos geológico-estruturais, destacam-se dois aspectos (AZEVEDO e PORTUGAL FERREIRA, 1995; AZEVEDO, 1998):

- presença de um núcleo insular constituído por formações de natureza vulcânica submarina (composto fundamentalmente por brechas com matriz intensamente palagonitizada) com permeabilidades extremamente reduzidas, sobre o qual se implantaram os vulcanitos resultantes da actividade subaérea; estes são compostos maioritariamente por séries lávico-piroclásticas e, do ponto de vista hidrogeológico, estas formações apresentam elevadas heterogeneidade e anisotropia;
- desenvolvimento no *Plateau* Central de vastas depressões topográficas de forma tendencialmente circular, cuja origem está relacionada com a implantação de mega-caldeiras.

Em traços genéricos, o modelo hidrogeológico conceptual proposto por AZEVEDO (1998 e 2002) para a ilha das Flores baseia-se fundamentalmente nas características vulcano-estruturais da ilha e, para além da divisão “clássica” do corpo insular em zona não-saturada e zona saturada, inclui dois tipos de sub-domínios hidrogeológicos (fig.4):

- três sub-domínios de natureza transversal – Patamares superior, intermédio e inferior; o último Patamar corresponde ao núcleo pró-impermeável constituído pelas unidades vulcanocásticas submarinas.
- sub-domínios em que a distribuição areal é anelar – Compartimentos nucleares e periféricos; os primeiros localizam-se obviamente no núcleo ou na bordadura do *Plateau* Central e correspondem às zonas topograficamente deprimidas; os segundos estendem-se até à linha de costa e subdividem-se em sectores intermédios e sectores costeiros.

A conjugação entre uma disponibilidade hídrica superficial e uma taxa de recarga aquífera global (cerca de 25% da Precipitação anual) consideravelmente elevadas e uma estrutura vulcânica do corpo insular onde se enfatiza a frequente alternância de vulcanitos com elevadas porosidade e permeabilidade (piroclásticos e escoadas lávicas intensamente fissuradas) com níveis de permeabilidade muito reduzida (escoadas com estrutura compacta, páleo-solos ou bancadas piroclásticas “cozidas”) proporciona o desenvolvimento de várias unidades aquíferas suspensas que se organizam em sistemas e sectores aquíferos (AZEVEDO, 1998). Esta complexa estrutura hidrogeológica da Zona Não-saturada é testemunhada pelo elevado número de exurgências que evoluem desde as cotas mais altas até à Orla Costeira. Apesar do elevado número de exurgências associadas a aquíferos suspensos, estima-se que a depleção das reservas hídricas da Zona Não-saturada efectua-se esmagadoramente para o estrato hidrogeológico inferior, isto é, para a Zona Saturada, promovendo assim, a recarga do aquífero de base.

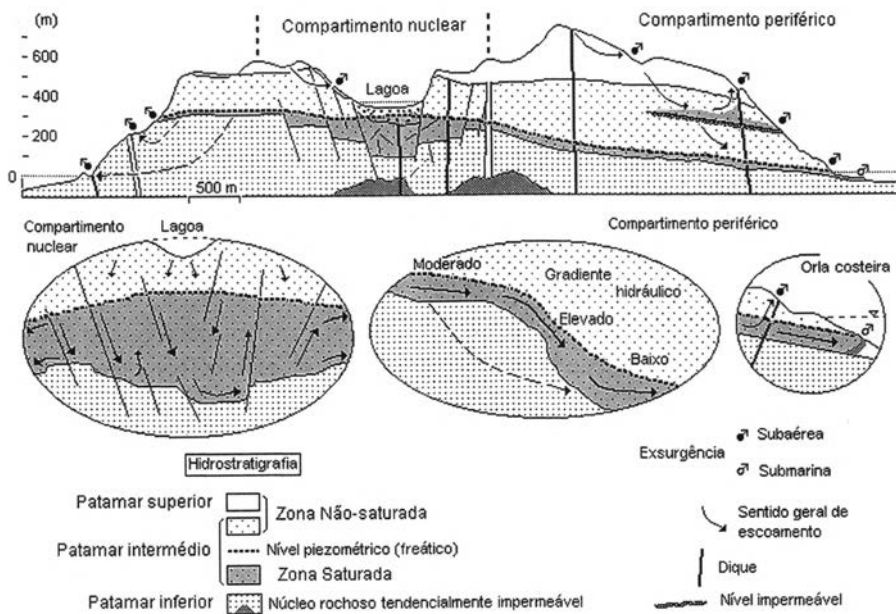


Fig. 4 – Representação esquemática do Modelo Hidrogeológico conceptualizado para ilha das Flores (AZEVEDO, 2002).

Na ilha das Flores, a descarga do aquífero de base opera-se exclusivamente por processos naturais. Estes processos desenvolvem-se fundamentalmente de forma difusa através dos domínios submarinos da Orla Costeira preenchidos com vulcanitos “jovens” resultantes da actividade subaérea (AZEVEDO, 1998).

As características hidrogeoquímicas das águas subterrâneas da ilha projectam-nas maioritariamente no campo da fácies cloretada-sódica e reflectem uma rápida, e consequentemente pouco eficiente, interacção água-rocha.

A degradação da qualidade natural das águas subterrâneas decorrente da actividade humana está, por enquanto, circunscrita a um número reduzido de unidades aquíferas (LOBO, 1993). Estas situações verificam-se nas exurgências alimentadas por aquíferos suspensos implantados a cotas inferiores às de residências ou de outros centros de actividade antropogénica intensa. No entanto, a substituição da cobertura natural por pastagens, operada nas duas últimas décadas na zona central da ilha, produziu de imediato importantes alterações nos diversos segmentos da Hidrologia superficial e sub-superficial (AZEVEDO e PORTUGAL FERREIRA, 1996 e 1997), cuja repercussão no equilíbrio hidrogeológico insular tem vindo a ser registada nos últimos anos (AZEVEDO e PORTUGAL FERREIRA, 1998), nomeadamente através:

- de alterações no regime de caudal da maioria das exsurgências, o qual vem evoluindo gradualmente para uma tendência vincadamente sazonal;
- da clara diminuição do caudal anual de algumas exsurgências;
- da degradação, ainda que ténue, da qualidade microbiológica de águas subterrâneas (FLOR *et al.*, 1998) com circulação menos profunda e extensa.

#### 4. CONSIDERAÇÕES PARA A GESTÃO E EXPLORAÇÃO

De acordo com (1) o modelo hidrogeológico proposto, (2) a recente e acentuada evolução dos vários componentes da Hidrologia de superfície, (3) a degradação hidroquímica e/ou as diminuições de caudais de muitas exsurgências actualmente captadas e (4) as exigências de consumo actuais e previstas para os próximos anos e pretendendo-se uma gestão e exploração dos recursos hídricos insulares capazes de responder eficazmente a solicitações com considerável variabilidade temporal (diária ou sazonal) em termos quantitativos e que impliquem o mínimo de impactes ambientais, prevê-se e sugere-se:

- o abandono progressivo da exploração de algumas exsurgências; este processo já foi iniciado, motivado fundamentalmente pela degradação hidroquímica verificada;
- a substituição gradual das actuais técnicas de exploração (captação, normalmente rudimentar, das principais exsurgências) e armazenamento (reservatórios de reduzida dimensão) hídricos;
- reforço das reservas de água para consumo através da exploração directa do aquífero de base; apesar da elevada ocorrência de corpos de água superficiais (lagoas e ribeiras), a sua exploração assume-se mais complexa devido, por um lado, à tendência gradual para uma maior degradação química e microbiológica e, por outro, aos consideráveis impactes ambientais que daí decorreriam.

---

#### BIBLIOGRAFIA

274

- AZEVEDO, J.M.M., 1996 – Impacte hidrogeológico da remoção da cobertura vegetal endémica (*Sphagnum*) na ilha das Flores, Açores. - Anais do Seminário “Recursos hídricos subterrâneos em Portugal: quantidade e qualidade”. A.P.R.H., Lisboa, 3p.
- AZEVEDO, J.M.M., 1998 – Geologia e Hidrogeologia da Ilha das Flores (Açores-Portugal). – Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 1º e 2º Volumes, 403 p.
- AZEVEDO, J.M.M., 2002 – Conceptualizações hidrogeológicas em pequenos domínios insulares: o exemplo da ilha das Flores, Açores. – Anais (em CD ROM) do 6º Congresso da Água, “A água é d’ouro”, Porto, 6p.

- AZEVEDO, J.M.M. e PORTUGAL FERREIRA, M.R., 1995 – As grandes Formações vulcânicas da ilha das Flores, Açores. - Anais do IV Congresso Nacional de Geologia. Mem. & Notícias M.L.M.G, Univ. Porto, 2p.
- AZEVEDO, J.M.M. e PORTUGAL FERREIRA, M.R., M.R., 1996 – As funções hidrogeológicas da cobertura vegetal endêmica (*Sphagnum*) e os impactes da sua remoção (ilha das Flores, Açores). - Anais do 3º Congresso da Água “A Água em Portugal: por uma Política de Excelência”, Lisboa, III: 527-535.
- AZEVEDO, J.M.M. e PORTUGAL FERREIRA, M.R., 1997 – The Hydrogeologic Impacts of the Natural Vegetation Scraping in Azores, Flores Island. - Poster apresentado no Advanced Study Course “European Water Resources and Climate Change Processes”, University College Cork, p. 67.
- AZEVEDO, J.M.M. e PORTUGAL FERREIRA, M.R., 1998 – Condições de ocorrência e funções hidrogeológicas das lagoas em pequenas ilhas vulcânicas: o exemplo da ilha das Flores, Açores. – Anais (em CD ROM) do 4º Congresso Nacional da Água, “A água como recurso estruturante do desenvolvimento”, Lisboa, 8p.
- FALKLAND, A. e CUSTÓDIO, E., 1991 – Hydrology and water resources of small islands: a practical guide - Edição de A. Falkland. Publicação da UNESCO, 500p.
- FLÔR, L., LOBO, A. e ROSA, M., 1998 – Estudo preliminar da microflora bacteriana da água subterrânea de algumas ilhas do Arquipélago dos Açores - Anais (CD-ROM) do 4º Congresso da Água, Lisboa.
- INGRAHAM, N.L. e MATTHEWS, R.A., 1988 – Fog Drip as a Source of Groundwater Recharge in Northern Kenya – Water Resources Research, 24, 8: 1406-1410.
- LOBO, M.A.G., 1993 – Contribuição para o estudo físico-químico e microbiológico da água para consumo humano do Arquipélago dos Açores – Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores, 331 p.
- OLIVEIRA DA SILVA, M., 1988 – Hidrogeologia da Ilha da Madeira - Geolis, v. II, Fasc. 1: 96-102.
- RODRIGUES, R.J.R., 1995 – Hidrologia de ilhas vulcânicas – Tese de especialidade, Departamento de Hidráulica, L.N.E.C. Proc. 602/13/10646, 396 p.