

**DELIMITAÇÃO DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO AO
FURO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE
SANTO ANTÓNIO DE NORDESTINHO
RELATÓRIO FINAL**

OUTUBRO DE 2010

R. Coutinho e J. V. Cruz

DTC20/CVARG/10

UNIVERSIDADE DOS AÇORES

INDICE

1. Introdução	2
2. Enquadramento Geológico	2
3. Condições de Emergência da Captação	4
4. Definição de Áreas de Protecção das Captações	8
4.1 - Poluição das Águas subterrâneas	8
4.2 - Aplicações	12
5. Recomendações	18
6. Bibliografia	19



1. Introdução

O presente relatório resulta da solicitação formulada pela NORDESTE ACTIVO – Empresa Municipal de Actividades Desportivas, Recreativas e Turísticas, Água e Resíduos, E. E. M., à Fundação Gaspar Frutuoso, em colaboração com Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, para a elaboração do estudo conducente ao estabelecimento dos perímetros de protecção ao furo de captação de água de Santo António de Nordestinho, concelho de Nordeste.

2. Enquadramento Geológico

O furo de captação de água de Santo António de Nordestinho localiza-se na freguesia de São Pedro Nordestinho, próximo do limite com a freguesia de Santo António do Nordestinho, no extremo oriental da ilha de São Miguel.

Do ponto de vista geológico, o sector oriental de S. Miguel é formado pelo Complexo Vulcânico Povoação-Nordeste. Segundo Moore (1990), este complexo corresponde a um vulcão em escudo intensamente dissecado pela erosão, onde são visíveis cursos de água profundamente encaixados e com extensões consideráveis, como é o caso da Ribeira do Guilherme (Fotografia 1), que corta espessas sequências de lavas. O Complexo caracteriza-se, ainda, pela existência de importantes depósitos epiclásticos, resultantes do prolongado desmonte do edifício vulcânico, e apresenta arribas muito altas e escarpadas no troço costeiro.

No que respeita à geologia do Complexo Vulcânico Povoação-Nordeste, Zbyszewski (1958) refere que esta região *s. l.* é essencialmente constituída por escoadas lávicas e depósitos piroclásticos. Em trabalho mais recente Moore (1990) indica que o maciço apresenta formações com idades compreendidas entre 0,1 e os 4,01 Ma., A idade de 4,01 Ma coincide com a idade determinada por Abdel-Monem *et al.* (1975) pelo método de K-Ar e, segundo estes autores, corresponde ao que consideram ser as lavas aflorantes mais antigas do maciço, e da ilha.

Fernandez (1980) estabeleceu as sequências estratigráficas do Complexo do Nordeste e considerou as lavas com 4,01 Ma como pertencentes à Sequência dos Basaltos Inferiores, a que se sobrepõem as sequências dos Ancaramitos, dos Basaltos Superiores, com 1,86 Ma, dos Traquitos e Tristanitos, com idades compreendidas entre os 1,28 e 0,95 Ma.



Fotografia 1 – Vista da zona da Tronqueira e dos vales encaixados que drenam para a Ribeira do Guilherme.

Em trabalho mais recente, Johnson *et al.* (1998) realizaram datações com recurso ao método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ que apontam para idades muito inferiores às previamente determinadas por Fernandez (1980) e Abdel-Monem *et al.* (1975). Em vez dos 4,01 Ma obtidos por Fernandez (1980) para os basaltos colhidos na base da arriba do porto do Nordeste, pertencentes à Sequência dos Basaltos Inferiores, é referida uma idade de 0,878 Ma, enquanto que para lavas da Sequência dos Basaltos Superiores colhidas na Ribeira Despe-te que Suas, foram obtidas idades entre os 0,78 e 0,82 Ma.

A cobrir todas as unidades descritas, aflora numa grande extensão deste complexo vulcânico, o depósito da erupção histórica do Fogo de 1563 (Booth *et al.* 1978; Wallenstein, 1999).

No que se refere à tectónica, o Complexo Vulcânico Povoação-Nordeste é atravessado pelas direcções estruturais principais, NNW-SSE e WNW-ESE e por uma outra de menor expressão, NE-SW (Carmo, 2004; Carmo *et al.*, 2005; Carmo *et al.*, 2009). Estas orientações estruturais são observadas

principalmente nas arribas, bem como em alguns afloramentos em estradas, com expressão em falhas e numa densa rede de filões.

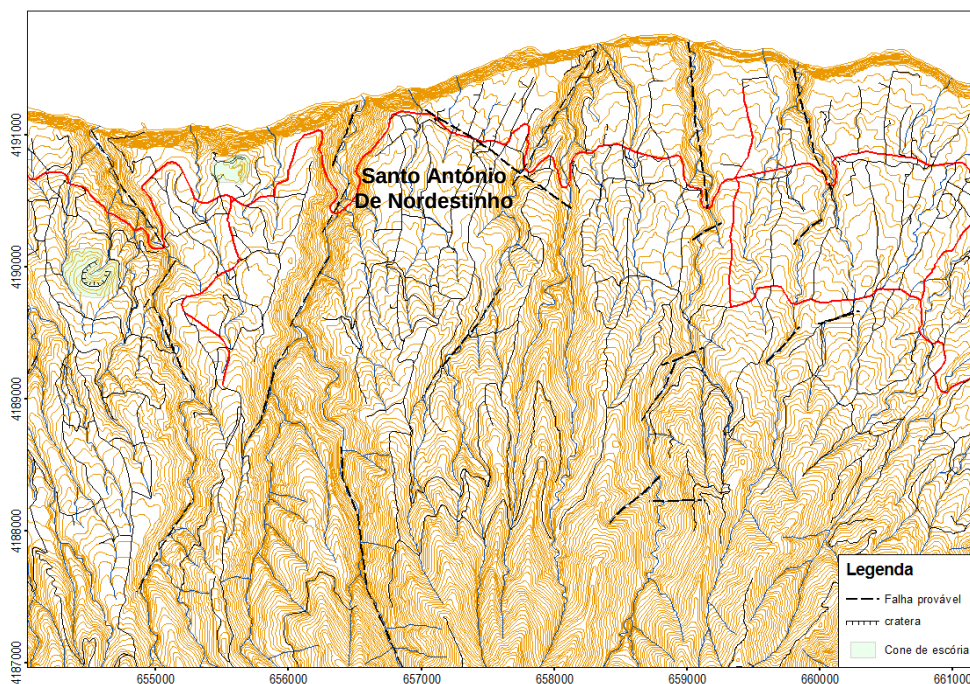


Fig. 1 – Enquadramento geomorfológico e principais estruturas tectónicas da área de estudo do Complexo Povoação-Nordeste (adaptado de Carmo, em preparação).

3. Condições de Emergência da Captação

O furo de Santo António de Nordestinho (Fotografias. 2 e 3) localiza-se num ponto de coordenadas UTM M 657746 e P 4190657. A cota da boca do furo situa-se aos 155,73 m e este atinge uma profundidade de 200 m.

Como se pode observar nas Figuras 1 e 2, a captação foi executada muito próximo da intersecção de duas falhas prováveis com direcções NE-SW e WNW-ESE. Do ponto de vista litológico e tendo presente o *log* do furo constante do relatório do furo apresentado pela empresa SONDALIS, os primeiro 15 m da sondagem atravessaram solos e, dos 15 m aos 200 m, basaltos de cor cinzento-escuro. Embora a observação de afloramentos rochosos no local seja difícil devido ao coberto vegetal, é possível verificar, através das Fotografias 2, 4 e 5, que os materiais aflorantes são essencialmente constituídos por solos e/ou basaltos muito alterados.

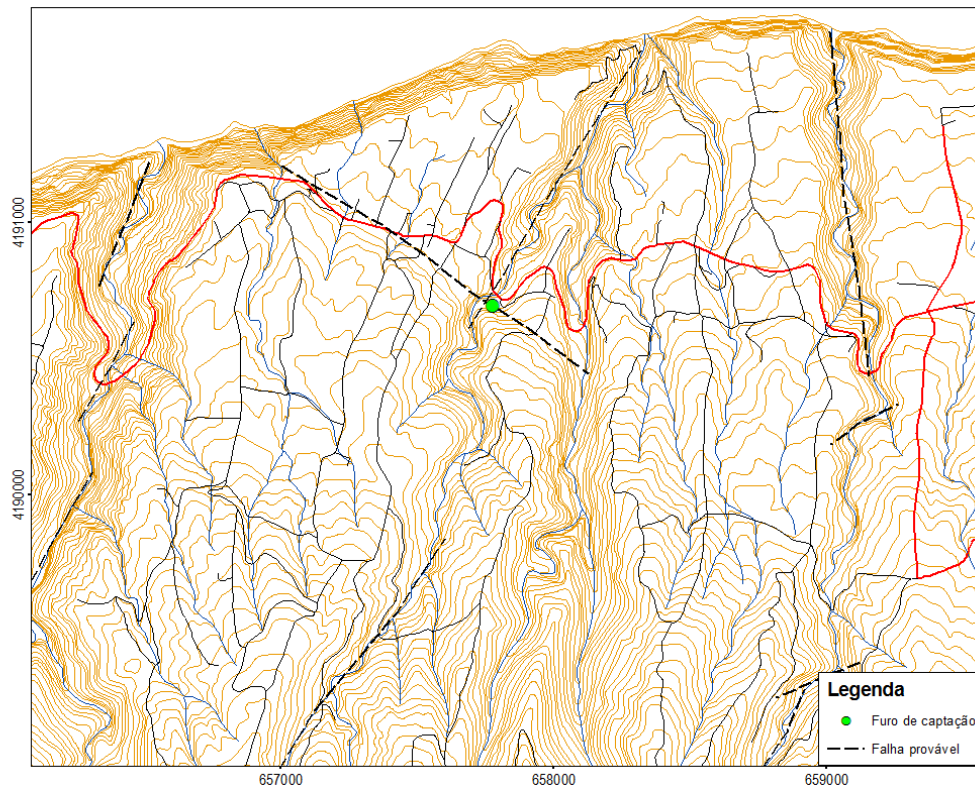


Fig. 1 – Localização do furo de captação de água de Santo António de Nordestinho, próximo da intersecção de duas falhas prováveis com direcções NE-SW e WNW-ESE.



Fotografia 2 – Localização do furo de Santo António de Nordestinho (seta amarela) podendo observar-se à esquerda o reservatório.

A Fotografia 6 foi tirada a montante do local do furo, numa zona onde estão a ser realizados trabalhos conducentes à implantação da nova estrada para o Nordeste (SCUT). Na parte superior da fotografia 6(A) pode observar-se um nível pouco espesso de solo, sobrejacente a uma zona em que a alteração se manifesta através da disjunção esferoidal do basalto. Na parte inferior da imagem pode observar-se parte de um nível de basalto muito alterado, em que a arenização é evidente. A Fotografia 6(B) mostra um afloramento em que é possível observar um nível de solo no topo, com uma espessura da ordem do 3 a 4 m. Subjacente ao solo pode ver-se uma escoada lávica de natureza basáltica s.l., muito alterada, que se sobrepõe a um nível avermelhado resultante da alteração térmica provocada pela escoada e, na base, uma escoada lávica mais espessa que exhibe uma grau de alteração significativo.



Fotografia 3 – Pormenores da captação (A) e (B) vistos do lado nascente.



Fotografia 4 – (A) Aspecto da área aflorante, constituída por basaltos alterados, próximo da captação (B) vista do local da captação, podendo observar-se à esquerda da imagem os blocos de basaltos que afloram na área.



Fotografia 5 – (A) Aspecto da captação com a ribeira em 2º plano (B) pormenor do material aflorante na margem da ribeira, constituído essencialmente por basaltos s.l. muito alterados.



Fotografia 6 – (A) Vista geral do local onde se estão a realizar os trabalhos da nova estrada para o Nordeste; (B) Aspecto dos basaltos alterados onde se observa disjunção esferoidal e (C) Afloramento onde se observa uma sequência de escoadas lávicas alteradas cobertas por nível de solos relativamente espesso.

Se cruzarmos a informação contida no *log* do furo com as observações no terreno, podemos admitir que os primeiros metros da sondagem atravessaram um nível de solo, com evidências de

importantes processos remobilização da série basáltica, com passagem a uma espessura considerável de basaltos alterados, que no referido *log* são, ainda, designados como solos.

4. Definição de Áreas de Protecção das Captações

4.1 - Poluição das Águas subterrâneas

A contaminação do meio hídrico nos Açores, fruto das cargas poluentes resultantes das práticas agrícolas, devido ao enriquecimento em nutrientes e fitofármacos que se produz, constitui um dos principais processos responsáveis pela degradação da qualidade das águas de superfície e subterrâneas.

Os fertilizantes inorgânicos de azoto (N), de fósforo (P) e de potássio (K) possuem elevada solubilidade, pelo que são rapidamente dissolvidos na água após a sua aplicação nos solos. Deste modo, o perigo de contaminação decorrente da sua utilização resulta da lixiviação de iões e substâncias tóxicas após a sua decomposição no solo ou, indirectamente, quando estes produtos são libertados nos aquíferos (Houzin *et al.*, 1986).

A degradação de um fertilizante no solo depende das suas características e processa-se por mecanismos de natureza eminentemente química. Na decomposição de um fertilizante azotado no solo intervêm essencialmente reacções de redução combinadas com processo bioquímicos, produzindo-se a libertação do azoto em meio ácido sobre a forma de nitrato, enquanto em meio neutro ou alcalino as plantas absorvem aquele elemento sob a forma do ião amónio.

A utilização intensiva de adubos deste tipo, superior à capacidade de assimilação das plantas, conduz a um perigo potencial de lixiviação de iões, como o nitrato ou o amónio, com evidentes consequências para a qualidade da água subterrânea.

Por outro lado, a decomposição dos fertilizantes orgânicos no solo processa-se quer por intermédio de reacções bioquímicas complexas da matéria orgânica, quer como resultado do seu

decaimento natural (Houzin *et al.*, 1986). Quando a matéria orgânica se degrada libertam-se iões (K^+ , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , S^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^-), bem como complexos orgânicos que formam o húmus. A lixiviação do amónio, do nitrito e do nitrato provocam um perigo potencial de degradação da qualidade da água subterrânea.

Os microrganismos presentes nos adubos orgânicos, especialmente quando se recorre à utilização de fezes de animais sem estabilização térmica e anaeróbia prévia, acarretam um potencial poluente elevado para a qualidade da água. De igual modo, a utilização de fertilizantes orgânicos no estado líquido, com NH_4^+ , constitui um perigo significativo de contaminação da água subterrânea por nitratos (Houzin *et al.*, 1986).

No Plano Regional da Água são apresentadas estimativas das quantidades de fertilizantes aplicadas por ilha (DROTRH-INAG, 2001). Em S. Miguel empregam-se 16115 T/ano de fertilizantes azotados, 4599 T/ano de fertilizantes compostos ternários (N-P-K), 3002 T/ano de fertilizantes fosfatados e 2997 T/ano de fertilizantes compostos binários (N-P). As quantidades específicas dos fertilizantes elementares e compostos são as constantes da Tabela 1.

Nos Açores as cargas poluentes provocadas pelos efectivos pecuários constituem outra contribuição importante para o enriquecimento em nutrientes. No Plano Regional da Água apontam-se, para o concelho da Povoação, cargas geradas pelo efectivo bovino entre 600 a 1000 T/ano de N e 100 a 400 T/ano de P_2O_5 .

O principal problema relacionado com a carga poluente azotada prende-se com a poluição por nitratos. De facto, o azoto (N) em solução apresenta-se segundo três espécies predominantes: uma catiónica – a amónia (NH_4^+), e duas aniónicas - o nitrito (NO_2^-) e o nitrato (NO_3^-). As espécies aniónicas dissolvidas são estáveis numa gama ampla de condições ambientais, podendo ser facilmente lixiviadas e transportadas em solução, representando, assim, um maior perigo para a qualidade da água subterrânea. Quando comparada com estas formas de carga negativa, a amónia é menos móvel, devido ao facto de ter tendência a ser fortemente adsorvida nas superfícies minerais do solo (Hem, 1985).

A presença de espécies azotadas na água deve-se ao facto deste ser um elemento importante na nutrição das plantas e animais, através da incorporação natural no solo, e de outros mecanismos decorrentes das actividades humanas. Entre estas destacam-se a descarga de águas residuais urbanas e de efluentes industriais, a lixiviação de resíduos sólidos urbanos e as actividades agrícolas, especialmente a má aplicação ou não controlada de fertilizantes azotados e os efluentes orgânicos da actividade pecuária (Martinez *et al.*, 1990).

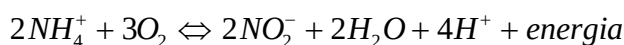
A concentração do azoto no solo sobre a forma de matéria orgânica implica que para ser utilizado pelas plantas, este elemento tenha de sofrer um processo de mineralização, por via da degradação bioquímica da matéria azotada. Esta transformação é controlada por microrganismos e pode dividir-se em três fases principais. Numa primeira fase, denominada aminificação, as proteínas e outros compostos azotados são transformados em aminas e aminoácidos.

Tabela 1: Quantidades específicas de fertilizantes elementares e compostos aplicados na ilha de São Miguel (DROTRH-INAG, 2001).

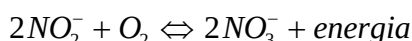
Tipo	Composição	Quantidade (kg/ha SAU)
Simples	N	392
Simples	P	73
Composto	N-P	73
Composto	P-K	7
Composto	N-P-K	112
Estrume animal	-	164

Na segunda fase, a amonificação, observa-se a transformação das aminas e aminoácidos em compostos amoniacais por acção de microrganismos heterotróficos. A terceira e última fase deste processo é a nitrificação que, por via da oxidação dos compostos amoniacais, conduz à formação do ião nitrito e, subsequentemente de nitrato. Este mecanismo de oxidação, catalisado por microrganismos autotróficos, pode produzir-se por duas reacções sucessivas (Martinez *et al.*, 1990):

(i) formação de nitrito por oxidação do ião amónio, num processo controlado pelas nitrosobactérias (*nitrosomonas*)



(ii) formação de nitrato por oxidação do nitrito, num processo controlado pelas nitrobactérias (*nitrobacter*)



A propagação da poluição da água por nitratos induz perdas económicas significativas, devido à aplicação de programas de prevenção e recuperação de aquíferos contaminados, alguns dos quais contemplados na legislação portuguesa e da União Europeia, assim como da necessidade de encontrar novos recursos e dos investimentos efectuados no tratamento da água contaminada (Martinez *et al.*, 1990).

Outro problema de saúde pública que pode ocorrer resulta do excesso de nitratos na água subterrânea. As implicações na saúde pública decorrem da redução do nitrato em nitrito, podendo originar substâncias cancerígenas ou induzir a formação de metahemoglobina (oxidação do ferro ferroso da hemoglobina em ferro férrico) conducente ao estado cianótico pela perda de capacidade de transporte de oxigénio. A cianose, percebida pela cor azul da pele, é particularmente perigosa nos lactantes menores de 3 meses de idade porque não possuem mecanismos enzimáticos que permitam a conversão em oxihemoglobina, podendo facilmente atingir um estado comatoso (Martinez *et al.*, 1990).

A produção de substâncias cancerígenas, tais como as nitrosaminas e as nitrosamidas é outro processo perigoso para a saúde humana. A oxidação de nitrato em nitrito na flora intestinal e a subsequente reacção deste último com aminas e amidas secundárias, explica a formação destas substâncias potencialmente cancerígenas (Rajopal e Tobin, 1989), pese embora o facto de estes autores afirmarem que o surgimento de problemas oncológicos associados ao excesso de nitratos, carece de investigação mais aprofundada.

No que respeita ao enriquecimento em fósforo o problema mais significativo que põe, do ponto de vista da qualidade da água nos Açores, é de natureza antropogénica e decorre da

eutrofização das massas de água de superfície. Neste caso as massas de água ficam extremamente enriquecidas em nutrientes e apresentam elevadas concentrações de plâncton devido à produtividade orgânica (Berner e Berner, 1987).

No que concerne à utilização de fitofármacos não se dispõe de muita informação sobre a sua aplicação nos Açores, lacuna que é devidamente referida no Plano Regional da Água, apontado para a identificação de vestígios de pesticidas organoclorados na Lagoa do Fogo (DROTRH-INAG, 2001).

4.2 - Aplicações

O decreto-lei nº 382/99, de 22 de Setembro, estabelece as normas e os critérios para a delimitação das zonas de protecção às captações de água subterrânea, quando estas sejam destinadas ao abastecimento público de aglomerados populacionais com mais de 500 habitantes, ou quando o caudal é superior a 100 m³/dia. Neste diploma, são definidas três zonas contíguas de defesa:

- Zona de Protecção Imediata - imediatamente junto da captação de água subterrânea, deve promover a protecção directa das próprias instalações da captação.
- Zona de Protecção Intermédia - área exterior contígua à zona de protecção imediata, de forma a promover a eliminação ou redução da poluição da água subterrânea, mediante a limitação, ou mesmo proibição, de actividades e/ou instalações susceptíveis de ter um impacto negativo sobre a qualidade da água subterrânea. Estas actividades correspondem a acções directas, relacionadas com a percolação de poluentes, ou indirectas, por modificação do fluxo natural para a captação ou das condições de infiltração junto do ponto de água.
- Zona de Protecção Alargada - área exterior contígua à zona de protecção intermédia, definida de forma a promover a protecção da água subterrânea face a poluentes persistentes, de difícil atenuação natural (compostos orgânicos, substâncias radioactivas, metais pesados, hidrocarbonetos e nitratos). Tal como na área de protecção contígua as actividades humanas podem ser condicionadas e/ou interditas,

atendendo às características do foco de poluição (modo de descarga e volume de poluentes rejeitados) e dos poluentes (natureza) e às condicionantes geológicas e hidrogeológicas.

Para a consecução do objectivo de delimitação das áreas de protecção o decreto-lei nº 382/99 postula o primado da realização de estudos hidrogeológicos específicos, acompanhados por estudos económicos, na estrita obediência de critérios geológicos, hidrogeológicos e económicos. No entanto, e atendendo ao produto final requerido, resulta de imediato que os critérios de natureza técnica devem prevalecer sobre as condicionantes financeiras.

Não obstante, e na ausência de informação quantitativa sobre as características aquíferas, a legislação advoga a adopção do método do Raio Fixo. Este método consiste no estabelecimento do intervalo de tempo necessário à depuração microbiológica, 50 dias para a zona de protecção intermédia e 3500 dias para a zona alargada, que conjugada com a informação hidrogeológica permite calcular o raio do perímetro de protecção, de acordo com a expressão numérica seguinte:

$$r_i(t) = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{3,14 \cdot n_e \cdot H}}$$

Em que:

r_i , raio fixo calculado para um determinado tempo de depuração, t

Q , caudal da captação

n_e , porosidade eficaz

H , espessura saturada

No decreto-lei nº 382/99 são ainda referidos os valores do raio da zona imediata e os valores mínimos e máximos para as zonas contíguas, em função de vários tipos de aquíferos. O artigo 5º do decreto-lei nº 382/99 apresenta, também, algumas normas genéricas sobre a protecção sanitária das captações. Estas normas devem ser observadas, em especial atendendo ao facto de muitas nascentes nos Açores não observarem condições mínimas de protecção sanitária.

Deste modo, o primeiro passo da abordagem metodológica delineada consistiu em realizar um levantamento exaustivo da área circundante da captação de água subterrânea em estudo, e respectiva cartografia à escala de trabalho acordada com a NORDESTE ACTIVO.

Com base nos sistemas tipo considerados, estabelecidos em função dos critérios discutidos em Coutinho *et al.* (2007), considera-se que a zona de protecção imediata é consubstanciada por um círculo cujo raio é indicado no decreto-lei nº 382/99, nomeadamente 60 m para o caso vertente. Adoptou-se, assim, um valor similar ao considerado no caso das emergências que drenam aquíferos fissurados, formados por escoadas lávicas.

Para a definição da zona de protecção intermédia, e na falta de elementos de base que permitissem a aplicação de modelos de fluxo de água subterrânea, quer analíticos, quer numéricos, considerou-se mais adequado definir um círculo, com centro na captação, cujo raio foi calculado em função das características hidrogeológicas calculadas a partir de dados constantes do relatório de sondagem da SONDALIS (Tabela 2). De acordo com os dados contidos na referida Tabela, e face ao comportamento hidrodinâmico esperado naquele meio, optou-se por seleccionar o raio igual a 150 m, calculado em função de um valor de n_e igual a 0,01.

Tabela 1: Valores dos parâmetros utilizados no cálculo do perímetro de protecção intermédia.

Parâmetro	Valores
Q - Caudal da captação	705,6 m ³ d ⁻¹
n_e - Porosidade eficaz	0,01
H - Espessura saturada	50 m

Para a definição da zona de protecção alargada (ZPA) um estudo piloto realizado em São Miguel propõe aproximar as bacias de escoamento subterrâneo mediante a análise das bacias de escoamento superficial, não obstante o erro que se comete ao assumir uma identidade entre ambas (LNEC, 1990; Cruz *et al.*, 2001; Coutinho, *et al.*, 2007).

A cartografia das zonas de protecção imediata e intermédia foi realizada de modo a permitir visualizar o perímetro de protecção alargada de cada captação, implantados em ortofotomapas e na base da Carta Militar de Portugal, dos SCE.

Os perímetros de protecção imediata e intermédia podem ser observados no ortofotomapa da figura 3 e na base da Carta Militar de Portugal dos SCE (Fig. 4). Os perímetros de protecção imediata, intermédia e alargada estão representados nas figuras 5 e 6, em ortofotomapa e Carta Militar dos SCE, respectivamente.

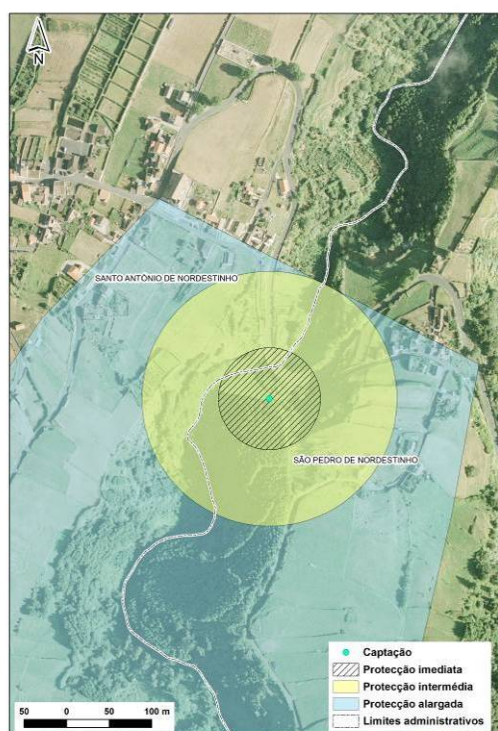


Figura 3 – Representação em ortofotomapa dos perímetros de protecção imediata e intermédia.

Em súmula, propõe-se a seguinte delimitação (os dados relativos aos polígonos de protecção da captação estão gravados no CD anexo a este relatório):

- O perímetro de protecção imediata corresponde a um círculo com um raio de 60 m, com centro no ponto de coordenadas UTM M 657746 e P 4190657.

- O perímetro de protecção intermédia corresponde a um círculo com um raio de 150 m, com centro no ponto de coordenadas UTM M 657746 e P 4190657.
- O perímetro de protecção alargada coincide com o limite da bacia hidrográfica, a montante, e a juzante, coincide com o limite da protecção intermédia.

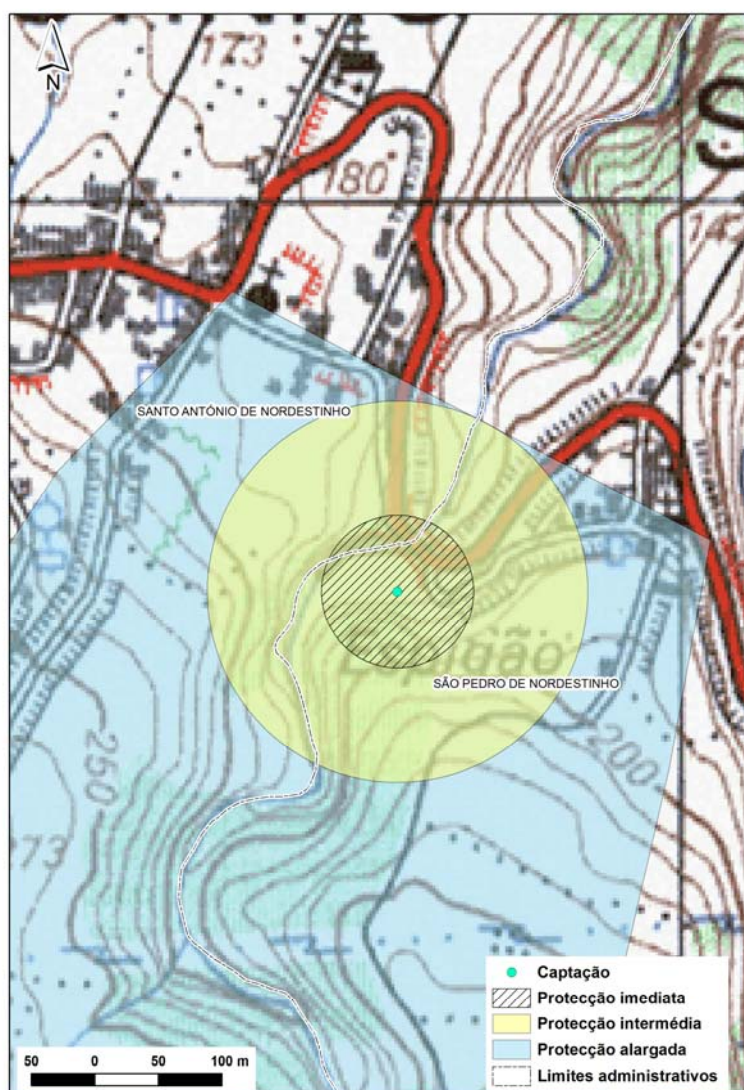


Figura 4 – Representação na Carta Militar dos SCE dos perímetros de protecção imediata e intermédia.



Figura 5 – Representação em ortofotomapa dos perímetros de protecção imediata, intermédia e alargada.

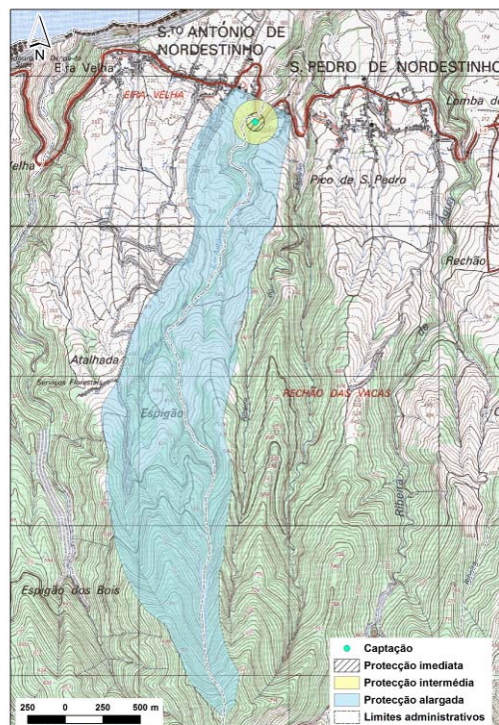


Figura 6 – Representação na Carta Militar dos SCE dos perímetros de protecção imediata, intermédia e alargada.

5. Recomendações

Se atendermos ao exposto no ponto 4.1 deste relatório, sobretudo no que respeita ao impacto sobre a qualidade da água decorrente da actividade agrícola, e nomeadamente da pecuária, importa igualmente restringir na zona de protecção intermédia os usos deste tipo. Neste contexto, propõe-se que na zona intermédia seja limitada a actividade agrícola de qualquer tipo, evitando a aplicação desregrada de pesticidas, insecticidas, fungicidas e de fertilizantes. Nesta área dever-se-á, ainda, favorecer acções de reflorestação do terreno.

As actividades do sector primário acima referidas devem ser, também, condicionadas na zona de protecção alargada, o que, à imagem da zona de protecção intermédia, deve ser articulado com a realização de uma fiscalização do uso do solo, bem como com a monitorização da qualidade da água subterrânea. Assim, recomenda-se que a aplicação de fertilizantes e outros produtos como os pesticidas deverá ser acompanhada pelas entidades oficiais competentes, de forma a obter um licenciamento específico, bem como um aconselhamento aos agricultores, visando em ambos os casos a prevenção de situações de sobredosagem.

Por outro lado, todas as actividades humanas alvo de condicionamento de acordo com o disposto no decreto-lei nº 382/99 devem ser sujeitas a pedido de autorização quando pretendam promover alguma modificação do seu estado de desenvolvimento actual. Deve, ainda, ser sujeita a autorização prévia a realização de arroteias, que usualmente visam alargar a área devotada à pastagem de gado.

Finalmente, recomenda-se que sejam tomadas as devidas precauções sanitárias, nomeadamente promovendo a adequada protecção da cabeça do furo assim como da tubagem de ligação ao reservatório.

6. Bibliografia

- Abdel-Monem, A.A., Fernandez, L.A., Boone, G.M., 1975. K-Ar ages from the eastern Azores group (Santa Maria, São Miguel and the Formigas Islands). *Lithos*, 8, 247-254.
- Berner, E.K. e Berner, R.A. (1987) – The global water cycle. *Geochemistry and environment*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 397 p.
- Booth, B., Croasdale, R., Walker, G.P.L., 1978. A quantitative study of five thousand years of volcanism on S. Miguel, Azores. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 228, 271-319.
- Carmo, R., 2004. Geologia estrutural da região Povoação - Nordeste (ilha de S. Miguel, Açores). Tese de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 133 p.
- Carmo, R., Em preparação. Estudos de neotectónica na ilha de S. Miguel, uma contribuição para o estudo do risco sísmico no arquipélago dos Açores. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores.
- Carmo, R., Ferreira, T., Gaspar, J.L., Madeira, J., 2009. Stress-fields at S. Miguel island (Azores): first approach. Abstract Volume da International Summer School "Field volcanological laboratory: the Nisyros and the adjoining volcanoes, Greece" - a window on the pre-eruptive magma processes. IAV, Greece, 25-30 Setembro.
- Carmo, R., Madeira, J., Gaspar, J.L., 2005. Structural geology of Povoação-Nordeste region (S. Miguel Island, Azores). *Geophysical Research Abstracts*, 7, EGU05-A-10454, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-10454.
- Coutinho, R., Freire, P., Antunes, P. (2007) – Definição de perímetros de protecção às captações de água subterrânea da ilha do Corvo (Açores). Relatório Técnico-Científico 69/CVARG/07, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 51p.
- Custodio, E. e Llamas, M.R. (1983) - Hidrologia subterranea. Ed. Omega S.A., 2º Ed., 2 Vol., Barcelona, 2350 p.
- Domenico, P.A. e Schwartz, F.W. (1998) - Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, 2nd ed., New York, 506 p.
- DROTRH-INAG (2001) - Plano Regional da Água – Relatório Técnico, Versão para consulta Pública, Ponta Delgada. 414p.
- Fernandez, L. A., 1980. Geology and petrology of the Nordeste volcanic complex, São Miguel, Azores: Summary. *Geological Society of America Bulletin*, 91, 675-680.
- Hem, J.D. (1985) – Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 2254, 263 p.
- Houzin, V., Vávra, J., Fuksa, J., Pekný, V., Vrba, J. E Stibral, J. (1986) – Impact of fertilizers and pesticides on groundwater quality. In: Vrba, J. e Romijn, E. (eds.), *International Contributions to Hydrogeology* 5, Heise, Hannover: 89-132.

- Johnson, C.L., Wijbrans, J.R., Constable, C.G., Gee, J., Staudigal, H., Tauxe, L., Forjaz, V.H., Salgueiro, M., 1998. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and Azores palaeomagnetism of São Miguel lavas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 160, 637-649.
- LNEC (1990) – Protecção das nascentes e captações da ilha de São Miguel – Açores. Relatório 83/90–NP, LNEC, Lisboa, 64 p.
- Martinez, A.G., Romero Macias, E. e Caballero Rodriguez, M.J. (1990) – Problemática de la contaminación de aguas subterráneas por nitratos. In: Livro de Homenagem ao Prof. Doutor Carlos Romariz, Ed. DGFCUL, Lisboa, 127-150.
- Moore, R.B. (1990) - Volcanic geology and eruption frequency, São Miguel, Azores. *Bull. Volcanol.* 52: 602-614.
- Moore, R. (1991) - Geologic map of São Miguel, Azores. U.S.G.S. Miscellaneous Investigations Series Map I-2007.
- Rajopal, R. E Tobin, G. (1989) – Expert opinion and groundwater quality protection: the case of nitrate in drinking water: *Ground Water* 27: 835-847.
- Wallenstein, N., 1999. Estudo da história eruptiva recente e do comportamento eruptivo do vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores). Avaliação preliminar do hazard. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 266 p.
- Zbyszewski, G., Moitinho d'Almeida, F., Ferreira, O.V. e Assunção, C.T. (1958) - Carta Geológica de Portugal; notícia explicativa da folha "B" da ilha de São Miguel (Açores). *Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 37 p.