

GEOFÍSICA APLICADA À GESTÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E AO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO DA CIDADE DA BEIRA

E. Daudi^{1,2(*)}, E. Ramalho³, J. Fernandes³, M. J. Batista³, L. Quental³, R. Dias³, D. Milisse¹, U. Ussene¹, T. Oliveira³, G. Cune¹, G. Balate¹, V. Manhiça¹

¹Direcção Nacional de Geologia de Moçambique (DNGM), Praça 25 Junho, n° 380, Maputo, Moçambique

²Instituto Geológico e Mineiro de Moçambique (IGMM)

³Lab. Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Bairro do Zambujal, Alfragide, 2610-999 Amadora, Portugal

(*) Email: exfdaudi@gmail.com

Palavras-Chave: Hidrogeologia, Ambiente, Geofísica, Beira

RESUMO

No âmbito da realização da Cartografia Geoambiental da Grande Beira à escala 1/50.000, avaliaram-se alguns problemas ambientais da cidade ao nível da contaminação de águas e solos, os decorrentes da exploração do Porto da Beira e de processos geológicos naturais, dos quais se destacam as intrusões salinas e dinâmica litoral. Este projecto foi desenvolvido na perspectiva do fornecimento de um suporte consistente à implementação de políticas governamentais visando a exploração sustentada de águas subterrâneas e de recursos minerais, e contou com a aplicação de metodologias interdisciplinares que envolveram a análise detalhada de imagens de satélite multiespectrais LANDSAT e ASTER, levantamentos geológicos regionais, campanhas para caracterização hidrogeoquímica de águas subterrâneas, de solos e sedimentos de linhas de água e de canal e, ainda, prospecção geofísica electromagnética no domínio frequência. O presente trabalho pretende demonstrar o contributo desta última para a concretização dos objectivos do projecto no que diz respeito à avaliação do risco de captar água salgada e salobra em poços superficiais de abastecimento comunitário.

1. INTRODUÇÃO

A investigação da origem da água salgada e salobra que é frequentemente intersectada em poços superficiais para o abastecimento comunitário dos bairros suburbanos da cidade da Beira é um aspecto importante para a compreensão das relações hidráulicas entre o influxo da água do mar e o aquífero superficial que ocorre na região da Beira. O entendimento desta origem poderá dar orientações estratégicas em programas de prospecção de novas origens de água subterrânea, bem como na elaboração de um programa mais vasto de abastecimento de águas subterrâneas na zona da Grande Beira. Contudo, as características geológicas, hidrogeológicas e geográficas da cidade tornam-na vulnerável à poluição antrópica e dificultam a definição da localização geográfica e da profundidade de níveis com água muito mineralizada e imprópria para consumo humano. Nesta perspectiva, como parte de um estudo geológico e geoambiental mais abrangente realizado no âmbito de um protocolo entre o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), a Direcção Nacional de Geologia de Moçambique (DNGM) e o Instituto de Apoio ao Desenvolvimento (IPAD) (actual Instituto Camões), assinado em 2005 e concluído em 2012, foi utilizado um conjunto de metodologias interdisciplinares para essa investigação. Estas metodologias compreenderam (Quental *et al.*, 2011): (i) a análise de imagens multiespectrais LANDSAT e ASTER, fotografia aérea e cartas topográficas, de forma a avaliar o regime acrecionário do Rio Punguè e alterações na linha de costa e efectuar a classificação da ocupação do solo baseada na nomenclatura do Corine Land Cover (CLC) adaptada para regiões tropicais, (ii) levantamentos geológicos e análise de *logs* de sondagens para identificação e caracterização das unidades geológicas e hidrogeológicas e elaborar a Carta Geológica da Grande Beira na escala 1/50.000

(Dias et al., 2011), (iii) validação no terreno das classes CLC obtidas através da análise e processamento das imagens de satélite, (iv) amostragem de solos e sedimentos de linha de água e de canal para a caracterização geoquímica (compostos orgânicos e inorgânicos) (Batista et al., 2011), (iv) amostragem de águas para caracterização hidrogeoquímica e pesquisa de contaminação microbiológica e de compostos orgânicos e (vi) prospecção geofísica de superfície em zonas ambientalmente críticas ou requerendo informação adicional em profundidade.

2. BREVE ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

As condições geológicas da Beira estão fortemente relacionadas com a foz em delta submarino dos Rios Punguè e Buzi, que formam uma planície aluvionar (Fig. 1).

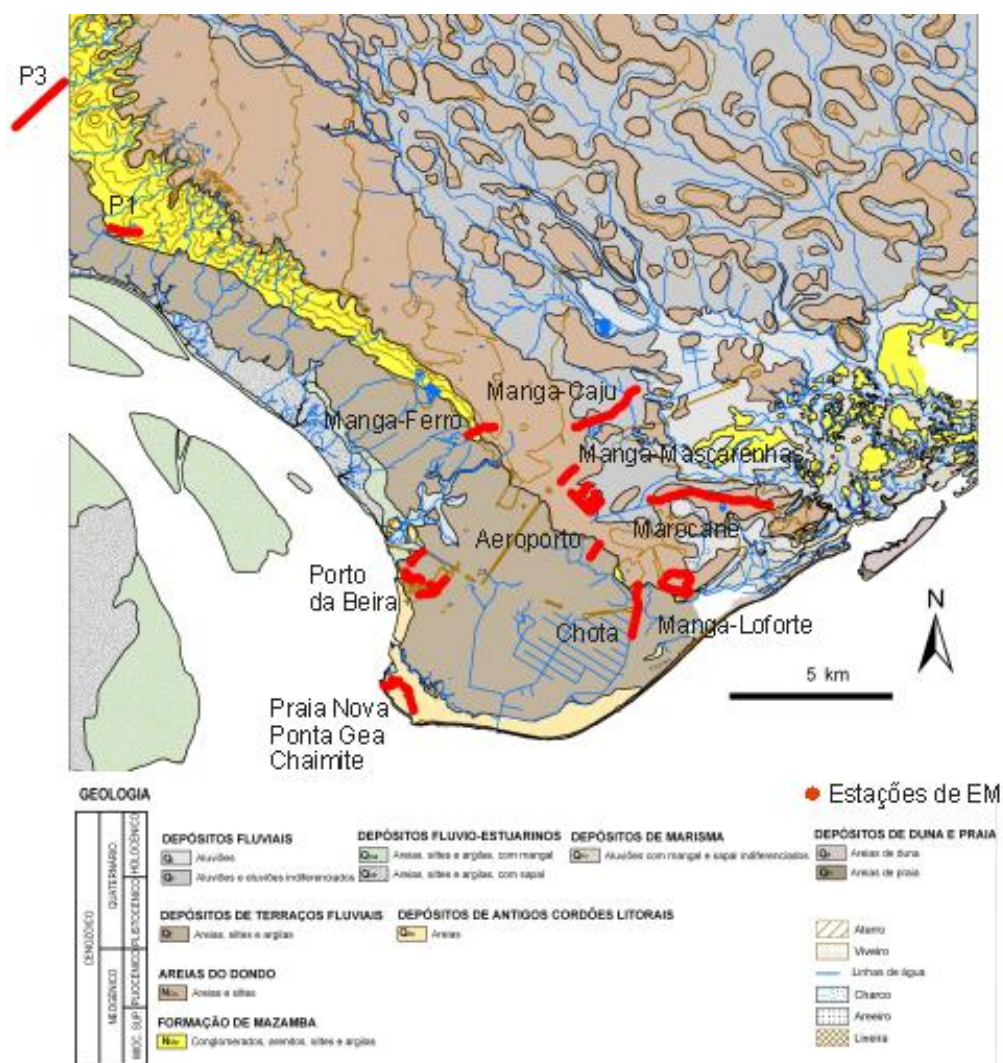


Fig. 1. Carta Geológica da região da Grande Beira (Dias et al., 2011). As linhas vermelhas representam a localização dos perfis geofísicos de FDEM.

As principais formações que afloram na região são a Formação de Mazamba, mais antiga, composta por arenitos arcóscicos médios a grosseiros com intercalações métricas de argilitos e conglomerados com calhaus de quartzo, com origem no escudo Precâmbrico a montante e por vezes endurecidas devido a diagénese e enriquecimento em caliches e óxidos de ferro e a Fm do Dondo, sobreposta à primeira, Pliocénica, composta principalmente por arenitos finos a médios não consolidados, frequentemente alvo de explorações ilegais. Além destas formações, afloram depósitos fluviais Holocénicos, escuros, formados como resultado da erosão das Formações de

Mazamba e Dondo. Formam uma planície aluvionar onde, devido ao declive irregular, os sedimentos mais finos podem não alcançar a costa, acumulando-se.

Foi identificado um aquífero multi-camada, livre a semi-confinado, pouco produtivo, vulnerável, instalado nas Areias do Dondo e na Formação de Mazamba, que assegura com boa qualidade o abastecimento de poços e furos. A circulação acompanha o modelado topográfico no sentido do rio Punguè, para WSW, e do sapal para SE.

3. AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE GEOFÍSICA

A geofísica de superfície consistiu no reprocessamento de 9 sondagens eléctricas verticais (SEV) realizadas pela ARA Centro (1999) (Fig. 2), a sua relação com os furos das proximidades e realização de Frequency Domain Electromagnetics (FDEM) com o equipamento Geonics EM34, utilizando frequências de 6,4, 1,6 e 0,4 kHz (Geonics, 1990), adquirindo mais de 600 estações e 3600 medidas. Estes trabalhos foram realizados com o objectivo de detectar o padrão de distribuição geográfica e vertical da água salgada e salobra, frequentemente intersectada a cerca de 20 a 40 m de profundidade e a sua relação com as características químicas da água captada em alguns poços de abastecimento comunitário de uma percentagem significativa de habitantes dos bairros suburbanos da cidade da Beira, bem como a sua origem, nomeadamente: (i) pelo processo normal de intrusão salina, (ii) a existência de água salgada aprisionada em lentículas descontínuas localizadas a estas profundidades, com origem em antigos terraços do Rio Punguè e (iii) o resultado do regime acrecionário dos sedimentos do Rio Punguè em direcção à linha de costa original, originando a arriba com declive suave que rodeia a cidade da Beira, identificada por Modelo Digital de Terreno (MDT).

Os levantamentos geofísicos efectuados para avaliação da variação das resistividades eléctricas, na arriba identificada por MDT, compreenderam a realização de vários perfis perpendiculares a esta, em locais seleccionados, como Manga-Ferro, Manga-Caju, Aeroporto ou Chota.

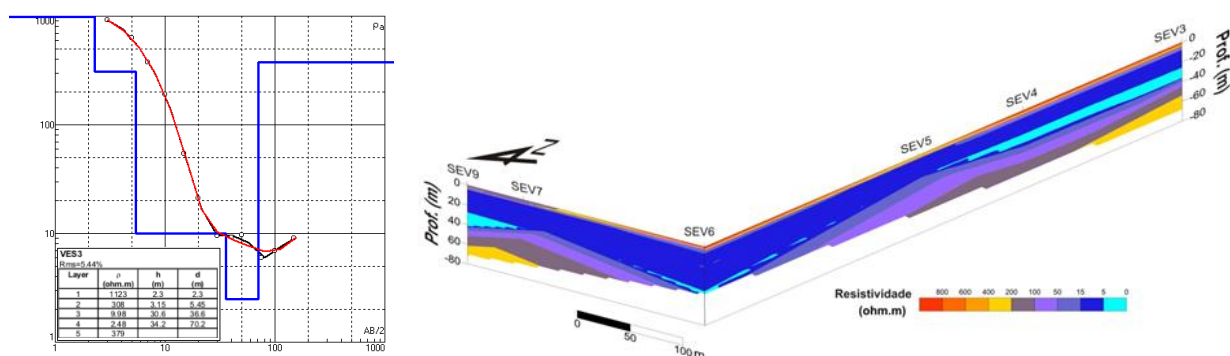


Fig. 2. (Esquerda) Inversão 1-D da SEV3 da ARA-Centro (1999), localizada na zona do Aeroporto Internacional da Beira. A azul encontra-se o modelo; a vermelho, encontra-se a resposta do modelo aos dados obtidos no terreno. (Direita) Pseudo-seções aproximadamente nas direcções N-S e W-E para os resultados da modelação 1D dos dados das SEVs reprocessados a partir dos dados da ARA-Centro (1999).

A informação de FDEM foi estudada através de perfis de inversão dos dados de resistividade eléctrica utilizando o *software* EM342D (Monteiro Santos, 2004) ou através do estudo das resistividades ou condutividades aparentes a várias profundidades. A informação de sondagens mecânicas, SEVs e FDEM (Fig. 2) foi correlacionada com a água subterrânea com condutividade eléctrica muito elevada captada em zonas populosas sem planeamento urbano, electricidade e infraestruturas de saneamento, como Manga-Mascarenhas, Aeroporto da Beira e Manga-Loforte.

As baixas resistividades compatíveis com a existência de camadas contendo fluido intersticial salgado e salobro não mostraram continuidade geográfica regional, mas foram confirmadas a heterogeneidade e continuidade locais das lentículas de água salobra, com resistividades eléctricas a oscilar entre os 5 e os 15 ohm.m. Em zonas como Marocane (Fig. 1), estas lentículas salgadas são horizontais, com distribuição não uniforme. Muitas das baixas resistividades estão localizadas em depósitos fluviais, onde há lentículas mais espessas, podendo atingir 40 m (resistividades eléctricas entre 5 e 15 ohm.m), contendo água mais salobra, o que acontece por exemplo em Manga-Ferro (Figs. 1 e 3).

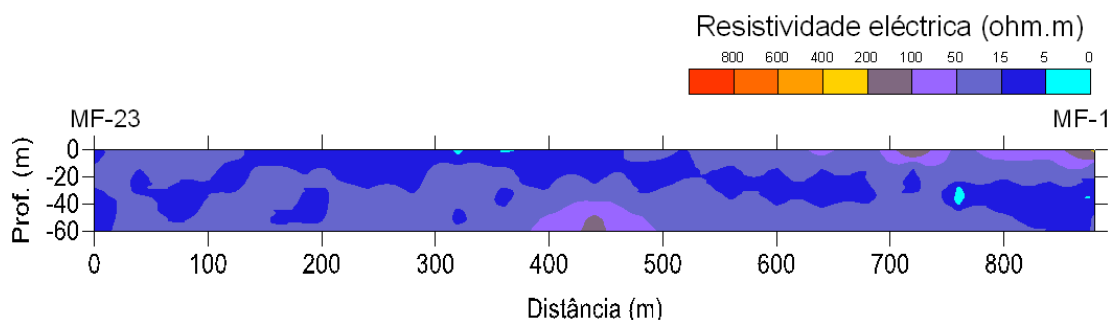


Fig. 3. Modelo 2D invertido de resistividade eléctrica (ohm.m) do perfil de Manga-Ferro, a partir dos dados de EM34.

Outras zonas, como a Chota (Figs. 1 e 4), mostram um conjunto de lentículas modeladas com resistividades eléctricas entre 0 e 5 ohm.m a profundidades variáveis.

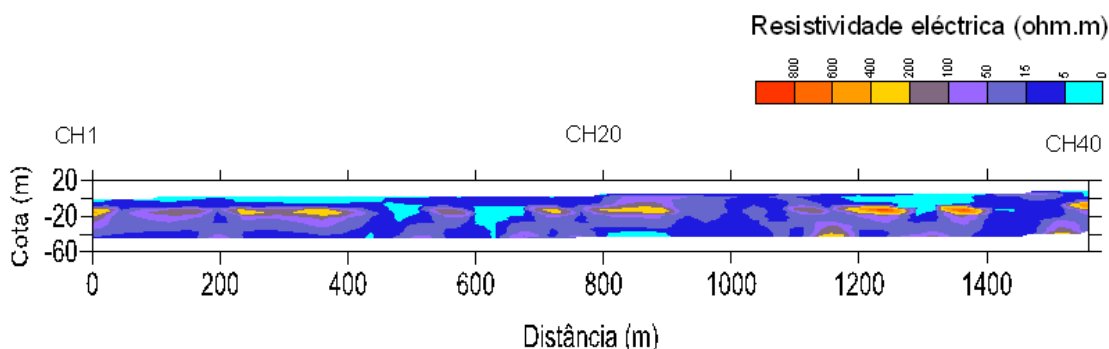


Fig. 4. Modelo 2D invertido de resistividade eléctrica (ohm.m) do perfil da Chota, a partir dos dados de EM34.

Não há evidências que justifiquem a existência de intrusão salina, nem uma relação directa entre a água com elevada salinidade e a arriba. Por outro lado, o resultado do regime de acreção dos sedimentos do Rio Punguê em direcção à linha de costa original, dando origem ao declive suave em direcção a SE, também não está directamente relacionado com a distribuição da ocorrência da água salgada e salobra. Como tal, a existência daquela água em lentículas descontínuas localizadas a estas profundidades parece estar relacionada com o aprisionamento de água costeira e marinha em antigos braços do Rio Punguê devido à dinâmica sedimentar acrecionária ao longo da costa.

4. DISCUSSÃO

A definição da estrutura eléctrica 3D da zona do Aeroporto, compreendendo os Bairros de Manga-Mascarenhas e Manga-Loforte, recorreu ao EM34 e ao reprocessamento e reinterpretação de SEVs, correlacionando estas com informação proveniente de sondagens mecânicas. Confirmou-se o carácter salobro/salgado da água captada mais superficialmente, em lentículas descontínuas e de uma forma geograficamente dispersa, em algumas zonas dos arredores da Beira. Apesar de na aplicação de métodos geofísicos se deverem investigar diferentes

propriedades físicas das formações atravessadas, constrangimentos financeiros e logísticos levaram à opção do método electromagnético com o Geonics EM34 e ao estudo da resistividade eléctrica como propriedade relevante. Desta forma, considerando os vários levantamentos efectuados e a informação existente, foi possível atribuir algumas características geoeléctricas às várias camadas detectadas, tal como apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características geoeléctricas das várias camadas detectadas.

Constituição	Resistividade eléctrica (ohm.m)	Limites de resistividade (ohm.m)	Limites de espessuras (m)
Camada alterada seca	Elevada	500-1500	0-2,5
Camada alterada na zona vadosa	Moderada	80-500	0-1.5
Camada areno-argilosa com água salobra	Baixa	5-15	0-35
Camada areno-argilosa com água salgada	Muito baixa	0-5	0-35
Camada areno-argilosa com água doce	Moderada	50-200	0-20
Arenitos e calcários da Fm. Mazamba	Elevada	200-800	n.d.

Apesar das elevadas condutividades eléctricas dificultarem por vezes a aquisição, o processamento e a interpretação dos dados, este é no entanto o método geofísico mais adequado para as formações geológicas existentes, para as circunstâncias e para o tipo de problemas a solucionar, na medida em que a rápida aquisição de dados permite cobrir grandes distâncias num curto período de tempo, sendo de aplicação adequada a diversas tipologias (contaminações antrópica e natural, modelo geológico tridimensional, características das águas subterrâneas, etc).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho de geofísica aplicada, pretendeu-se delinear e avaliar as zonas do sistema aquífero com capacidade para fornecer água doce para consumo público a pequenos aglomerados urbanos e para quantificar a vulnerabilidade do aquífero. Com base nos dados de detecção remota, hidrogeologia, geoquímica e geologia, foi possível mapear o risco de ocorrência de água salgada e salobra a profundidades superiores a 20 m. Assim, este estudo revela-se uma importante ferramenta de apoio à gestão da água subterrânea e ao ordenamento do território da Cidade da Beira, cuja metodologia poderá ser reproduzida com sucesso para outras regiões do país que enfrentam problemas semelhantes.

REFERÊNCIAS

- ARA-Centro (1999) – Prospecção Geofísica no Aeroporto Internacional da Beira. Administração Regional de Águas do Centro 18p+Anexos.
- Batista, M. J., Fernandes, J., Ramalho, E., Quental, L., Dias, R., Milisse, D., Manhiça, V., Ussene, U., Cune, G., Daudi, E. X. e Oliveira J. T. (2011) – 31. Geochemical Characterization of Soil and Sediments of the City of Beira, Mozambique: A Preliminary Approach – In: Mapping the Chemical Environment of Urban Environmental (Eds: Christopher C. Johnson, Alecos Demetriades, Juan Locutura and Rolf Tore Ottesen), John Wiley & Sons, pp.547-569.
- Dias, R., Oliveira, J. T., Milisse, D., Ussene, U., Pereira, A., Muchibane, A., Cune, G., Manhiça, V., Balate, G. (2011) – Carta Geológica da Região da Grande Beira, Moçambique e respectiva Notícia Explicativa, escala 1:50.000. DNG, LNEG e IPAD.
- Geonics Ltd., 1990. EM34-3 and EM34-3XL Operating Instructions.
- Monteiro Santos, F. M. (2004) –1-D laterally constrained inversion of EM34 profiling data. Journal of Applied Geophysics, v.56, pp.123-134.
- Quental, L., Ramalho, E., Daudi, E., Batista, M. J., Fernandes, J., Milisse, D., Dias, R., Oliveira, J. T., Pereira, A., Cune, G., Balate, G., Ussene, U. (2011) – Carta Geoambiental da Região da Grande Beira, Moçambique e respectiva Notícia Explicativa, escala 1:50.000. DNG, LNEG e IPAD.