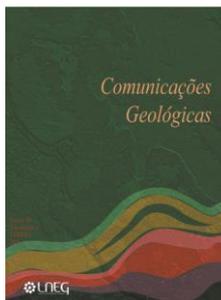


Qualidade da água no Concelho de São Domingos (Ilha de Santiago, Cabo Verde)

Water quality in the Municipality of São Domingos (Santiago island, Cape Verde)

N. Gonçalves^{1*}, T. Valente^{2,3}, J. A. Grande³Artigo original
Original article

© 2015 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Resumo: O presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da água e potencialidades de uso no concelho de São Domingos, na ilha de Santiago (Cabo Verde). Os resultados obtidos mostram, o carácter mineralizado destas águas, com valor médio de condutividade elétrica de 1361 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A classificação hidroquímica, de acordo com o diagrama de Piper, conduziu à discriminação dos seguintes tipos: águas mistas (bicarbonatadas, cloretadas) e mistas sódicas (cloretadas e bicarbonatadas). Considerando o que está estabelecido na legislação Cabo-verdiana e Portuguesa relativamente à qualidade da água, verificou-se que apenas 36 % das amostras têm qualidade suficiente para consumo humano. No que respeita à utilização da água para rega, cerca de 68 % das amostras apresentam evidências de risco de salinização alto a muito alto.

Palavras-chave: qualidade da água, monitorização, risco de salinização, Ilha de Santiago, Cabo Verde.

Abstract: This research aims the evaluation of water quality and potential uses at São Domingos municipality, at Santiago Island (Cape Verde). The results show the mineralized nature of these waters, with an average electrical conductivity of 1361 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The hydrochemical classification, according to the Piper diagram, led to the following types: mixed (bicarbonate and chloride) and mixed with sodium (chloride and bicarbonate). Considering what is established for water quality in the Cape Verde and Portuguese legislation, only 36 % of the water samples are able for human consumption. Regarding irrigation use, approximately 68 % of the samples present high-to-very-high salinization risk.

Keywords: water quality, monitoring, salinization risk, Santiago Island, Cape Verde.

¹Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.

²Instituto de Ciências da Terra, Pólo da Universidade do Minho, Departamento de Ciências da Terra, Campus Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.

³Centro de Investigación para la Ingeniería en Minería Sostenible (CIPIMS), Universidad de Huelva, 21819. Palos de la Frontera, Huelva, Espanha.

*Autor correspondente/Corresponding author: moniznemias83@yahoo.com.br

1. Introdução

Uma água de má qualidade pode causar sérios riscos de saúde e/ou impedir o desenvolvimento agrícola e industrial de um território. A satisfação dos diversos critérios de qualidade da água está dependente do destino da mesma (consumo humano, irrigação, industrial, ecológico). Um dos usos mais nobres prende-se com o abastecimento das populações.

No contexto territorial em estudo – a Ilha de Santiago, Cabo Verde – a degradação do recurso hídrico, do ponto de vista

quantitativo e qualitativo, pode resultar de pressões diversas, designadamente, devido à sobreexploração dos aquíferos, à descarga de substâncias poluentes com origem diversa e modificações ao nível da dinâmica e hidroquímica dos aquíferos, estas últimas, potencialmente motivadas pela exploração de areia e cascalhos. No presente estudo foram inventariados os pontos de água do Concelho de São Domingos. Um dos objetivos principais consistiu na avaliação da qualidade da água para consumo humano e para rega de pontos selecionados pela sua representatividade em termos de contexto geológico e de usos da água.

2. Descrição da área de estudo

A área contemplada no presente estudo corresponde ao Concelho de São Domingos, que se situa na parte sudeste da Ilha de Santiago, delimitado pelos concelhos da Praia a sul, Ribeira Grande a oeste, São Lourenço dos Orgãos a norte e Santa Cruz a nordeste. Possui uma extensão territorial de 134,6 km^2 , que se alonga do litoral para o interior da ilha.

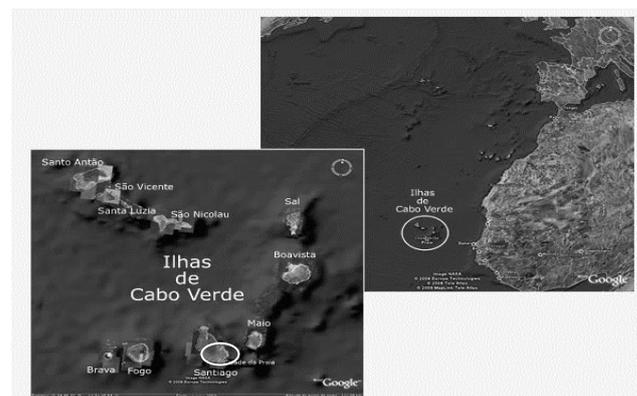


Fig. 1. Imagem aérea, obtida através do GoogleTM Earth. O círculo indica área de estudo (concelho de São Domingos).

Fig. 1. Aerial image, obtained through Google Earth. The circle indicates the study area (São Domingos municipality).

A Ilha de Santiago tem um clima árido registando-se duas estações (seca e das chuvas) (Mota Gomes, 2007). A temperatura varia entre 25 °C e 27 °C nos meses mais quentes e 22 °C a 24 °C nos meses mais frios (Gomes e Pina, 2004). Não há cursos de

água perenes, pelo que a água é um recurso natural parco, fortemente condicionado pela escassez da precipitação, registando-se um valor médio de 321 mm/ano (Pina, 2009).

Do ponto de vista litológico, predominam rochas vulcânicas de composição e génese variadas, principalmente basaltos e piroclastos. Também podem ser encontradas associações de rochas sedimentares agrupadas em duas fácies (marinha e terrestre). A caracterização geológica geral da área de estudo apresenta-se na figura 2. Serralheiro (1976) agrupa as rochas nas seguintes formações:

- (i) **Sedimentares recentes** - Formações de idade quaternária, terrestres e marinhas, nomeadamente aluviões, terraços, depósitos de vertente, de enxurrada, areias dunares e praias marinhas em vários níveis até 100 m de altitude. Estes depósitos desempenham um papel hidrogeológico importante, em particular nos grandes vales.
- (ii) **Monte das Vacas** - Caracteriza-se por ser a última manifestação vulcânica da ilha de Santiago, sendo constituída por materiais muito porosos de cones de piroclastos basálticos (tufos, bagacina, bombas e escórias) e pequenos derrames que se encontram espalhados pela ilha.
- (iii) **Pico de Antónia** - Unidade geológica com maior representação na ilha, apresentando-se sob a forma de empilhamento de escoadas lávicas com intercalação de material piroclástico, atingindo espessura considerável, de que são testemunhos os maciços do Pico da Antónia e da Malagueta.
- (iv) **Assomada** - Constituída exclusivamente por mantos basálticos subaéreos e escassos piroclastos discordantes sobre os derrames do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia.
- (v) **Complexo dos Órgãos** - Constituída basicamente por blocos muito espessos, angulosos, subangulosos e arredondados de natureza basáltica (e, em menor quantidade, fonolítica), que deverão resultar de fenómenos secundários de vulcanismo.
- (vi) **Complexo dos Flamengos** - Apresenta-se em mantos, brechas e piroclastos básicos, de grande uniformidade e extensão, de natureza submarina. Assinala-se, por vezes, empilhamento de pillow-lavas, que se distingue das lavas em rolos do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (pela tonalidade da alteração).
- (vii) **Complexo eruptivo interno antigo** - Corresponde às formações mais antigas da parte emersa da ilha e diz respeito, fundamentalmente, à densa rede filoniana que forma como que o esqueleto do vulcão no nível atual da erosão.

Por sua vez, e de acordo com o mesmo autor, Serralheiro (1976), a sequência hidrogeológica é integrada por três unidades, que são designadas por:

- **Unidade Recente**, muito permeável, constituída pela Formação do Monte das Vacas. Não permite a retenção das águas que, assim, se infiltram, privilegiadamente, em direção ao aquífero principal. Também se integram nesta unidade as aluviões.
- **Unidade Intermédia**, constituída pelo Complexo Eruptivo do Pico da Antónia que, por sua vez, é constituída essencialmente por mantos basálticos subaéreos e submarinos. É a unidade geológica mais espessa, mais extensa e que facilita a circulação da água no seu seio, apresentando uma permeabilidade bastante superior à da

unidade de base assumindo, por isso, as características do aquífero principal. Nesta unidade inclui-se também a formação de Assomada.

- **Unidade de Base**, constituída pelo Complexo Eruptivo Interno Antigo, Formação dos Flamengos e pela Formação dos Órgãos; caracteriza-se por possuir um grau de alteração relativamente elevado, o que lhe confere uma permeabilidade relativamente baixa e, por conseguinte, produtividade relativamente fraca.

3. Materiais e métodos

Para a descrição das propriedades físico-químicas da água realizou-se uma campanha de amostragem nos meses de outubro e novembro do ano 2014, após a época das chuvas. Foram colhidas 22 amostras, das quais 11 em poços, 6 em furos, 3 amostras de água nascentes, 1 amostra de água domiciliária e 1 amostra de tanque. Na figura 2 apresenta-se a localização dos pontos de amostragem, projetados sobre o extrato da carta geológica.

No campo foram efetuadas medições de pH, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (TSD) e temperatura da água com uma sonda multiparamétrica portátil, marca Orion, modelo Star 5. Os aniões (Br^- , Cl^- , SO_4^{2-} , F^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^-) foram analisados por cromatografia iónica com supressão química, usando um cromatógrafo Methrom (601 Compact IC Methrom). A alcalinidade (Alk.) determinou-se por volumetria e a oxidabilidade por permanganometria (MnO_4) no Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho (Portugal). Os catiões (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SiO_2 , Al , As , Cd , Pb , Cu , Cr , Fe , Li , Mn , Ni , Ag , Se , Zn) foram analisados por espectrometria de emissão atómica por plasma acoplado indutivamente no laboratório Actlabs (Canada).

As medições de campo e os resultados das análises laboratoriais foram introduzidos numa matriz de dados e sujeitos a tratamento estatístico, nomeadamente análise *cluster* (Método Ward), usando o programa STATGRAPHICS Centurion XVII.

4. Resultados e discussão

Na tabela 1 apresenta-se o sumário estatístico correspondente a parâmetros de campo, alcalinidade, aniões e catiões da componente maioritária e respectivos valores de referência (quadro legal de Cabo Verde e Organização Mundial de Saúde, OMS). O pH tem valores ligeiramente básicos, com mínimo de 6,8 e máximo de 8,3. Esta gama de valores pode considerar-se normal, levando em consideração o ambiente vulcânico e influenciado pelo clima árido, com baixo nível de precipitação. Diferenças ao nível da litologia e das propriedades dos terrenos drenados podem também contribuir para a variação de pH, em acordo com a distinta proveniência das amostras, evidenciada no extrato da carta geológica da figura 2. Para além disso, note-se que o universo de amostragem inclui duas amostras do sistema de distribuição (água de tanque e água domiciliária), as quais contribuem também para esta variação de pH. A condutividade elétrica varia entre 1361 e 369 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que demonstra que as águas subterrâneas têm uma salinidade muito variável. Nestes terrenos vulcânicos, a salinização dos aquíferos pode ter origem natural, devido a evapoconcentração da deposição do aerosol marinho, típico dos climas áridos e semiáridos, e também em resultado da interação água-rocha.

Tabela 1. Sumário estatístico dos parâmetros de qualidade das amostras de água e valores de referência.

Table 1. Statistical summary of the quality parameters of water samples and reference values.

Parâmetros Estatísticos				Decreto legislativo nº8/2004 de 23 de Fevereiro da República de Cabo Verde	OMS
Grandezas	Média	Máx.	Min.	VMA ¹	Valor referência
pH	7,33	8,25	6,76	9,5	6.5-.5
CE (µS/cm)	1361,0	2350	369,0	-	-
Alk (mg/L)	261,52	466,50	129,5	-	-
Cl ⁻ (mg/L)	181,66	458,40	43,02	250	250
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	50,97	167,88	6,87	250	250
NO ₃ ⁻ (mg/L)	52,52	213,94	0,06	50	50
NO ₂ ⁻ (mg/L)	2,31	6,20	0,10	3	0,1
Ca ²⁺ (mg/L)	75,10	192,00	12,80	100	-
Mg ²⁺ (mg/L)	54,98	105,00	8,50	50	-
Na ⁺ (mg/L)	95,51	321,00	34,30	150	50

¹ Valor máximo admissível

Podem também citar-se causas antropogénicas, relacionadas com a infiltração de elementos provenientes das águas de rega, que são frequentemente salobres (Cruz-Fuente, 2008). A potencial influência marinha é sugerida pelos valores baixos de alcalinidade, bem como pelos valores médios (181 mg/L) e máximos de cloreto, superiores a 450 mg/L, claramente acima dos valores estabelecidos pela OMS (Nações Unidas, 2010) e pelos decretos legislativos nº8/2004 de 23 de Fevereiro da República de Cabo Verde e nº 236/98 de 1 de Agosto da República de Portugal.

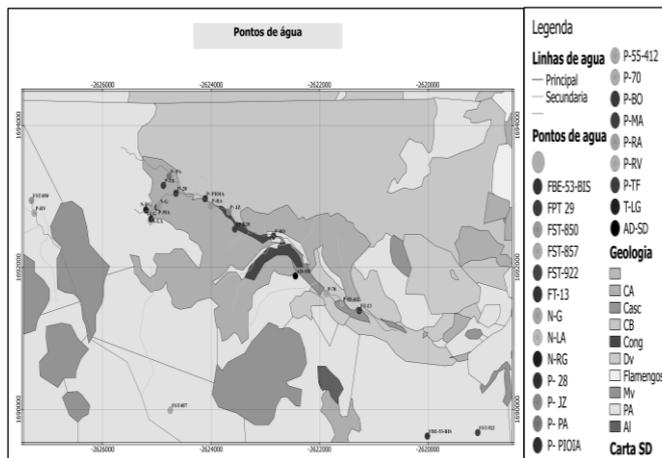


Fig. 2. Distribuição espacial dos pontos de água selecionados no Concelho de São Domingos. Mapa adaptado da folha nº 55 da Carta Geológica de Cabo Verde à escala 1/250.

Fig. 2. Spatial distribution of selected water points in São Domingos municipality. Map adapted from the sheet nº 55 of the Cape Verde Geological Map of the scale 1/250.

Elevadas concentrações de cloreto podem resultar ainda de uma contribuição fecal, na medida em que o concelho não dispõe de sistemas de depuração de águas residuais.

Esta possibilidade é reforçada pelos resultados dos nitratos. Estes têm um valor médio ligeiramente acima do valor máximo admissível, chegando a atingir um máximo de 214 mg/L. Este valor é muito elevado e adverte para a existência de uma forte contaminação.

A classificação hidroquímica com base no Diagrama de Piper (Fig. 3), mostra o predomínio da classe mista bicarbonatada com 11 amostras, seguida da classe mista cloretada com 5 amostras. As restantes correspondem a águas mistas, sódicas cloretadas e sódicas bicarbonatadas.

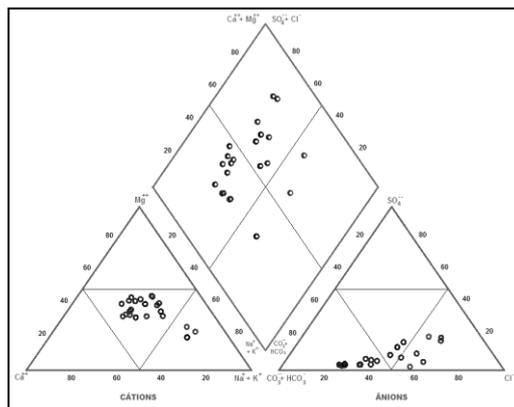


Fig. 3. Projção da composição química das amostras de água em estudo no diagrama de Piper.

Fig. 3. Projection of the chemical composition of the water samples in the Piper diagram.

A maioria das amostras, classificadas como mistas bicarbonatadas, corresponde a uma localização nas zonas mais altas do concelho, onde afloram as formações da Unidade Aquífera de Base e Intermédia e onde ocorre grande parte da precipitação.

A presença de ião bicarbonato poderá estar relacionada com a reação do CO₂ do solo durante o processo de infiltração nas zonas de recarga e com os primeiros estádios de dissolução de minerais carbonatados e hidrólise de minerais silicatados.

Nas águas cloretadas verifica-se a predominância do anião cloreto sobre os demais (50 % ou mais). A maior parte das amostras integradas na classe mista cloretada localiza-se em rochas sedimentares da unidade recente, maioritariamente areias, aluviões e cascalheiras de praia. Estas águas circulam a pouca profundidade o que lhe confere pouca lixiviação. Assim, de uma maneira geral, a interação água-rocha explica o quimismo da água. No entanto, a influência da atividade antrópica representada pelos usos e ocupações do meio físico, também controla as propriedades hidroquímicas, nomeadamente no que respeita a potenciais contribuições cloretadas.

5. Potabilidade

A água potável é definida como aquela que pode ser consumida pelo homem, cujas características não prejudicam a saúde. Na Fig. 4 destaca-se o número de amostras que ultrapassam o valor máximo admissível em determinados parâmetros.

O magnésio excede o padrão de potabilidade da água (50 mg/L) em cerca de 55 % das amostras analisadas. O nitrato é responsável pela falta de qualidade em cerca de 41 % das amostras, enquanto o nitrato se destaca pelo incumprimento em 27 % das amostras em estudo. Em 4 amostras, a água é imprópria para consumo humano relativamente aos parâmetros cloreto e total de sólidos dissolvidos.

No que diz respeito ao sódio, apesar de ser um elemento de origem predominantemente marinha, nas ilhas vulcânicas a meteorização pode ser responsável pelo aumento da sua

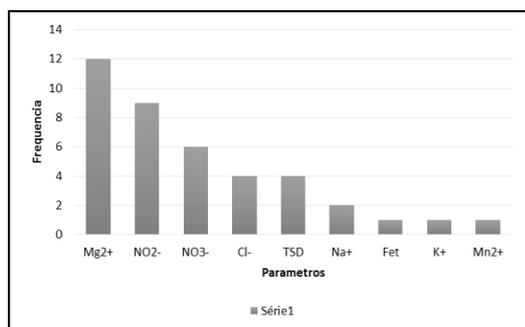


Fig. 4. Número de amostras que ultrapassam os valores máximos admissíveis (Decreto-Lei nº8/2004 de 23 de Fevereiro da República de Cabo Verde, e Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto da República de Portugal).

Fig. 4. Number of samples exceeding the maximum permissible values (Decree-Law nº8/2004 of 23 February of the Republic of Cape Verde, and Decree-Law nº236/98 of 1 August of the Republic of Portugal).

concentração (proveniente de fonólitos). Este apresenta-se como responsável pela falta de potabilidade apenas em duas amostras.

Os elementos da componente vestigial são muito importantes pela sua toxicidade, podendo ser responsáveis pela falta de potabilidade da água. No presente estudo, estes elementos ocorrem em concentrações muito baixas. De uma maneira geral, as análises efetuadas (como por exemplo ao alumínio) não permitiram a sua deteção e/ou a sua quantificação, pelo que se apresentam aqui os parâmetros estatísticos apenas os elementos que registaram teores mensuráveis nas amostras analisadas (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros estatísticos das concentrações dos elementos vestigiais presentes nas amostras de água em estudo (valores em µg/L)

Table 2. Statistical values for vestigial elements (values in µg/L).

Parâmetros	Max.	Min.	Média	Mediana	D.P.	C.V.	n
Bário (Ba)	170	20	62.14286	55	43.91304	0.706647	15
Manganês (Mn)	250	20	120	90	55.682	464.013	3
Cobre (Cu)	64	2	9.769231	3	14.51086	1.485363	13
Molibdenio (Mo)	22	17	19.5	19.5	5.789414	0.296893	2
Níquel (Ni)	6	5	5.5	5.5	1.625687	0.295579	2
Estrôncio (Sr)	2300	200	929.0909	925	666.3183	0.717172	22
Telúrio (Te)	20	10	13.33333	10	5.010811	0.375811	3
Vanádio (V)	20	10	15.38462	20	8.678979	0.564134	13
Zinco (Zn)	333	16	67.72727	32.5	78.01171	1.151851	22

n- número de amostras

6. Qualidade de água para irrigação

O diagrama de Riverside (Fig. 5), permite avaliar a qualidade da água para o uso agrícola, combinando as diferentes classes de risco de salinização e de risco de alcalinização do solo (Custodio e Llamas, 1983).

Constata-se que, cerca de 68 % das águas analisadas apresentam risco de salinização alto a muito alto. Quanto à alcalinização, apenas 9 % das amostras apresentam risco médio.

7. Modelo de interação água-rocha

A análise cluster (Método de Ward) suporta o modelo de interação água-rocha que explica o comportamento hidroquímico. Apesar do número reduzido de pontos de amostragem, o dendrograma resultante (Fig. 6) revela afinidades interessantes entre algumas variáveis, que podem ajudar a interpretar fenómenos de interação água-rocha. A influência marinha

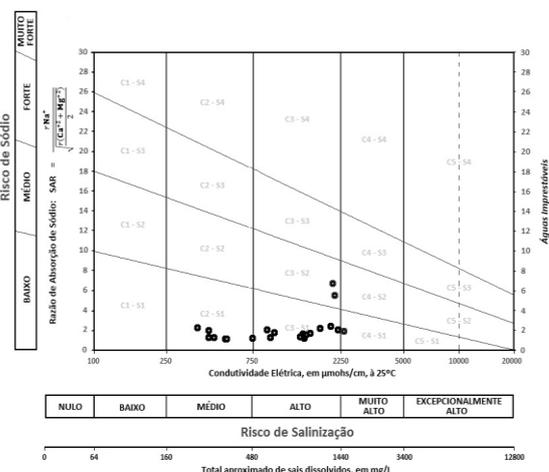


Fig. 5. Diagrama Riverside para avaliação da qualidade da água para rega.

Fig. 5. Riverside diagram for evaluation of irrigation water quality.

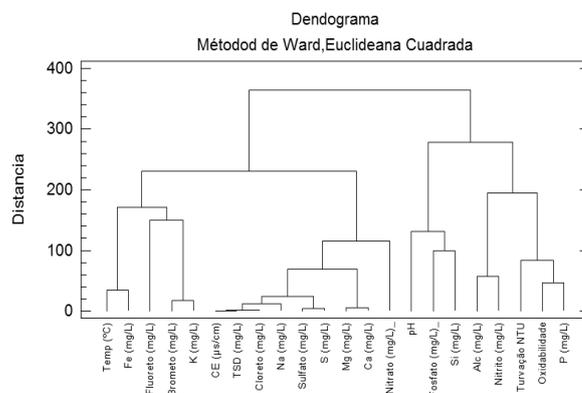


Fig.6. Dendrograma de variáveis para a análise cluster do Método Ward.

Fig.6. Dendrogram variables for analysis cluster Ward Method.

aparece claramente evidenciada pelo agrupamento que inclui a condutividade (CE), cloretos, sódio e sólidos dissolvidos totais. Este subcluster é o que tem razões de afinidade mais elevadas.

Fora dele, mas com grande proximidade, tem-se outro que agrupa os sulfatos, magnésio e cálcio. Portanto, todos estes elementos são indicadores marinhos, que podem estar relacionados com a litologia de fácies marinha e/ou com fenómenos de evapoconcentração da deposição do aerosol marinho, tal como indicado em Carreira *et al.* (2010).

Em todo o dendrograma, os parâmetros referidos são os únicos que revelam uma relação forte entre si. As restantes relações são pouco representativas, como se pode verificar pela elevada distância de corte de cada braço do gráfico. Apesar disso, note-se o agrupamento dos parâmetros nitrato, oxidabilidade e fósforo, potencialmente reveladores de processos de contaminação orgânica.

8. Conclusão

Os resultados obtidos sugerem as seguintes conclusões: (i) a análise das amostras revela a existência de fenómenos de salinização, que promovem a degradação natural da qualidade da água; (ii) não há fortes indícios de contaminação agrícola associada a fertilizantes fosfatados na região estudada, (iii) há

fortes evidências de contaminação orgânica, com origem em esgotos domésticos ou de pecuária. Não obstante, existe água com qualidade para rega e para consumo humano, pelo que se propõe as seguintes recomendações: (1) criação de um plano de monitorização da qualidade da água no concelho; (2) melhoria da eficiência do uso da água na agricultura; (3) combinação de uma melhor gestão da irrigação, com investimento no conhecimento local e em tecnologias modernas; (4) planificação consolidada e adequada da gestão dos recursos hídricos no concelho.

Referências

- Carreira, P., Marques, J. M., Pina, M., Gomes, M., Fernandes, P., Monteiro Santos, F., 2010. Groundwater Assessment at Santiago Island (Cabo Verde): A Multidisciplinary Approach to a Recurring Source of Water Supply. *Water Resources Management*, **24**: 1139-1159.
- Cruz-Fuentes, T., 2008. *Contribución de la modelación numérica e hidroquímica al conocimiento del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)*. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Custodio, E., Llamas, M., 1996. *Hidrologia subterránea* (2 ed.). Barcelona, Omega, 1570.
- Decreto-lei n.º 8 /2004 I série - n.º 6 «B O.» da República de Cabo Verde de 23 de fevereiro.
- Decreto-Lei n.º 236/98 I série-A N.º 176 - *Diário da República de Portugal* de 1 de agosto.
- Gomes, A., Pina, A. F. L., 2004. *As Principais Unidades Hidrogeológicas da ilha de Santiago*, Praia.
- Meng, S.; Maynard, B., 2001. Use of statistical analysis to formulate conceptual models of geochemical behavior: water chemical data from Botucatu aquifer in São Paulo State, Brazil. *Journal of Hydrology*, **250**: 78-97.
- Mota Gomes, A., 2007. *Hidrogeologia e recursos hídricos da ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 296.
- Nações Unidas, A. O., 2010. *Right to Water*. ONU- Habitat, 134.
- Pina, A. F. L., 2009. *Hidrogeoquímica e qualidade das águas subterrâneas da ilha de Santiago - Cabo Verde*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 232.
- Serralheiro, A., 1976. *A Geologia da Ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 218.