

HIDROGEOLOGIA DE ILHAS VULCÂNICAS: CASO ESTUDO DA ILHA GRACIOSA (AÇORES, PORTUGAL)

Paulo BORGES¹, José AZEVEDO^{1,3}, Francisco RODRIGUES^{2,4}

1. Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, Coimbra, paulo.filipe.borges@hotmail.com, jazevedo@uct.uc.pt

2. Universidade dos Açores, Rua Capitão João d'Ávila – Pico da Urze, Angra do Heroísmo, francisco.c.rodrigues@uac.pt

3. Centro de Investigação da Terra e do Espaço-CITEUC

4. IITAA - Instituto de Investigação de Ciências Agrárias e do Ambiente

RESUMO

A ilha Graciosa possui uma área plana de 60,66 km² e é constituída por três Complexos vulcânicos profundamente deformados pela tectónica local que se desenvolve em ambiente de rifte. A precipitação média anual na ilha ronda os 920 mm, sendo a menor das nove ilhas que constituem o Arquipélago dos Açores. Com base em dados de campo e em elementos bibliográficos, com realce para a Carta tectónica e vulcano-estratigráfica 1:10.000 de Gaspar & Queiroz (1995), propõem-se as seguintes conclusões de natureza hidrogeológica: (1) o edifício insular poderá ser dividido em dois domínios hidrogeológicos; (2) a recarga aquífera efetua-se fundamentalmente por infiltração e infiltração profunda, ocorrendo maioritariamente nas zonas mais altas da ilha; (3) ocorrem vários aquíferos suspensos, embora as maiores massas de água subterrânea se implantam nos aquíferos basais; (4) a descarga natural faz-se sobretudo pelas nascentes e para o mar, enquanto que a induzida ocorre através de poços e furos.

Palavras-Chave: Ilha Graciosa; Hidrogeologia; Domínios hidrogeológicos.

1. INTRODUÇÃO

As massas de águas subterrâneas em pequenas ilhas vulcânicas apresentam, no geral, dimensões reduzidas e, assim, elevadas susceptibilidades às variações climáticas. Alguns destes corpos hídricos, constituem um importante recurso natural, fundamental para o abastecimento doméstico e para as outras atividades antrópicas.

Assim, o estudo da hidrogeologia insular e dos principais reservatórios hídricos naturais (aquíferos) é muito relevante porque proporciona ferramentas fundamentais para a correta gestão e exploração sustentável das massas de água insulares. A presente comunicação decorre do estudo de Borges (2019) que contribuiu para o entender da hidrogeologia insular da ilha Graciosa, com particular ênfase na definição dos diversos domínios hidrogeológicos.

2. ENQUADRAMENTO GERAL

2.1. Geográfico e Administrativo

A ilha Graciosa constitui uma das nove ilhas do Arquipélago dos Açores (Portugal). Localiza-se no Atlântico Norte, sendo a mais setentrional do Grupo Central do arquipélago (Fig.1). A parte emersa do edifício insular, com uma área plana de 60,66 km², tem uma configuração aproximadamente elíptica com orientação NW-SE.

Administrativamente, as massas de água subterrâneas insulares estão sob a jurisdição da Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território (DSRHOT). A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA) exerce as funções reguladoras e orientadoras nos sectores de abastecimento público de água para consumo humano, das águas residuais urbanas e dos resíduos e, complementarmente, funções de fiscalização e controlo da qualidade da água.

2.2. Geológico e Geomorfológico

Geologicamente, o edifício insular em estudo organiza-se em três Complexos vulcânicos (CV), do mais antigo para o mais recente (Gaspar, 1996): CV da Serra das Fontes; CV da Serra Branca; e o CV de Vitória - Vulcão Central. Do ponto de vista geocronológico os dois primeiros formaram-se aproximadamente entre os 100 000 e os 25 000 anos (Larrea, 2014), sendo o mais antigo, CV da Serra das Fontes, composto na sua generalidade, por escoadas lávicas subaéreas de natureza basáltica (*s.l.*) intercaladas com depósitos vulcanoclásticos. O CV da Serra Branca é composto por produtos vulcânicos mais evoluídos, incluindo espessas escoadas lávicas e numerosos

depósitos vulcanoclásticos de natureza traquítica (*s.l.*). Por sua vez, o CV de Vitória-Vulcão Central com idade entre $16\ 000 \pm 2\ 000$ anos e os 10 000 anos (Larrea, 2014), está dividido em 2 Unidades: a Unidade de Vitória, que cobre parcialmente os dois CV mais antigos; e a Unidade do Vulcão Central que se desenvolve a SE da estrutura insular pré-existente. Gaspar (1996) identifica três fases na formação da Unidade do Vulcão Central: a fase pré-Caldeira, constituída por materiais submarinos (depósitos surtseanos), materiais subaéreos (lavas e piroclastos estrombolianos) e hidromagmáticos (*surges*); a fase sin-Caldeira, constituída por depósitos de queda consolidados e não consolidados e localmente com escoadas lávicas; a fase pós-Caldeira, com escoadas lávicas de natureza basáltica (*s.l.*) associadas ao lago de lava, escoadas piroclásticas (*lahars*), escoadas benmoreíticas e depósitos freatomagmáticos.

Do ponto de vista geomorfológico o corpo insular divide-se em 4 unidades principais (Gaspar, 1996; França *et al.*, 2003): o Maciço da Caldeira, situado na parte SE da ilha; o Maciço Centro-Meridional, constituído pelas Serras Branca e Dormida; a Serra das Fontes, situada na região central da ilha a NE das Serras Branca e Dormida; e a Plataforma Noroeste.

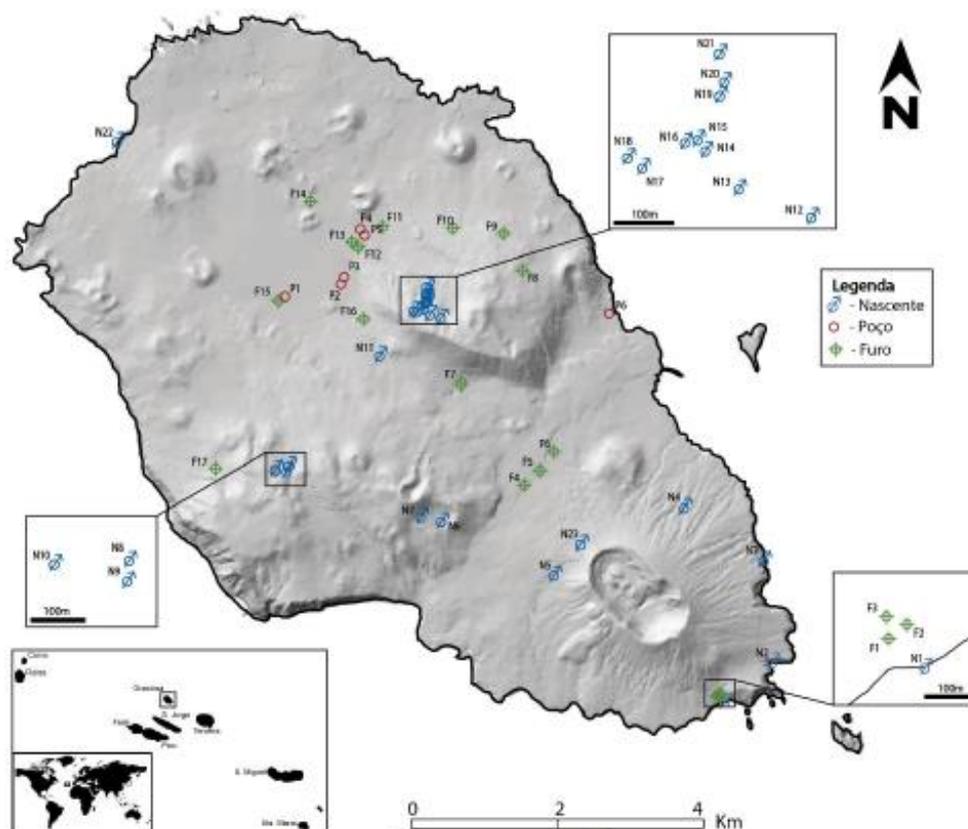


Figura 1: Enquadramento geral da Ilha Graciosa e localização dos pontos de água identificados e estudados.

3. HIDROGEOLOGIA DAS FORMAÇÕES VULCÂNICAS INSULARES

As condições de ocorrência, armazenamento e circulação das águas subterrâneas estão diretamente associadas às características litológicas e estruturais do meio geológico.

Como na maioria dos terrenos vulcânicos, a hidrogeologia da Ilha Graciosa apresenta grande complexidade devido à acentuada heterogeneidade e anisotropia características das formações e estruturas vulcânicas. Os elementos hidrogeológicos aqui apresentados resultaram fundamentalmente de recolha e integração de dados bibliográficos e de trabalhos de campo, onde foram identificados e estudados 46 pontos de água – nascentes, poços e furos.

O meio vulcânico revela um elevado grau de compartimentação, responsável pela ocorrência de dois tipos de unidades aquíferas: basais e suspensas.

O aquífero basal corresponde a uma lenticula de água doce que sobrenada água salgada mais densa proveniente de infiltrações do mar (Rodrigues, 2002).

Os aquíferos suspensos surgem associados a níveis pouco permeáveis (p. ex: paleossolos), os quais, dependendo das características do terreno, podem ser múltiplos ou sobrepostos no mesmo maciço (Rodrigues, 2002).

De acordo com Borges (2019), os aquíferos suspensos também estão associados a as escoadas lávicas espessas e compactas, com elevado grau de alteração, apresentando uma grande variabilidade espacial. Ainda de acordo com

este autor, os depósitos vulcanoclásticos que surgem intercalados entre escoadas, tendem a apresentar uma porosidade e permeabilidade moderada a reduzida, no caso do CV da Serra das Fontes, e reduzidas a muito reduzidas no CV da Serra Branca.

O CV de Vitória-Vulcão Central tem um comportamento hidrogeológico muito heterogêneo atendendo à sua grande diversidade geológica. Na Unidade do Vulcão Central há uma variação da condutividade hidráulica e da porosidade entre a muito reduzida a elevada ao longo das sequências vulcanostratigráficas. Estes parâmetros variam espacialmente com a dispersão e intercalação dos materiais de queda consolidados e não consolidados relativamente às escoadas basálticas (*s.l.*) recentes. Os cones vulcânicos formados por materiais piroclásticos, dispersos ao longo da ilha, apresentam porosidades diferenciadas, sendo mais elevada junto do centro emissor e diminuindo progressivamente no sentido da periferia, com a diminuição do tamanho médio dos piroclastos. Este facto é responsável por circulações de água subterrânea muito diferenciadas.

Os paleossolos identificados são caracterizados por apresentarem material argiloso compacto, com porosidades muito reduzidas ou praticamente nulas. Comportam-se como barreira hidrogeológica à progressão vertical da água.

Os depósitos volcano-sedimentares têm um comportamento diversificado, dependendo da granulometria. De um modo geral, as formações mais grosseiras e pouco litificadas tendem a ser muito permeáveis, enquanto as acumulações de materiais finos alterados são pouco permeáveis (ex. brechas traquíticas do CV Serra Branca).

4. DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS INSULARES

No presente estudo entende-se por domínio hidrogeológico o setor espacial constituído por um conjunto de unidades ou formações geológicas com continuidade espacial e que, do ponto de vista hidrogeológico, apresentam uma hidrodinâmica subterrânea e uma hidrogeoquímica diferenciadas.

A divisão da ilha Graciosa em domínios e subdomínios hidrogeológicos, apresentada na fig. 2, tem como objetivos principais: (1) a caracterização mais detalhada da hidrogeologia insular e (2) a definição dos setores com maiores potencialidades aquíferas, ou seja, mais favoráveis para a captação e exploração de águas subterrâneas.

Foram delimitados dois grandes domínios hidrogeológicos (domínios I e II). Cada um divide-se em dois subdomínios (subdomínios I-1 e I-2; II-1 e II-2) (Fig. 2). A sua delimitação teve como base a geomorfologia, a litologia; a vulcano-estratigrafia e a hidrologia insulares.

O domínio I ocupa a região central e NW da ilha Graciosa. Divide-se nos subdomínios I-1 e I-2, separados parcialmente por um paleossolo que, dada a sua extensão e baixa permeabilidade, constitui um importante elemento na hidrogeologia da ilha. O subdomínio I-1 inclui as formações dos CV da Serra das Fontes e da Serra Branca. Estas formações funcionam maioritariamente como aquíferos descontínuos, associados a níveis de cinza e lapilli e a setores mais fraturados. O subdomínio I-2 inclui o Unidade de Vitória do CV de Vitória-Vulcão Central que, do ponto de vista hidrogeológico, poderá ser dividido em dois grupos (tipologias): (a) um formado por depósitos piroclásticos, com comportamento de aquífero não-confinado ou, dada a porosidade muito elevada, de aquífugo; e outro (b) constituído pelas escoadas lávicas basálticas (*s.l.*), com comportamento de aquífero ou aquífugo, em função do grau de fracturação e vesiculação.

O domínio II ocupa a região SE da ilha e corresponde ao Maciço da Caldeira (Fig. 2). Divide-se em dois subdomínios: o II-1 e o II-2. O subdomínio II-1 dispõe-se na base do cone vulcânico da Caldeira e no limite NW deste Maciço, sendo composto pelas fases associadas às formações dos períodos pré-Caldeira e sin-Caldeira. A nível hidrogeológico este subdomínio pode ser dividido em três grupos distintos: (a) grupo dos depósitos surtseianos presentes na base do cone vulcânico, comportando-se como barreira hidrogeológica; (b) grupo das escoadas lávicas que têm um comportamento de aquífero ou aquífugo; (c) grupo formado por piroclastos de queda, classificados entre aquífero, aquífugo ou aquífero, dependendo das características litológicas, estruturais e do grau de alteração. O subdomínio II-2 localiza-se na área aflorante das vertentes externas da Caldeira, estando implantado nas formações da fase pós-Caldeira. É composto por depósitos piroclásticos de fluxo, do tipo *lahar*, com estrutura compacta e por domos traquíticos (*s.l.*). Apresentam um comportamento aquífero ou de barreira hidrogeológica, refletido na densa rede hidrográfica radial que se desenvolve nas vertentes da Caldeira.

Considerando a distribuição e organização espaciais dos domínios hidrogeológicos, verifica-se que: (1) no subdomínio I-2 as capacidades de recarga são elevadas a muito elevadas; (2) a recarga do subdomínio I-1 depende da infiltração profunda proveniente do subdomínio I-2; (3) no subdomínio II-1 a recarga é moderada a reduzida e no subdomínio II-2 reduzidas a muito reduzidas.

Borges (2019) considera que, para além da recarga associada à precipitação atmosférica e infiltração associada, algumas das massas de água subterrâneas da ilha, nomeadamente algumas unidades aquíferas basais, são recarregadas por águas juvenis e diretamente a partir de zonas encharcadas.

A descarga das massas de águas subterrâneas na ilha Graciosa efetua-se através de processos naturais ou induzidos. No primeiro grupo destacam-se as nascentes (Fig. 1) associadas a aquíferos suspensos e basais, sendo as últimas,

maioritariamente submarinas. No segundo grupo, incluem-se as captações por poços e furos. Todos os furos estudados captam aquíferos basais, enquanto nos poços apenas um intercepta o aquífero basal (Borges, 2019).

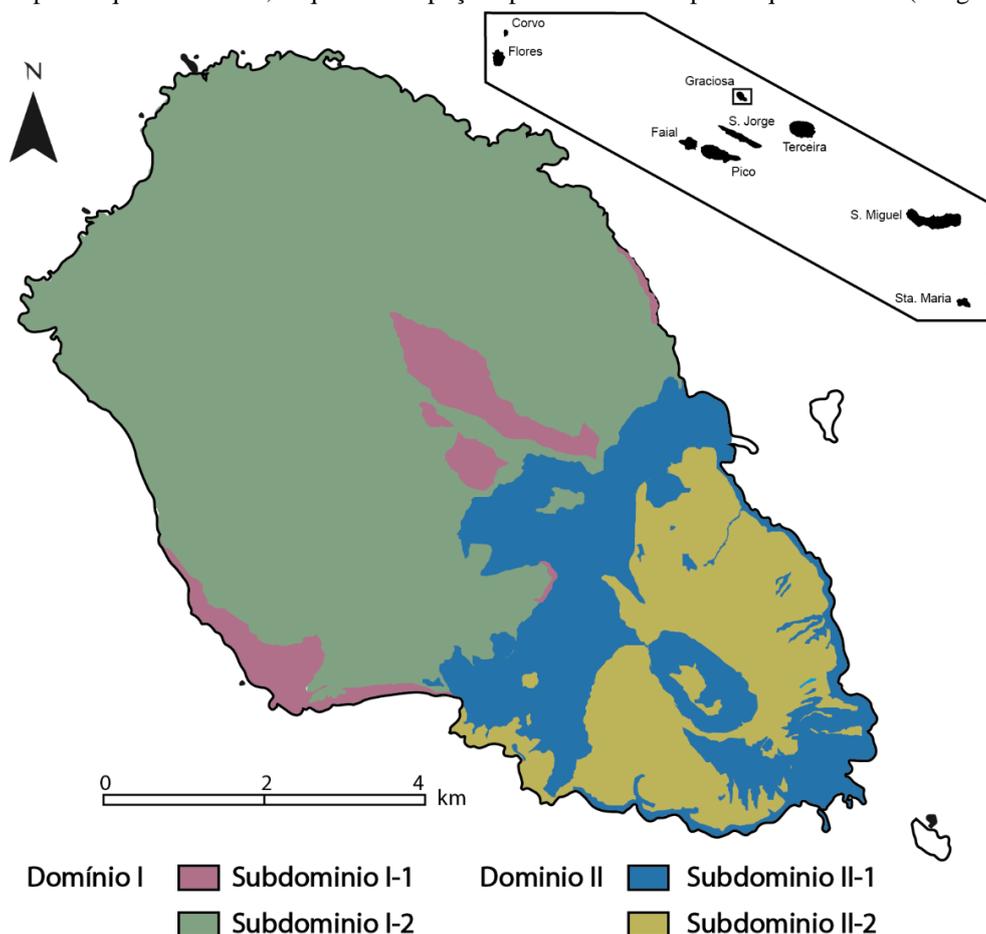


Figura 2: Domínios e subdomínios hidrogeológicos propostos para a ilha Graciosa

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimentos ao Departamento de Ciências da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra e ao Instituto Regional de Ordenamento Agrário e Câmara Municipal de Sta Cruz da Graciosa pelo apoio, no trabalho de campo e na coleção de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borges, P.F.S. (2019). Hidrogeologia de Ilhas Vulcânicas: caso estudo da ilha Graciosa (Açores). Dissertação de Mestrado em Geociências: Ramo de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Coimbra.
- Gaspar, J. L. (1996). Ilha Graciosa (Açores): História Vulcanológica e Avaliação do Hazard. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Departamento Geociências, Universidade dos Açores, 361p.
- Gaspar, J. L., Queiroz, G. (1995). Carta vulcanológica dos Açores, ilha Graciosa. Folhas A e B, na escala 1:10 000. Ed. Universidade dos Açores, Centro de Vulcanologia da U.A., Câmara Municipal de Santa Cruz da Graciosa.
- Hipólito, A., Madeira, J., Gaspar, J.L., Carmo, R. (2010). Neotectónica da ilha Graciosa - uma contribuição para o enquadramento geodinâmico da junção tripla dos Açores. Revista Electrónica de Ciências da Terra Geosciences On-line Journal. VIII Congresso Nacional de Geologia. Volume 11 - nº 3 | 2010. ISSN 1645-0388.
- Larrea, P. (2014). Magmatic Evolution of Graciosa and Corvo Oceanic Islands, Azores Archipelago (Ph.D. thesis), Universidad de Zaragoza (209 pp.).
- Rodrigues, F., C. (2002): Hidrogeologia da ilha Terceira (Açores - Portugal). Tese de doutoramento - Departamento de Ciências Agrárias. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade dos Açores.