

## *CONTRIBUTO DO MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DO TEMPO (TDEM) NA PROSPECÇÃO HIDROGEOLÓGICA CASO DE ESTUDO NA ILHA DO FOGO, CABO VERDE*

**João DUARTE<sup>1</sup>, António LOBO DE PINA<sup>2</sup>, Fernando FIGUEIREDO<sup>3</sup>, Marco CUNHA<sup>4</sup>, José CARVALHO<sup>5</sup>, Sónia VICTORIA<sup>6</sup>**

1. IQGeo – Serviços, Lda. e Centro de Geociências da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Universidade de Coimbra, Portugal. joao.aduarte@iqgeo.pt

2. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Cabo Verde. antonio.pina@docente.unicv.edu.cv

3. Centro de Geociências da UC e Departamento de Ciências da Terra da UC, fpedro@dct.uc.pt

4. GeoSurveys – Consultores em Geofísica, Lda., Rua Narciso Espírito Santo 8, Maianga, Luanda, Angola. marcoaureliocunha@gmail.com

5. Centro de Geociências da UC, jose.carvalho.geo@gmail.com

6. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Cabo Verde. sonia.silva@docente.unicv.edu.cv

### **RESUMO**

A utilização do Método Eletromagnético no Domínio do Tempo [TDEM], contribui de uma forma significativa para localização das estruturas geológicas em profundidade e definição da sua geometria. Os modelos geológicos/estruturais obtidos, complementados com a integração de outra informação e metodologias, permitem identificar estruturas geológicas com aptidão para exploração de águas subterrâneas. Em Cabo Verde, arquipélago, com precipitações na generalidade fracas (INGRH, 2000, Lima e Garcia, 2011), os recursos hídricos subterrâneos desempenham um papel fundamental no dia a dia das populações, constituindo a principal fonte de abastecimento de água.

Foram efetuadas 21 sondagens eletromagnéticas, na localidade de Chã das Caldeira, na Ilha Fogo, Cabo Verde. Do modelo tridimensional interpolado, é possível observar a existência de uma relação directa entre as anomalias geofísicas detectadas, com as estruturas geológicas observáveis à superfície, assim como a existência de anomalias, subhorizontais, com baixo valor de resistividade (<400ohm.m), que estarão associadas à presença de um eventual aquífero.

**Palavras-Chave:** Cabo Verde, água subterrânea; TDEM, resistividade; modelos 2D e 3D.

### **1. INTRODUÇÃO**

A utilização de TDEM, permite a deteção e localização de formações que exibam valores de resistividade contrastantes com meio geológico envolvente (AEMR, 2007). A aplicação deste método em zonas vulcânicas aparece vulgarmente associado a estudos hidrogeológicos, de modo a identificar a circulação de fluidos hidrotermais e os sistemas aquíferos, sendo de realçar os estudos desenvolvidos no vulcão Kilauea no Hawaii, Monte Somma-Vesúvio em Italia, vulcão Piton de la Fournaise na ilha de Reunião, vulcão Newberry, Oregon, USA e caldeira Masaya na Nicarágua (Kauahikaua, 1993; Fitterman *et al.*, 1988; Lénat *et al.*, 2000; Duarte *et al.*, 2017), entre outros. A elevada resolução vertical permite ainda uma boa determinação da profundidade dos objectos alvo.

### **2. ENQUADRAMENTOS**

A ilha do Fogo, Cabo Verde (Figura 1), apresenta características de natureza vulcano-estratigráfica, patenteada na cronologia dos acontecimentos geológicos (Figura 2). As rochas basálticas, que ocupam a maior parte da ilha, sob o modo de escoadas, filões e chaminés, correspondem à fase efusiva, enquanto que os inúmeros cones vulcânicos de material piroclástico, também basálticos, correspondem à fase explosiva das erupções (Machado e de Assunção, 1965). Estratigraficamente a ilha é caracterizada pela sequência de escoadas vulcânicas intercaladas por camadas piroclásticas, sobre um soco constituído por rochas mais antigas:

# 14.º SILUSBA

1. Rochas do Complexo Antigo (CA): Rochas alcalinas e carbonatitos, atravessada por filões basálticos. Camada tida como impermeável (BURGEAP, 1974 e Barmen *et al.*, 1990);
2. Complexo Eruptivo Principal (CEP): Intercalações de escoadas lávicas e camadas piroclásticas;
3. Parte superior da ilha: Escoadas basálticas recentes.

Estruturalmente são visíveis um grande número de estruturas tectónicas, sendo de realçar os três sistemas de falhas principais com orientações: NW-SE a WNW-ESE, N-S e NNE-SSW (Figura 3).



Figura 1. Localização da ilha do Fogo no arquipélago de Cabo Verde (assinalada com um polígono).

(adaptado de

<http://www.portugalcaboverde.com>)

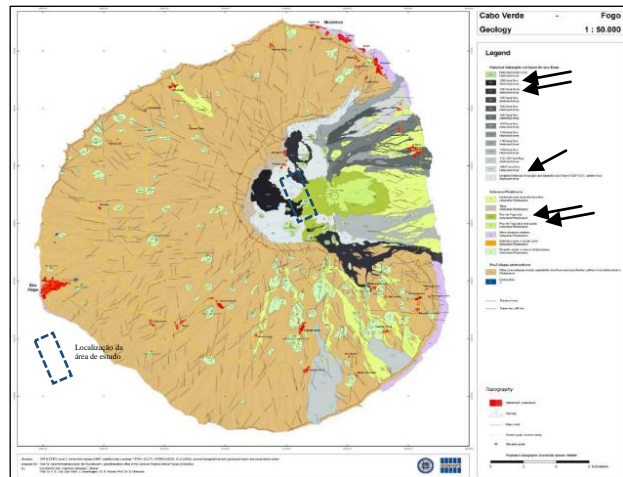


Figura 2. Carta geológica da ilha do Fogo, Cabo Verde, 1:50 000 e localização da área estudada, estando assinaladas na legenda da figura, com setas, as formações geológicas e escoadas vulcânicas abrangidas pela área estudada (adaptado de List *et al.*, 2007).

Cabo Verde é um arquipélago com precipitações na generalidade fracas (INGRH, 2000, Lima e Garcia, 2011). O sistema hidrogeológico da Ilha foi descrito nos trabalhos de BURGEAP (1974). A unidade aquífera seria, segundo estes autores, a parte inferior, bastante fracturada, do CEP. A base do aquífero seria representada pelo topo do CA, considerado impermeável. Trabalhos posteriores (Barmen *et al.*, 1990) consideraram também o topo do CA como sendo impermeável e funcionando como base do aquífero regional, que teria início na caldeira do vulcão. Consideram também os “chupadeiros” como aquíferos locais devidos, no caso, à existência de grande número de filões na parte superior do CEP chamado, pelos autores, de Complexo Eruptivo da Bordeira (CEB). O modelo hidrogeológico está esquematizado na Figura 4 (Gesto, 2011).

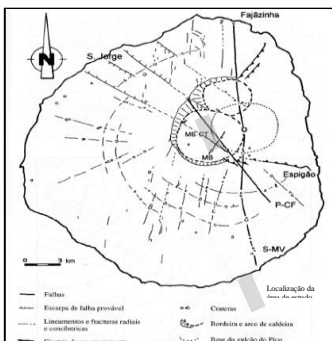


Figura 3. Esboço estrutural da Ilha do Fogo e localização da área estudada (adaptado de Brum da Silveira *et al.*, 1997).

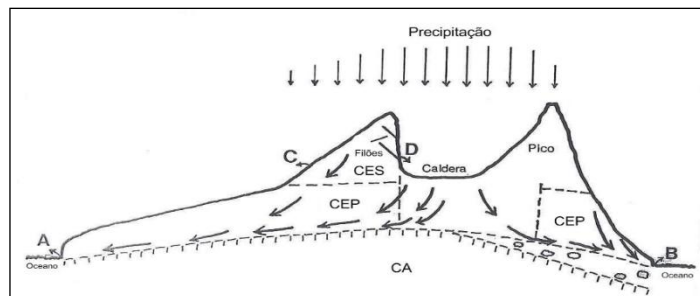


Figura 4. Modelo hidrogeológico da ilha do Fogo. CA – Complexo antigo, CEP – Complexo eruptivo principal, CES – Complexo eruptivo superior. A, B – nascentes junto a costa (Nossa Senhora do Socorro e Monte Vermelho, respectivamente. C – “Chupadeiros”, D – Nascente da Chã (Gesto, 2011).

### 3. RESULTADOS

Foram efetuadas 21 sondagens eletromagnéticas, com uma antena de geometria quadrada e dimensão com 200 metros de lado (transmissora e receptora), permitindo alcançar uma profundidade de investigação elevada e reconhecer as estruturas geológicas em profundidade (Figura 5). O processamento dos dados consistiu na utilização de algoritmos convencionais (inversão Occam e Marquardt, inversão quasi-2D com limitação lateral) para a inversão 1D, seguindo-se uma interpolação em formato voxel data (Figura 6).

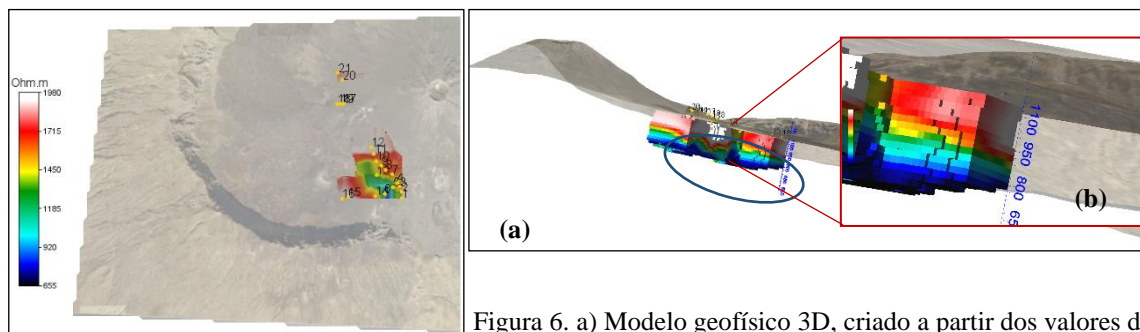


Figura 5. Integração do modelo geofísico na topografia, com a localização das 21 sondagens electromagnéticas.

Figura 6. a) Modelo geofísico 3D, criado a partir dos valores de distribuições de resistividade por inversão dos dados das sondagens 1D. Elipse azul – Limites do possível aquífero. b) Pormenor dos limites e escala de altitudes.

O modelo geofísico obtido demonstra a existência de valores de distribuição de resistividade bastante distintos, com amplitude que variam entre 655 e 1980ohm.m. No modelo é observável uma anomalia com valores de resistividade inferiores (<1185ohm.m), que poderá corresponder aos limites de um possível aquífero superficial (indicado pela elipse azul, na figura 6a), que se encontra a cerca de 200m de profundidade, a uma cota aproximada de 950m (Figura 6b). Os valores das anomalias superiores (>1185 ohm.m), pelo seu posicionamento, devem corresponder a escoadas de lava, que preenchem as estruturas existentes e identificadas em Duarte *et al*, 2017.

### 4. CONCLUSÕES

Do modelo tridimensional de distribuição de valores de resistividades eléctricas, é evidente o controlo estrutural das anomalias geofísicas subsuperficiais com relação directa a morfoestruturas existentes à superfície (falhas e descontinuidades), estruturas essas representadas na cartografia geológica já existente.

Na figura 6 observam-se as anomalias com valores de resistividade mais baixa (<1185ohm.m) que poderão estar associadas à circulação de água através de uma estrutura subhorizontal. Este possível aquífero, foi também evidenciado nos resultados referidos no relatório da Gesto, 2011. Em trabalhos futuros deveriam ser efectuadas mais campanhas de geofísica e reconhecimento geológico, de modo a fazer uma melhor caracterização geofísica/geológica para permitir a construção de um modelo integrado e robusto.

### AGRADECIMENTOS

À IQGeo que disponibilizou equipamentos e suporte financeiro.

Ao Centro de Geociências da Universidade de Coimbra e ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra que disponibilizou o equipamento TEM-FAST.

À Universidade de Cabo Verde pelo apoio financeiro e logístico disponibilizados para a realização de missão. Agradecemos igualmente ao técnico Paulo Fernandes da UniCV pela colaboração prestada.

Agradecemos o apoio financeiro da FCT-MEC através de fundos nacionais e, quando aplicável, co-financiado pelo FEDER no âmbito da parceria PT2020, através do projecto de investigação UID/Multi/00073/2013 do Centro de Geociências.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMR (2007). Manual TEM-FAST48HPC. Version 7.3. Applied Electromagnetic Research (AEMR), The Netherlands.
- Barmen, G., Carvalho, V., Querido, A. (1990) – Groundwater-Related Geological and Isotopic Investigations on the Island of Fogo. Dept. of Engineering Geology Lund University Institute of Technology and Instituto Nacional de Investigação Tecnológica, Departamento de Geologia. Praia and Lund, 5 July, 1999.
- Brum da Silveira, A., Madeira, J., Serralheiro, A., Torres, P. C., Silva, L. C., & Mendes, M. H. (1997). O controlo estrutural da erupção de Abril de 1995 na ilha do Fogo. In 1st International Symposium “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde, pp. 51-6).
- BURGEAP (1974) – La mise en valeur des eaux souterraines dans l’archipel du Cap Vert. Brigada de Águas Subterrâneas de Cabo Verde. Final Report.
- Duarte, João; Cunha, Marco; Figueiredo, Fernando; Gonçalves, Gil; Lobo de Pina, António; Victória, Sónia (2017). Caracterização e modelação geofísica na cratera do vulcão do Fogo, Cabo Verde. In: 10º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, 2017. Lisboa. 10º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG. 2017.
- Duarte, João; Cunha, Marco; Figueiredo, Fernando; Lobo de Pina, António; Victória, Sónia. (2017). Contributo do método electromagnético de transiente (TEM) na prospecção hidrogeológica caso de estudo na ilha da Brava, Cabo Verde In: 11º Seminário sobre águas subterrâneas. Instituto Superior de Engenharia do Porto. APRH - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. ISBN: 978-989-8509-17-8. p. 12-13.
- Fitterman, D.V., Stanley, W. D., and Bisdorf, R. J. (1988). Electrical structure of Newberry volcano, Oregon, J. Geophys. Res., 93(B9), 10,119-10,134.
- Gesto (2011). Plano Energético Renovável de Cabo Verde. Estudo do Recurso Geotérmico. p.14-15.
- INGRH (2000) Visão Nacional sobre a Água, a Vida e o Ambiente no Horizonte. Instituto Nacional de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, Praia, Cabo Verde.
- Kauahikaua, J. (1993). Geophysical characteristics of the hydrothermal systems of Kilauea volcano, Hawaii, Geothermics, 22(4), p. 271-299.
- Lénat, J. F., Fitterman, D., Jackson, D. B., and Labazuy, P. (2000). Goelectrical structure of the central zone of Piton de la Fournaise volcano (Réunion), Bulletin of Volcanology, 62, 75-89.
- Lima, A. S. e Garcia, E.M.O. (2011) Gestão de águas subterrâneas em ambientes insulares. Caso de estudo da ilha do Maio (Cabo Verde).
- List, F. K., Klitzsch, E., Kusserow, H., Munier, K., Munier, C. e Levenhagen J. (2007) Cape Verde Islands: Santo Antão, São Vicente, Sal and Fogo, Thematic Maps, Geology. Geoinformations wesen der Bundeswehr (AGeoBW)/Geoinformation Office of the German Armed Forces.
- Machado, F., e de Assunção, C. F. T. (1965). Carta geológica de Cabo Verde, na escala de 1:100000 e notícia explicativa da folha da ilha do Fogo: estudos petrográficos. In: Garcia de Orta: Revista da Junta de Investigações do Ultramar. - Vol. 13, nº 4, p. 597-604.