

# UTILIZAÇÃO DE METODOLOGIAS INTEGRADAS NA PRODUÇÃO DA CARTÁ GEOAMBIENTAL DA CIDADE DA BEIRA, MOÇAMBÍQUE

## Resultados Preliminares

Judite FERNANDES <sup>(1)</sup>; Maria João BATISTA <sup>(1)</sup>; Elsa RAMALHO <sup>(1)</sup>; Lídia QUENTAL <sup>(1)</sup>; Ruben DIAS <sup>(1)</sup>; Tomás OLIVEIRA <sup>(1)</sup>; Grácio CUNE <sup>(2)</sup>; Elias DAUDI <sup>(2)</sup>; Dino MELISSE <sup>(2)</sup>; Ussene USSENE <sup>(2)</sup>; Vitor MANHIÇA <sup>(2)</sup>;

*(1) LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia – Unidade de Águas Subterrâneas, Alfragide, Portugal; (2) DNGM, Direcção Nacional de Geologia de Moçambique, Maputo, Moçambique.*

### Resumo

A cidade da Beira, em Moçambique, localizada na foz do Rio Pungué, constitui um núcleo urbano de elevada densidade e complexidade, com uma ocupação humana superior a 400000 habitantes. No perímetro urbano estão identificados problemas como a degradação do edificado urbano, a ocupação desordenada da sua cintura envolvente, abastecimento de água potável e condições sanitárias deficientes em muitos locais, que suscitam grande preocupação nas autoridades provinciais e nacionais.

Esta preocupação deu origem à execução de um projecto de cooperação entre Moçambique e Portugal, que se sintetiza na Carta Geoambiental da Beira, na escala 1/50000, em fase final de preparação, cujo objectivo principal consiste na avaliação dos 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. Pretende-se que esta Carta constitua uma ferramenta que sirva de suporte à implementação de políticas governamentais visando a exploração sustentada de águas subterrâneas e de recursos minerais, bem como planos de ordenamento do território e de protecção ambiental.

Neste trabalho, além de uma abordagem genérica às metodologias utilizadas, são apresentadas algumas conclusões preliminares relevantes acerca da zona em geral e das zonas ambientalmente críticas, onde incidiram investigações de pormenor. Assim, foi utilizado um conjunto de metodologias interdisciplinares que envolveram a análise detalhada de imagens de satélite multiespectrais LANDSAT e ASTER que permitiram i) a classificação da ocupação do solo com base nas classes do Corine Land Cover e,ii), comprovar o regime acrecionário do rio Pungué e as modificações da linha de costa através de um estudo multitemporal. No terreno, realizaram-se levantamentos geológicos regionais e campanhas para caracterização geoquímica de águas subterrâneas, solos e sedimentos de linhas de água e de canal. Foram quantificados os elementos maiores, menores e vestigiais, e feita a análise qualitativa dos compostos orgânicos. Nas áreas ambientalmente críticas efectuou-se geofísica de superfície através do método electromagnético Geonics EM-34.

Pela sua importância enquanto suporte habitacional de uma larga franja populacional da cidade da Beira e pelas características particulares que lhe conferem uma elevada vulnerabilidade, foi dada especial atenção aos bairros populacionais da zona da Manga, de Munhava e de Praia Nova.

Palavras-chave: Cartografia Geoambiental, Beira, Moçambique.

## 1 INTRODUÇÃO

A cidade da Beira é a segunda maior cidade de Moçambique. Localiza-se na província de Sofala, na margem N da foz do Rio Púnguè que desagua no Oceano Índico. Foi fundada nos finais do século XIX, tendo sido governada por Portugal até 1975, altura em que Moçambique se tornou independente. É considerada como sendo o extremo de um importante eixo económico que liga o porto da Beira ao Zimbabué, Malawi, Zâmbia e Congo através do caminho-de-ferro construído após a 1ª Grande Guerra, cujos picos de utilização tiveram lugar na década de 1960 graças ao comércio de mercadorias e combustíveis com os países vizinhos. O porto da Beira e o caminho-de-ferro estão na origem da importância estratégica da cidade no contexto africano e a sustentação de todo o seu desenvolvimento nas décadas subsequentes.

A população da Beira estimada em 2007 era de 436240 habitantes, a maioria dos quais a viver nos bairros suburbanos. Uma vez que a cidade era originalmente um pântano, para a sua edificação foi necessária a drenagem dos terrenos e posterior aterro. O centro da Beira possui edifícios de cimento, infra-estruturas eléctricas, sanitárias e abastecimento de água potável. Nos subúrbios da cidade e nas zonas rurais é substancialmente diferente, com casas de adobe e ausência de distribuição de água potável, de infra-estruturas sanitárias, de electricidade e de recolha de lixo. Nos subúrbios, com visíveis problemas ambientais, a ocupação é desordenada e o cultivo de hortas urbanas denominadas "machambas" assume uma grande importância na economia local.

Os dados disponíveis de clima referem-se ao período 1962-1976 (relatório Sogreah, 1979), mostram que a precipitação anual para as estações meteorológicas da Beira e Manga-Beira, é de 1645,5 mm e 1429,5 mm, respectivamente. 90% da precipitação ocorre no período de Novembro até ao final de Maio. Segundo a FAO ([www.fao.org/nr/água](http://www.fao.org/nr/água)), a precipitação média na Beira para o período de 1908-2009 varia de menos de 50 mm entre Junho e Outubro a cerca de 250 mm entre Dezembro e Março. A temperatura média anual é de 24,5 °C, sendo o mínimo de 20 °C em Julho e o máximo absoluto de 27 °C em Janeiro. A evapotranspiração na estação Beira atinge um mínimo de 102 mm em Junho e um máximo de 241,5 milímetros, em Novembro, enquanto na estação de Beira-Manga são, respectivamente, 85,5 mm e 217 mm (relatório Sogreah, 1979).

A Carta Geoambiental da Beira, em fase final de preparação, irá integrar o conhecimento adquirido neste estudo e, através das suas cartas temáticas, constituirá importante ferramenta de apoio à implementação das políticas governamentais no sentido de uma sustentável exploração das águas subterrâneas e dos recursos naturais, do ordenamento do território e da protecção ambiental, contribuindo para desenvolver e compatibilizar actividades essenciais na economia de Moçambique como o porto da Beira e o ecoturismo.

No presente trabalho dá-se principalmente conta das conclusões já alcançadas em termos de qualidade ambiental das águas subterrâneas e dos solos. A cartografia geológica aqui apresentada constitui uma adaptação da cartografia geológica antiga (Silva, 1968).

## 2 METODOLOGIA ADOPTADA

Foi utilizado um conjunto de metodologias interdisciplinares que, numa primeira fase, envolveram a análise detalhada de imagens de satélite multiespectrais LANDSAT e ASTER. Estas permitiram a classificação da ocupação do solo baseada nas classes do Corine Land Cover (CLC) adaptada para regiões tropicais (Quental et al.2009) e, numa análise multitemporal, comprovar o regime acrecionário do rio Punguè e as modificações da linha de costa. Efectuou-se igualmente uma primeira selecção dos locais para a recolha de amostras, procurando fazer-se uma distribuição amostral para as águas e os solos que fosse representativa das suas áreas de origem, que, pela sua similaridade e uniformidade relativa, foram divididas de acordo com a figura 1. No terreno realizou-se: i) os levantamentos geológicos regionais para actualização da Carta Geológica da Beira, ii) a validação da análise das imagens de satélite, iii) colheita de solos e sedimentos de linhas de água e de canal em 35 locais para

caracterização geoquímica e análise qualitativa dos compostos orgânicos, iv) colheita de 11 amostras de águas subterrâneas para caracterização hidrogeoquímica, microbiológica e da contaminação por compostos orgânicos e inorgânicos (Figura 1). Nas áreas ambientalmente críticas A, B e D da figura 1 ou noutras áreas que requeriam informação adicional, efectuou-se prospecção geofísica de superfície através do método electromagnético Geonics EM-34, compreendendo um total de cerca de 400 estações.

### 3. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A cidade da Beira localiza-se a norte da foz do Rio Púnguè, que ao desaguar no Oceano Índico desenvolve uma planície aluvial, que termina num delta submarino (Figura 1).

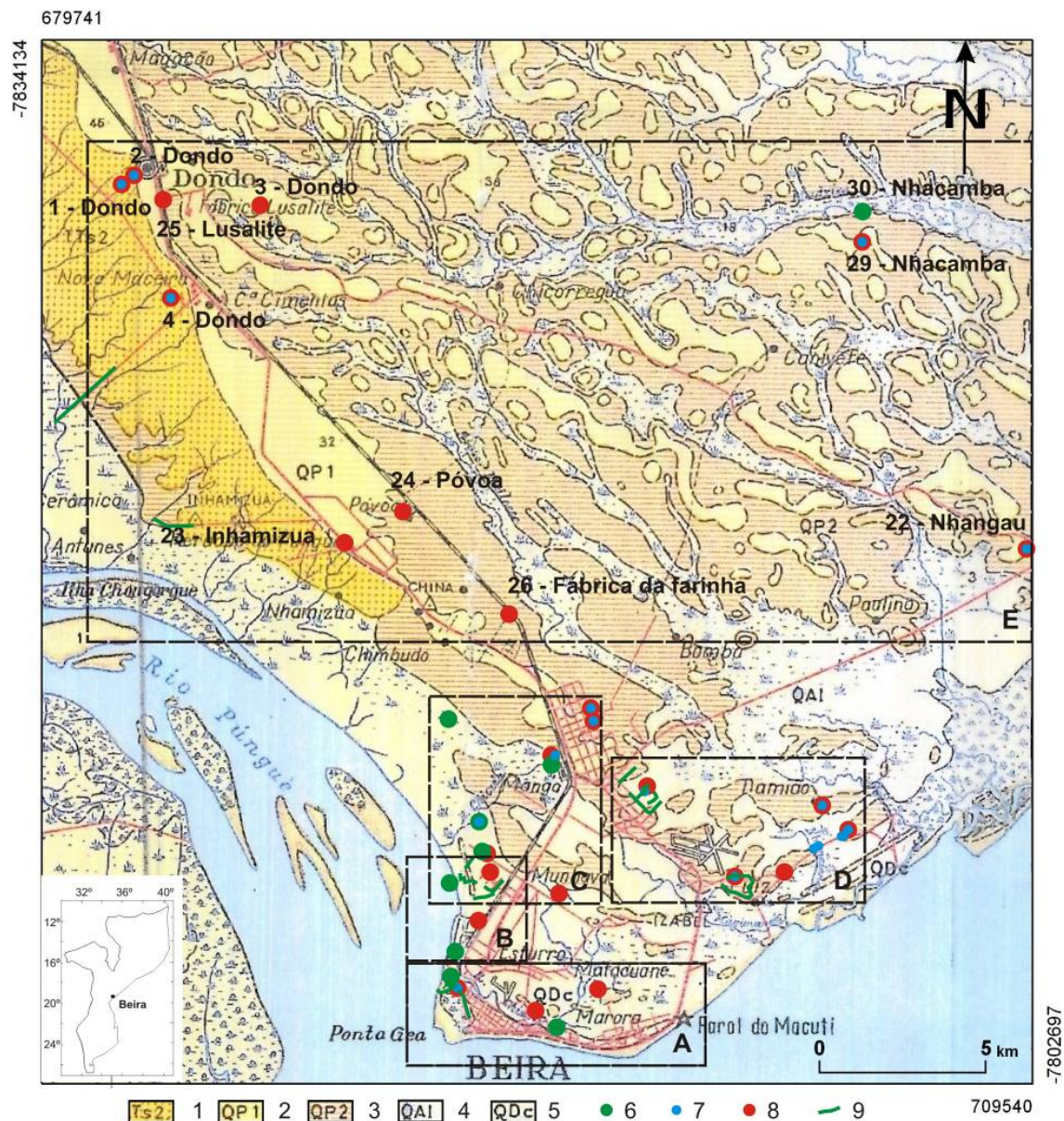


Figura 1 – Carta Geológica da Beira (Silva, 1968), com implantação das áreas de trabalho e pontos amostrados. Área A – centro da cidade da Beira, área B - Porto da Beira, área C – Bairro da Manga; área D - Aeroporto, área E - zonas menos populosas e rurais. Círculos verdes: sedimentos; Círculos vermelhos: solos; Círculos azuis: água subterrânea; Linhas verdes: perfis geofísicos. Geologia:



Ts2 – Fm Mazamba; QP1 – Fm Dondo; QP2 – Eluviões; QAI – Sedimentos fluviais; QDc – Ilhas Barreira e dunas costeiras e praias.

A cidade localiza-se sobre uma planície arenosa com uma suave inclinação para SE. Do ponto de vista geológico (modificado de Silva, 1968) a formação mais antiga, atribuída ao Pliocénico, é a Fm Mazamba. Esta formação de espessura desconhecida é dominada por arenitos arcósicos de cor cinzento claro a esverdeado, com intercalações métricas de argilitos e conglomerados, por vezes com níveis calichificados e com concreções ferruginosas e de manganês. Os conglomerados têm origem no escudo Precâmbico localizado a NW da área em estudo. Sobrejacente à Fm Mazamba encontra-se a Fm Dondo, com uma espessura inferior a 10m, que é atribuída ao Pleistocénico. É composta por arenitos de grão médio a fino, com cor vermelho alaranjada, pouco consolidados, com intercalações métricas de argilas e concreções ferruginosas. Estas areias são alvo de frequentes explorações ilegais. A erosão da Fm Dondo originou a paisagem aplanada com vegetação rasteira, onde sobressaem relevos residuais da Fm Dondo, circulares ou alongados, cobertos de floresta do tipo savana, retalhada por uma rede de drenagem complexa e anastomosada. Na superfície entre os relevos residuais e as linhas de água principais ocorrem eluviões, do Holocénico, resultantes da degradação das unidades subjacentes.

A extensa planície de inundação do Rio Púnguè é constituída por argilas e siltes, com intercalações métricas de areia fina, fluviais, e por intercalações de areias com conchas de natureza marinha, traduzindo a dinâmica fluvio-marinha. Na parte norte da área em estudo, existem sedimentos fluviais muito menos desenvolvidos resultantes de uma rede de pequenos ribeiros, que secam na estação seca e, por vezes, na estação húmida não atingem a costa. Nestes casos a água acumula-se em pequenas lagoas transformando a área numa vasta zona húmida, como por exemplo, a nordeste do aeroporto. Durante as marés-altas, a água do mar consegue penetrar nesta zona húmida e atingir áreas a alguns km da costa.

A mistura de água salgada com água doce proveniente de rios e ribeiros e da descarga do aquífero, permite o desenvolvimento de um ecossistema particular que é o Mangal.

Ao longo da costa, entre Ponta Gea e o Farol de Macuti, desenvolvem-se dunas costeiras e praias, por trás das quais há evidências de uma antiga laguna. A NE do Farol de Macuti, frente à zona húmida, desenvolvem-se ilhas barreira.

Uma parte da cidade da Beira foi construída sobre as dunas e outra sobre a zona pantanosa. A erosão marinha é acentuada entre Ponta Gea e o Farol de Macuti, resultando da acção combinada das correntes que circulam ao longo da costa de NE para SW e das correntes tidais. As marés de 6-7 m, quando combinadas com tempestades, podem atingir partes da cidade da Beira causando sérios problemas ambientais.

#### 4. ANÁLISE DE IMAGENS DE SATÉLITE

A análise de imagens multiespectrais permitiu: i) a identificação das unidades geo-ambientais, baseada numa adaptação da nomenclatura Corine Land Cover 2000/2006, ii) a evolução da dinâmica sedimentar (erosão/deposição) nos sistemas costeiros, e iii) identificar e prever problemas ambientais devido ao aumento da população e da pressão sobre ecossistemas de grande vulnerabilidade ambiental. Foram analisados três conjuntos de imagens multiespectrais obtidas em 1991, 2001 e 2007, a partir de sensores Landsat e ASTER (Figura 2).

A metodologia adoptada no processamento e interpretação das imagens e os resultados obtidos encontram-se descritos em Quental *et al.* (2009). Em síntese efectuaram-se correcções atmosféricas no módulo FLAASH do ENVI (ITT, 2008), utilizou-se uma combinação de algoritmos para classificar as imagens, tendo em conta o conhecimento geológico e o Modelo Digital de Terreno, e com operadores de morfologia matemática fez-se um refinamento final. A validação baseou-se na interpretação visual,

bem como na verificação de campo nas classes onde permaneciam dúvidas. No estudo multitemporal das imagens utilizou-se a análise em componentes principais (ACP) e focou-se parcialmente no regime costeiro e na vegetação que se desenvolve junto ao oceano, i.e. na tipologia Mangal. Detectaram-se importantes modificações na linha de costa a S e a NNE da cidade da Beira e na instalação da vegetação, particularmente visível no rio Púnguè. O regime acrecionário do delta está traduzido no padrão da vegetação e é bem evidente nas três imagens analisadas (Figura 3), embora se desconheça o regime de marés na altura da captura das imagens. A acreção sedimentar determina variações na direcção de fluxo do rio junto à cidade da Beira.

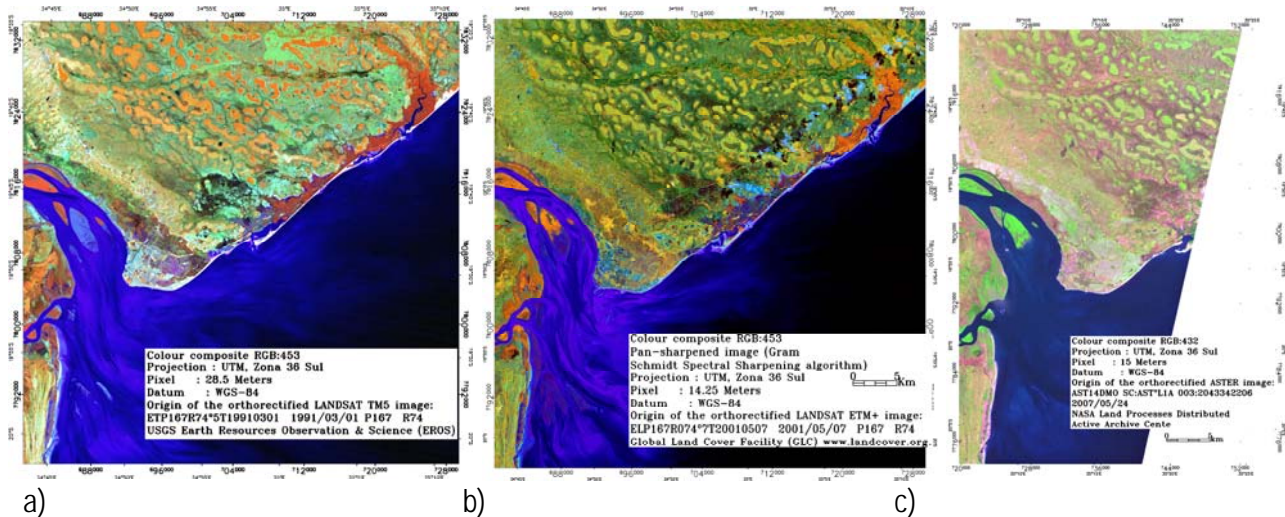


Figura 2 - Área de estudo: a) Landsat TM5 (1991), b) Landsat ETM+ (2001) e c) ASTER (2007), com 54,8% da área do projecto (Quental *et al*, 2009).

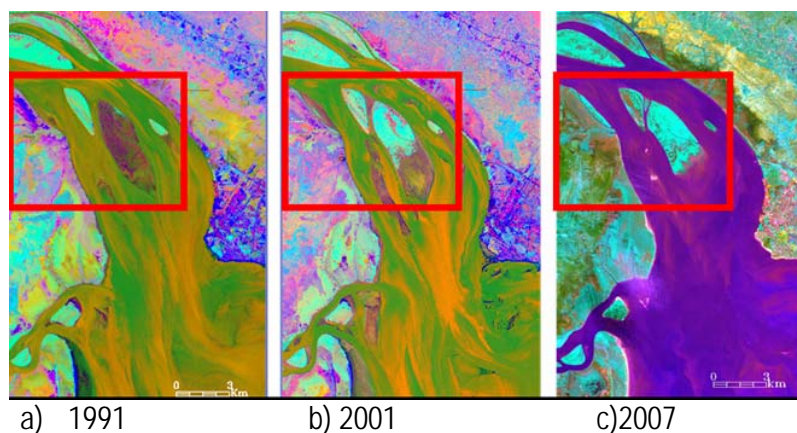


Figura 3 - Detalhe do Rio Púnguè (Quental *et al*, 2009). A ACP evidenciou o modo de acumulação dos sedimentos sub-aquáticos e a instalação de vegetação (azul claro).

A NE da cidade a evolução da linha de costa mostra um claro aumento da zona costeira (Figura 4). O Mangal nesta área parece estar a diminuir por pressão antrópica enquanto que no rio Púnguè parece aumentar fixando a areia e mostrando o regime acrecionário do rio. Estes ecossistemas, barreiras importantes na mitigação de distúrbios costeiros, são compostos por plantas tolerantes ao sal que crescem nas zonas intertidais ao longo de costas tropicais a subtropicais, servindo de habitat para mais de 1300 espécies animais (Fatoyinbo *et al*, 2008). As ameaças mais frequentes são a sobreexploração da madeira para construção e lenha e a substituição do mangal por salinas (Barbosa *et al*. 2001). Neste caso particular tudo indica que terá a ver com a implantação no local de uma indústria de produção de camarão.



A identificação das unidades geoambientais através de uma cartografia de ocupação de solo baseada em imagem de satélite quantifica o padrão de distribuição na área da Beira, evidenciando as áreas de maior densidade habitacional e conseqüentemente mais problemáticas como as de Manga.

Indica igualmente a distribuição de actividade humana (áreas de agricultura e exploração mineira) e de ecossistemas sensíveis, permitindo um maior suporte para um adequado ordenamento do território e mitigação de problemas ambientais que já se antevêem. Em particular a análise multitemporal evidenciou tendências de erosão / deposição na dinâmica dos sistemas fluviais e marinhos, com acreção de sedimentos e deslocamento de áreas.

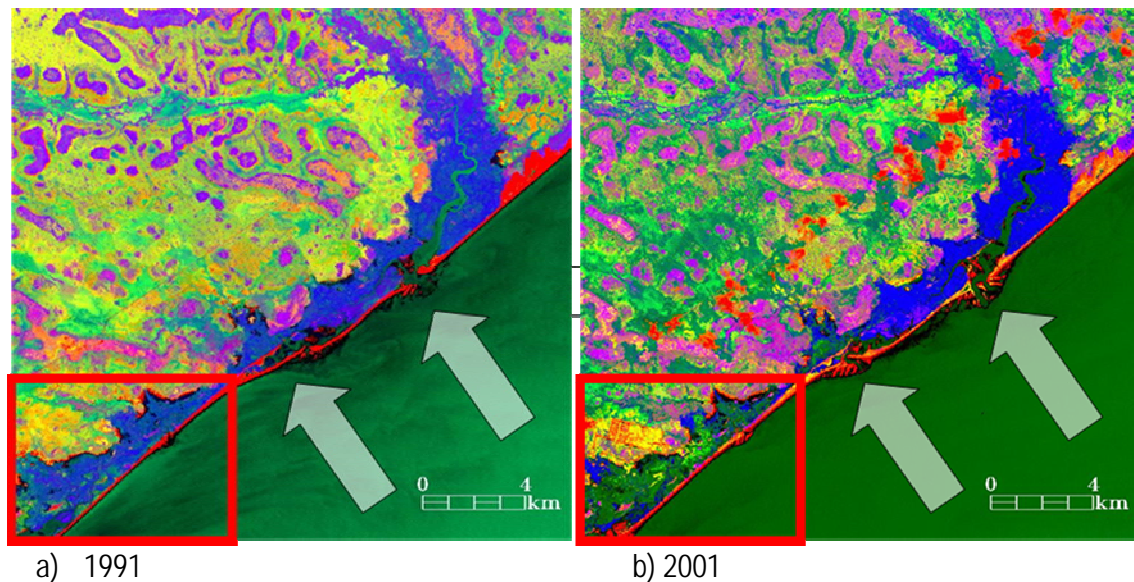


Figura 4 – A ACP evidencia a variação do Mangal (azul) entre as imagens de 1991 e 2001, a modificação da linha de costa e o aumento da zona costeira (Quental *et al*, 2009).

## 5 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A cidade da Beira é abastecida pela FIPAG a partir de uma captação directa de água do rio Púnguè a cerca de 50 km a montante da cidade. As áreas suburbanas densamente povoadas e zonas rurais são abastecidas por águas subterrâneas através de poços superficiais e furos até 40 m de profundidade, equipados com bombas manuais designadas na região por “dingo” (Figura 5).



Figura 5 – Poço equipado com bomba manual (“dingo”).

Os poços e os furos captam um aquífero multicamada, livre a semiconfinado, instalado nas areias da Formação do Dondo e nos arenitos conglomeráticos, por vezes contendo níveis carbonatados, da Formação de Mazamba. A presença de frequentes e espessas intercalações argilosas reduz a permeabilidade e conseqüentemente a produtividade do aquífero. O caudal varia entre 0,7 a 1,6 m<sup>3</sup>/hora. O nível freático é muito superficial, mesmo no final da época seca, variando de 1 a 7 m de profundidade. Os níveis de água muito superficiais conferem ao aquífero uma considerável vulnerabilidade à poluição.

A frequente presença de esgotos a correrem em valas a céu aberto pode comprometer seriamente a qualidade da água. Durante a estação das chuvas o nível freático sobe, muitas vezes interceptando a superfície, agravando assim a contaminação das águas com consequentes epidemias de cólera, entre outras doenças.

Para avaliar o grau de contaminação das águas do aquífero superficial procurou fazer-se uma caracterização físico-química, tanto quanto possível, completa. Foram seleccionados 11 poços para amostragem distribuídos pelos bairros periféricos da cidade da Beira (Manga-Loforte, Manga-Mascarenhas e Munhava-Matope), pelos subúrbios da cidade do Dondo, nas pequenas aldeias como Nhangau e Inhamízia e nas áreas rurais (Figura 1)

Os critérios subjacentes a esta selecção prenderam-se com a distribuição espacial dos pontos de água pela área de trabalho e o número de pessoas abastecidas pelo ponto de água seleccionado.

Efectuaram-se determinações *in situ*, com uma sonda multiparamétrica, dos parâmetros temperatura, condutividade, pH, potencial redox, oxigénio dissolvido e total de sólidos dissolvidos

A alcalinidade foi igualmente determinada no campo por titulação (Figura 6A). Para obter uma avaliação preliminar do grau de contaminação da água por inorgânicos utilizou-se o método reflectométrico para os nitratos, amónia e fosfatos (Figura 6B).

Colheram-se amostras para a quantificação de aniões por Cromatografia Iónica, cationes e elementos vestigiais por ICP-MS, ou ICP-OES, despistagem de compostos orgânicos por GC-EI-MS e análise microbiológica, esta última realizada pelo Laboratório de Higiene, Águas e Alimentos, da Direcção Provincial de Saúde de Sofala, na cidade da Beira.



Figura 6 – Avaliação dos parâmetros *in situ*. A) Determinação da alcalinidade por titulação; B) Medições pelo método reflectométrico do teor em nitratos, fosfatos e amónia.

A figura 1 mostra a distribuição geográfica dos pontos de água amostrados e, o quadro 1, os correspondentes parâmetros medidos *in situ* e as concentrações de alguns elementos.

A maioria das águas tem uma fácies hidrogeoquímica do tipo cloretada sódica com pH 5-6. As excepções são as águas 1-Dondo, 4-Dondo e 13-Ponta Gea, onde o bicarbonato prevalece e o pH é neutro. A condutividade eléctrica é menor que 280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , excepto nas águas de Ponta Gea e Dondo

que varia entre 780-1060  $\mu\text{S/cm}$ . O pH ligeiramente ácido tem em princípio origem na água da chuva, que aparentemente não é alterada devido ao curto tempo de circulação no interior do aquífero e à baixa interação da água com as rochas silicatadas. O pH é neutro nas amostras ao longo do bordo N do rio Púnguè (Ponta Gea e Dondo) devido a maior quantidade de material carbonatado na matriz do aquífero. As mesmas águas apresentam concentrações elevadas de iodo, provavelmente reflectindo a influência marinha.

Quadro 1 – Parâmetros de campo (OD: oxigénio dissolvido; Cond.: condutividade eléctrica), principais aniões e catiões e elementos vestigiais. Para os parâmetros tabelados são apresentados dados estatísticos.

Referência Ponto	pH	Eh	OD	Cond.	K	Mg	Ca	Na	Cl	SO4	HCO3	Si
	-	mV	mg/L	$\mu\text{S/cm}$	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1-Dondo	7,58	104	0,8	781	4,6	18,3	27,6	114,0	50,6	10,9	50,6	47,3
2-Dondo	4,48	255	1,4	837	7,6	14,9	11,0	108,0	201,0	20,2	0,0	29,5
4-Dondo	7,59	115	1,4	1059	4,8	25,6	35,8	132,0	76,1	12,6	76,1	29,9
6-Manga	5,47	274	1,9	181	5,0	1,1	1,1	30,6	20,7	29,9	2,1	9,9
9-Muavi	5,73	148	1,7	80	0,9	0,4	0,0	15,6	14,4	1,8	1,4	21,1
10-Manga-Loforte	5,17	222	1,3	233	2,9	2,5	1,2	37,7	51,4	1,3	5,1	23,8
13-Ponta Gea	7,71	33	1,6	822	27,0	22,2	62,1	43,5	41,8	41,4	41,8	20,8
22-Nhangau	5,63	225	3,4	104	3,1	0,6	0,0	10,1	14,6	1,2	1,5	6,3
23-Inhamizua	5,14	234	2,2	280	7,6	3,5	3,7	35,3	59,2	9,6	5,9	15,6
29-Nhacamba	6,43	-85	1,5	239	0,8	0,3	3,8	10,3	11,7	2,7	1,2	6,1
Min	4,48	-85	0,8	80	0,8	0,3	0,0	10,1	11,7	1,2	0,0	6,1
1º quartil	5,25	107	1,4	194	2,9	0,7	1,1	19,4	16,1	2,0	1,4	11,3
2º quartil	5,68	185	1,5	260	4,7	3,0	3,8	36,5	46,2	10,2	3,6	21,0
3º quartil	7,29	231	1,9	812	7,0	17,5	23,5	91,9	57,3	18,3	32,8	28,1
Max	7,71	274	3,4	1059	27,0	25,6	62,1	132,0	201,0	41,4	76,1	47,3

Referência Poço	Al	Mn	Fe	Zn	As	Cd	Ni	Co	I	Br	B
	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$
1-Dondo	< LD	14	< LD	6	0,7	0,03	< LD	0,1	539	128	262
2-Dondo	270	350	100	18	< LD	0,07	10,3	11,2	64	283	61
4-Dondo	< LD	7	< LD	2	0,93	0,02	< LD	0,1	290	168	357
6-Manga	10	17	40	6	0,1	0,01	1	1,1	15	42	33
9-Muavi	2	10	< LD	66	0,1	< LD	0,3	0,3	114	105	32
10-Manga-Loforte	7	33	< LD	14	< LD	0,01	1,6	2,0	44	155	34
13-Ponta Gea	2	462	< LD	2	3,28	0,02	1,7	0,2	308	193	174
22-Nhangau	16	4	< LD	19	< LD	< LD	< LD	0,2	17	56	28
23-Inhamizua	46	79	30	9	0,39	0,01	2,2	2,7	29	211	45
29-Nhacamba	5	15	850	62	0,83	< LD	< LD	0,3	52	53	34

< LD – Abaixo do Limite de Detecção.

Solos com um elevado conteúdo em matéria orgânica (Sogreah, 1979) podem bem explicar o pouco oxigénio dissolvido (0,8-3,4 mg/L), o pH ácido (5,14-6,43) e o Eh (-0,85 a 270 mV) medido na maioria das águas. Não pôde ser medido o carbono orgânico dissolvido para verificar esta situação.

A maior parte dos parâmetros situam-se abaixo dos limites máximos admissíveis que constam no Regulamento sobre a Qualidade de água para Consumo Humano do Ministério da Saúde de Moçambique, Parte B – para a água destinada ao consumo humano fornecida por fontes de



abastecimento público sem tratamento (2004), o que significa que aquelas águas podem ser usadas para consumo humano sem tratamento. No entanto, destacam-se as seguintes excepções:

- pH: menor que o intervalo admissível de 6,5-8,5 nas águas 2-Dondo, 6-Manga, 9-Muavi, 10-Manga-Loforte, 22-Nhangau, 23-Inhamízia, 29-Nhacamba.
- Boro: maior do que o valor admissível de 300 µg/L na água 4-Dondo;
- Cálcio: maior do que o valor admissível de 50 mg/L na água 13-Ponta Gea.
- Alumínio: maior do que o valor admissível de 200 µg/L na água 2-Dondo;
- Manganês: maior do que o valor admissível de 100 µg/L (3,5 e 4,6 x mais) nas águas 2-Dondo e 13-Ponta Gea.
- Ferro: maior do que o valor admissível de 300 µg/L na água 29-Nhacamba.

Os elevados valores de alumínio (270 µg/L), manganês (350 µg/L), chumbo (5,72 µg/L), cobalto (11,2 µg/L) e níquel (10,3 µg/L) encontrados no poço 2-Dondo estão provavelmente relacionados com um buraco situado na vizinhança utilizado para despejo de lixo doméstico. Este depósito de lixo é a causa do baixo pH (4,48) medido. Estas condições ácidas favorecem a remobilização de metais para a água subterrânea.

As concentrações mais elevadas de ferro e zinco foram observadas no poço 29-Nhacamba, que é também o poço com o menor Eh encontrado (-85 mV) e um nível baixo de oxigénio dissolvido (1,5 mg/L), indicando um ambiente redutor. A água oxigenada ao entrar num aquífero rico em matéria orgânica é alvo de uma sequência de reacções redox que conduzem à eliminação sucessiva do oxigénio dissolvido e nitrato e à solubilização do manganês e do ferro. A tendência evolutiva pode levar à redução da matéria orgânica e dos sulfatos, acompanhada da presença de sulfureto de hidrogénio (Appelo & Postma, 1996). Normalmente, a presença de sulfuretos é acompanhada da diminuição da concentração de metais pesados, devido à formação de sulfuretos metálicos, de solubilidade muito baixa. Durante a amostragem da água foi detectado um forte odor a ovos podres característico do sulfureto de hidrogénio.

Não foram encontrados organismos patogénicos nas águas, provavelmente pelo facto de a campanha ter decorrido no final da época seca. Na análise qualitativa de compostos orgânicos foram detectados os semivoláteis Di (2-etilhexil) ftalato (DEHP) e o dimetiletilfenol, os retardantes de chama Trietilfosfato (TEP) e Clorometiletilfosfato, os voláteis Tricloropropeno e Estireno. A hormona esteroide Pregnano foi detectada na maioria das águas. Ocasionalmente, foram detectados os voláteis Clorobenzeno, Xileno e Trimetilheptano (10-Manga-Loforte), Tolueno (4-Dondo, 6-Manga, 22-Nhangau), os semi voláteis Clorotolueno (1-Dondo, 4-Dondo, 6-Manga), o hidrocarboneto Fenantreno (4-Dondo).

O Boro (B) e o Fosfato (PO<sub>4</sub>) apresentam uma forte correlação (R=0,94), cuja origem será, muito provavelmente, devida aos detergentes uma vez que é prática comum lavar a roupa junto aos poços. Foram detectados nas águas compostos de degradação dos detergentes, o Octilfenol (na 4-Dondo e 6-Manga) e Nonilfenol (na 9-Muavi).

## 6 SOLOS E A SUA INTERACÇÃO COM AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os solos da Beira são classificados do ponto de vista pedológico em dois grandes grupos: i) os solos mais costeiros e estuarinos (FE) que são solos desenvolvidos a partir de sedimentos marinhos estuarinos, com características de solo argiloso cinzento, profundo, e frequentemente saturado que sofrem de drenagem má a muito má; e ii) outro grupo de solos mais interiores (MA+AA), designados solos de Mananga com cobertura arenosa de espessura variável e solos arenosos amarelados (Carta de Solos da Província de Sofala, 1995).

Estes solos do ponto de vista ambiental podem ser afectados pelo excesso de população e pela degradação das infra-estruturas como edifícios e estradas, visto não ser uma região significativamente

industrializada. A maioria das ruas não têm pavimento e a não impermeabilização de zonas de elevada densidade populacional expõe os solos à poluição. Ainda, a falta de mecanismos de recolha de lixos domésticos, tornando prática corrente a existência de lixeiras domésticas junto das habitações e, a deficiente rede de esgotos, permitindo a construção de latrinas e fossa com drenos, são factores penalizantes do ponto de vista ambiental. Um fenómeno natural que também pode influenciar a qualidade dos solos, especialmente aqueles onde se cultiva o arroz, é a entrada de água marinha, que ao inundar esses solos dificulta o cultivo pela elevada salinidade.

O estudo aqui apresentado foi desenvolvido nas áreas indicadas na figura 1 e refere-se à cidade propriamente dita e zonas urbanas junto ao centro (zonas A e C), às zonas suburbanas, (zona D) e às zonas rurais (zona E).

A amostragem de solos teve como referência principal a selecção dos poços onde foram colhidas as águas subterrâneas no sentido de perceber que elementos químicos presentes nos solos passariam para as águas subterrâneas. Como referência complementar para amostragem foi usada a classificação das áreas segundo a imagem satélite, e feita uma amostragem de alguns locais típicos e caracterizadores de áreas rurais, subúrbios e cidade da Beira. Na figura 7 podem ser observados os tipos de perfis de solo amostrados nestas áreas.



Figura 7 – A) Perfil de solo com horizontes definidos; B) Perfil de solo antrópico sem horizonte definido

Os resultados das amostras obtidas na proximidade dos poços são apresentados no quadro 2.

No geral observou-se que os fenómenos de poluição nos solos estão reflectidos nas concentrações de Cu, Pb e Zn. No entanto, nos solos amostrados junto aos poços as concentrações dos elementos representados no quadro 2 são bastante baixas com excepção do Cr. Nas águas subterrâneas as concentrações destes elementos são igualmente baixas, incluindo o Cr.

Após várias tentativas de explicação da origem do Cr verificou-se que resulta de uma assinatura natural elevada, possivelmente relacionada com a origem deltaica destes solos. Estes, compostos fundamentalmente por quartzo, feldspatos e moscovite, e ainda por grãos de anfíbola, piroxena e olivina, sugerem que estes sedimentos tiveram origem nos complexos máficos e gneisso-granulíticos Proterozóicos localizados a montante, em Moçambique e no Zimbabué.

Verificou-se também que as maiores concentrações dos metais Cu, Pb e Zn nas águas se relacionam com águas acidificadas e, que as concentrações mais baixas, se encontram nas águas com pH neutro. O facto de o Cr não acompanhar esta tendência poderá ser explicado pela sua estabilidade nos minerais dos solos.

O Zn, embora esteja em concentrações baixas nos solos superficiais nos locais 9-Muavi e 29-Nhacamba, aumenta a concentração nas águas. Uma possível explicação pode residir no facto de as

águas terem graus de evolução diferentes na sequência de processos redox. A água 29-Nhacamba parece mais evoluída e ter atravessado barreiras redox, conforme explicado na secção 5. A água 9-Muavi, parece menos evoluída, com uma condutividade de 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e pH 5,7, aproximados à água da chuva, e no entanto já desprovida de oxigénio dissolvido (1,7mg/L), a primeira das reacções sequenciais dos processos redox. Nesta água a remobilização de Zn é mais evidente do que a dos outros elementos, provavelmente devido à maior facilidade com que é solubilizado a partir do solo.

No ponto de amostragem 2-Dondo, o pH ácido e as concentrações de Pb e Zn ligeiramente mais elevados nos solos e água subterrânea são explicados pelo facto de o poço e o solo colhido se encontrarem na proximidade de uma lixeira doméstica (inferior a 1 m), conforme referido na secção 5.

Quadro 2- Concentrações de Cu, Pb, Zn e Cr nos solos (mg/kg) e nas águas subterrâneas ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) próximas dos mesmos e ainda o pH e condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) nas águas subterrâneas

Referência de campo	Meio amostral	Conductividade					
		pH	da água	Cu	Pb	Zn	Cr
1-Dondo_A	Solo superf.			8	12	11	92
1-Dondo_B	Solo sub-superf.			5	11	4	150
<b>1-Dondo</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>7.58</b>	<b>781</b>	<b>2.5</b>	<b>0.06</b>	<b>5.8</b>	<b>&lt; 0.5</b>
2-Dondo_A	Solo superf.			7	35	15	69
2-Dondo_B	Solo sub-superf.			8	10	18	27
<b>2-Dondo</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>4.48</b>	<b>837</b>	<b>6.1</b>	<b>5.72</b>	<b>17.8</b>	<b>&lt; 0.5</b>
4-Dondo_A	Solo superf.			6	8	10	120
4-Dondo_B	Solo sub-superf.			4	8	3	13
4-Dondo_C	Solo sub-superf.			5	8	5	178
<b>4-Dondo</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>7.59</b>	<b>1059</b>	<b>0.3</b>	<b>0.08</b>	<b>2.2</b>	<b>1.3</b>
6-Manga_A	Solo superf.			19	38	132	44
6-Manga_B	Solo sub-superf.			13	25	27	293
<b>6-Manga</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>5.47</b>	<b>181</b>	<b>1</b>	<b>0.77</b>	<b>5.8</b>	<b>&lt; 0.5</b>
9-Muavi_A	Solo superf.			4	7	3	20
9-Muavi_B	Solo sub-superf.			5	9	3	93
<b>9-Muavi</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>5.73</b>	<b>80</b>	<b>5.8</b>	<b>0.17</b>	<b>66</b>	<b>0.7</b>
10-Manga-Loforte_A	Solo superf.			9	21	32	32
10-Manga-Loforte_B	Solo sub-superf.			9	11	14	63
<b>10-Manga-Loforte</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>5.17</b>	<b>233</b>	<b>5.8</b>	<b>0.55</b>	<b>13.7</b>	<b>&lt; 0.5</b>
13-Ponta Gea_A	Solo superf.			7	13	17	13
13-Ponta Gea_B	Solo sub-superf.			4	6	2	146
<b>13-Ponta Gea</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>7.71</b>	<b>822</b>	<b>1.1</b>	<b>0.12</b>	<b>2.1</b>	<b>0.7</b>
22-Nhangau_A	Solo superf.			7	8	9	26
22-Nhangau_B	Solo sub-superf.			6	9	11	69
<b>22-Nhangau</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>5.63</b>	<b>104</b>	<b>12.7</b>	<b>0.83</b>	<b>18.5</b>	<b>&lt; 0.5</b>
23-Inhamizua_A	Solo superf.			6	8	22	16
23-Inhamizua_B	Solo sub-superf.			5	8	9	94
<b>23-Inhamizua</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>5.14</b>	<b>280</b>	<b>0.7</b>	<b>1.53</b>	<b>8.7</b>	<b>1</b>
29-Nhacamba_A	Solo superf.			4	4	2	13
29-Nhacamba_B	Solo sub-superf.			8	8	4	22
<b>29-Nhacamba</b>	<b>Água subterr.</b>	<b>6.43</b>	<b>239</b>	<b>0.7</b>	<b>0.78</b>	<b>61.9</b>	<b>&lt;0.5</b>

Solo superf.: Solo superficial; Solo sub-superf.: Solo sub-superficial; Água subterr.: Água subterrânea

O estudo genérico de caracterização geoquímica dos solos, com base em 23 locais amostrados e 14 elementos químicos, foi feito com recurso a uma análise em componentes principais (ACP) permitindo distinguir factores correspondentes a assinaturas geoquímicas de origem geogénica e



outras de origem antrópica, referentes às três áreas seleccionadas ou seja zona urbana, zona dos subúrbios e zonas rurais (quadro 3).

Quadro 3 - Análise em Componentes Principais para agrupamento dos elementos químicos dos solos no sentido de determinar a sua possível origem.

Factor	Elementos agrupados nos S.Sup.	Possível origem dos solos
F1 (62,4%)	Cu, Pb, Ni, Zn, As, Cr, Fe, Sr	Antrópica e natural
F2 (25,9%)	Ti, Th, U, La, Ce, Nd	Natural
Factor	Elementos agrupados nos S. Sub-sup.	Possível origem dos solos
F1 (67,5%)	Pb, Ni, Zn, As, Fe	Antrópica
F2 (14,2%)	Cu, Cr, Sr, La, Ce, Nd	Natural de litologia a montante
F3 (8,5 %)	Ti, Th, U, La, Ce, Nd	Natural de litologia a montante

S.Sup: solo superficial; S. Sub-sup: Solo subsuperficial.

No quadro 3 observam-se diferenças na distribuição dos elementos químicos nos factores ditos naturais e nos factores ditos antrópicos que merecem atenção. O factor F1 nos solos superficiais tem uma mistura de elementos aparentemente de origem antrópica com elementos de origem natural que, no caso dos solos subsuperficiais, originou a separação em dois grupos distintos F1 e F2. A explicação provável no caso do F1 dos solos subsuperficiais, pode ser a sua natureza de perfil antrópico, sem horizonte definido, normalmente associado a locais de aterro ou lixeira, reflectindo assim poluição em profundidade, enquanto os solos superficiais reflectem situações diversas conforme os locais, juntando assim dois grupos num só.

Ainda assim, onde se observam situações coincidentes com assinaturas geoquímicas típicas de poluição, estas não se reflectem em elevadas concentrações dos elementos nos solos. Uma explicação pode ser o facto de na estação húmida e, com as inundações frequentes que aqui ocorrem, a parte fina destes solos, onde normalmente estão adsorvidos os metais pesados, ser arrastada para o Rio Púnguê ou para o Oceano Índico.

Os elementos de terras raras, o U e o Th, reflectidos nos factores F2 dos solos superficiais e, F2 e F3 dos solos subsuperficiais, à semelhança do Cr, também têm origem nos complexos rochosos a montante na bacia do Rio Púnguê (Pekkala *et al.*, 2008).

## 7 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS GEOFÍSICOS

Na zona do aeroporto, que compreende os bairros densamente povoados de Manga-Mascarenhas e Manga-Loforte (figura 8), detectou-se a existência de águas salobras captadas em poços superficiais inviabilizando-os para abastecimento público.

Efectuaram-se campanhas de prospecção geofísica com o método electromagnético Geonics EM-34 para tentar compreender a origem desta água salobra e frequentemente salgada que se encontra até profundidades da ordem dos 30 m. O equipamento é composto por uma bobina transmissora Tx e uma bobina receptora Rx colocada a uma distância pré-definida. Mede a condutividade eléctrica aparente do solo definida por uma equação. Ambas as configurações possíveis, com modo de bobina horizontal ou vertical, geram dipolos verticais ou horizontais, respectivamente, atingindo diferentes profundidades de investigação para a mesma distância entre bobinas. Os espaçamentos do cabo são de 10m, 20m e 40m (quando possível), correspondendo respectivamente às frequências de 6.4, 1.6 e 0.4 kHz (Geonics, 1990). Alguns dados são apresentados sob a forma de cartas de iso-valores de condutividades eléctricas aparentes a pseudo-profundidades, utilizando uma única configuração cabo/bobina. Outros são apresentados sob a forma de perfis de resistividade 2D invertidos com o software em 3D desenvolvido por Santos (2004). Estes dados podem ser

correlacionados com formações geológicas e ser utilizados como uma ferramenta para interpretar condições hidrogeológicas ou tendências na geoquímica de solos.

No quadro 4 pode observar-se a concentração de alguns elementos químicos e os valores obtidos nos parâmetros medidos *in situ* para o poço 27 – Manga Mascarenhas de água salobra.

Quadro 4 – Parâmetros físico-químicos e concentrações da água salobra do poço 27-Manga – Mascaranhas.

Referência Ponto	pH	Eh	OD	Cond.	TDS	K	Mg	Ca	Na	B	Sr	I	Br	Cl	SO4	HCO3
	-	mV	mg/L	$\mu$ S/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
27-Manga-Mascarenhas	7,15	67,2	0,8	23730	11860	63	279	140	4560	6	2,4	11,5	81,6	6880	840	920



Figura 8 – Localização dos pontos de amostragem do solo, água, SEVs e EM-34 na zona do Aeroporto. Na zona de Manga-Mascarenhas e Manga-Loforte são apresentadas as cartas de isovalores de condutividade eléctrica à pseudo-profundidade de 7,5m a partir das campanhas de EM-34.

Como o nível freático se encontrava próximo da superfície (figura 11A) a aquisição dos dados fez-se ao longo dos caminhos de terra batida, dando origem a uma rede muito irregular com 87 pontos registados com os cabos de 10m e 20m e alguns com o cabo de 40m. Os perfis de inversão MM1 (cuja estação EM-MM1 passa no poço 27-Manga-Mascarenhas) e MM2 estão localizados numa área onde a resistividade eléctrica superficial se situa entre 5 e 50 ohm.m (figura 9). Estes valores são compatíveis com a existência de lenticulas descontínuas contendo água salobra como fluido intersticial nas formações arenosas e argilosas até profundidades superiores a 40m. Na zona do poço, à pseudo-profundidade de 7,5m há um aumento local na condutividade eléctrica para 120 mS/m.

Para verificar em profundidade a continuidade das camadas de baixa resistividade, reprocessaram-se os dados originais de prospecção geoeléctrica, da ARA-Centro (1999). A campanha compreendeu 9 Sondagens Eléctricas Verticais (SEVs) realizadas próximo do Aeroporto Internacional da Beira. Foi utilizado o dispositivo de Schlumberger, com um ABEM Terrameter, que ao injectar corrente eléctrica através do solo, atingindo diferentes profundidades de investigação em cada medida, permite que seja medida a resistividade eléctrica aparente dos materiais atravessados.

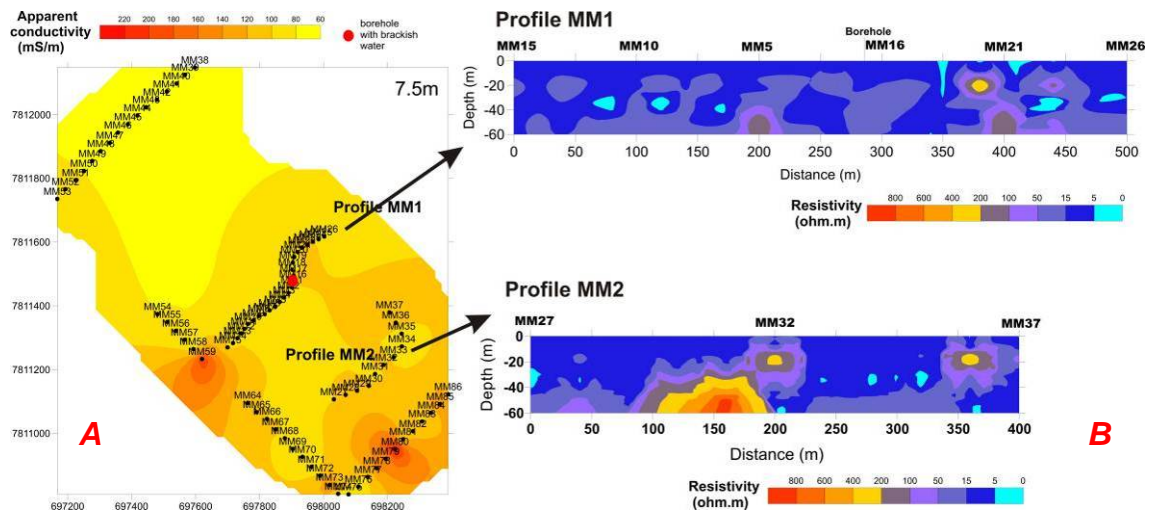


Figura 9 - A) Condutividade eléctrica aparente dos dados de EM-34 de Manga-Mascarenhas para a pseudo-profundidade de 7,5m. B) Modelos 2D invertidos de resistividade eléctrica a partir dos dados de EM-34, dos perfis localizados na zona.

No reprocessamento construíram-se duas pseudo-secções nas direcções N-S e W-E baseadas nos modelos 1D invertidos das SEVs (figura 10). Estas pseudo-secções permitiram confirmar a heterogeneidade local, a espessura e continuidade das lenticulas de água salobra, com resistividades eléctricas a variar entre os 5 e os 50 ohm.m. Por outro lado, as formações arenosas e argilosas contendo água salina, com resistividades eléctricas inferiores a 5 ohm.m (Almeida *et al.*, 1987; Sharma, 1997) aparentam ter uma distribuição irregular na área.

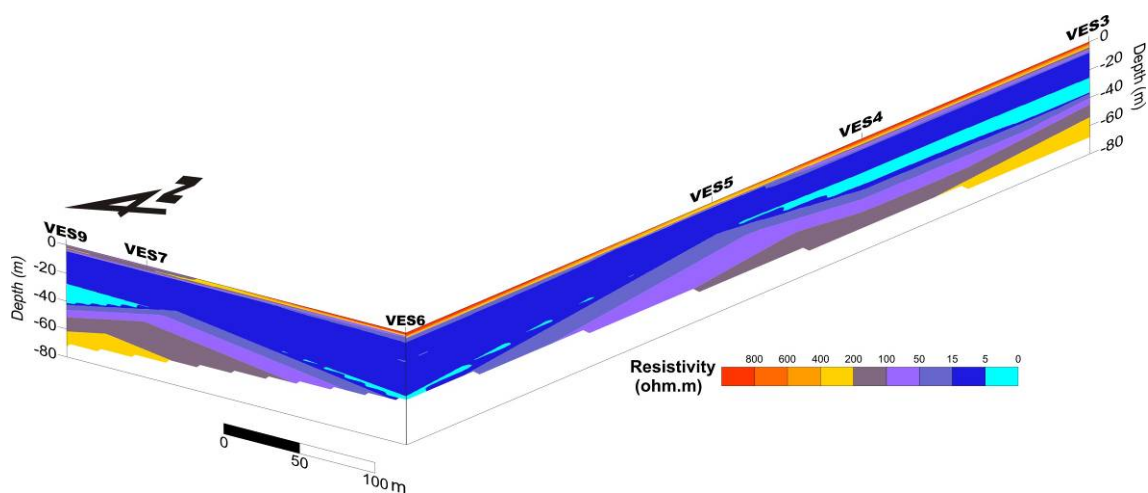


Figura 10 – Pseudo-secções de resistividade eléctrica nas direcções aproximadas W-E e N-S para os modelos 1D dos dados reprocessados das SEVs da ARA-Centro (1999).

Os resultados obtidos sugerem a existência de água aprisionada em camadas lenticulares descontínuas em profundidades que variam entre os 20m e os 30 m, que inviabilizam com frequência a perfuração de captações para abastecimento público e aparentam ter origem em antigos braços do delta do Rio Púnguê. Não aparenta ter origem em processos actuais de intrusão salina.





Figura 11 - A) - Detalhe de uma “machamba” na zona de Manga-Mascarenhas onde a estação MM1 corresponde ao poço superficial 27-Manga-Mascarenhas. O NHE encontrava-se quase à superfície na altura das campanhas de prospecção electromagnética. B) Detalhe do operador do receptor na campanha de prospecção electromagnética com o Geonics EM-34, em Manga-Loforte.

No pólo suburbano de Manga-Loforte, localizado a SE do aeroporto da Beira, a prospecção electromagnética consistiu em 58 estações (figuras 8 e 11B), utilizando os cabos de 10m e 20m, com ambas as configurações das bobinas, próximo de um poço superficial contaminado (10-Manga-Loforte). A figura 12 mostra o mapa de iso-valores de EM-34 para a pseudo-profundidade de 7,5m e os modelos inversos 2D de resistividade eléctrica (ohm.m) nos dois perfis de Manga-Loforte, a partir dos dados de EM-34.

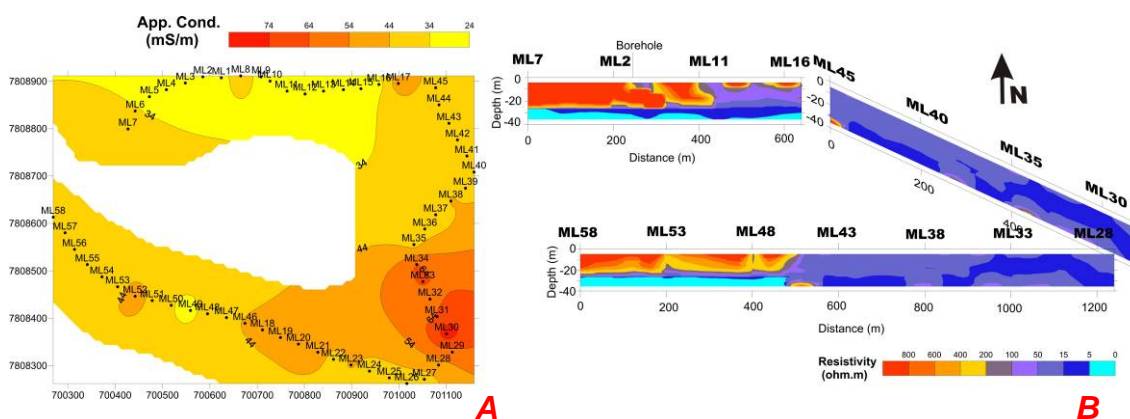


Figura 12 – A) Condutividade eléctrica aparente para a pseudo-profundidade de 7.5m (mS/m) no pólo suburbano de Manga-Loforte na campanha de prospecção electromagnética EM-34. B) Modelos 2D invertidos de resistividade eléctrica (ohm.m) a partir dos dados de EM-34, dos perfis localizados na zona do suburbano de Manga-Loforte.

O gradiente natural da topografia tem sentido E, e a forma da campanha foi condicionada pelo lago localizado no centro da área coberta. Tal como visto nas figuras 9 e 12, se bem que Manga-Loforte apresente condutividades eléctricas muito mais baixas do que Manga-Mascarenhas, na sua parte E existe uma zona onde as resistividades eléctricas modeladas são compatíveis com a presença de água salobra em profundidades que oscilam entre a superfície e os 40m. Por outro lado, na parte W da campanha, abaixo de formações com resistividades eléctricas mais elevadas, foram modeladas formações com resistividades eléctricas mais baixas, com valores compatíveis com a presença da água

salina a profundidades de cerca de 20m. Contudo, uma vez mais, as lenticulas de água salobra como fluido intersticial parecem ter uma distribuição irregular. A partir das campanhas de prospecção geofísica levadas a cabo e reprocessadas, parece que a presença de fluidos intersticiais com resistividade eléctrica compatível com água salina não é contínua. Por isso, a hipótese de considerar a água salina como água aprisionada ganha força face à hipótese da intrusão salina.

No entanto as águas salobras mais superficiais detectadas em Manga Mascarenhas já podem ter origem na água do mar. Durante a maré-alta, parece haver um importante influxo de água nos canais naturais do mangal, tal como observado nos pontos 31 e 33 (figura 8), onde foram medidas condutividades eléctricas muito elevadas (superiores a 60.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). A entrada desta água salina pode ter dado origem às bolsas de água salgada detectadas pela prospecção geofísica. Aparentemente, o limite entre esta água do mar e a água doce encontra-se entre os pontos mencionados acima e os pontos 30 e 32 (figura 8), onde a água doce foi encontrada sem evidências de água salgada.

Os resultados da hidrogeologia e da prospecção geofísica são consistentes a este respeito, indo ao encontro das hipóteses geológicas formuladas para a zona e reforçando-as. As planícies tidais terão existido naquela área antes do desenvolvimento das actuais ilhas barreira e esta zona húmida a leste do pólo suburbano de Manga tem sido, ao longo do tempo, uma zona de sedimentação mista marinha e fluvial.

## 5 CONCLUSÕES

A integração de metodologias interdisciplinares, que envolveram o processamento de imagens de satélite e campanhas para estudos geológicos, de geoquímica de solos, hidrogeológicos e geofísicos, foi essencial na elaboração da Carta Geoambiental da cidade da Beira, Moçambique, à escala 1/50000. A carta, em fase final de preparação, constituirá importante ferramenta de apoio ao desenvolvimento socioeconómico da região.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Sr. Almiro Mabaia da Direcção Nacional de Geologia de Moçambique, ao Sr. Vitor Rego da Água Rural e ao Dr. Marcos Mponda da ARA-Centro a ajuda prestada neste trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.; MARQUES DA SILVA, M.; SENOS MATIAS, M. - *Métodos eléctricos no estudo da interface água doce/água salgada - um exemplo Torreira/Aveiro*. Geotecnia, nº51, 1987, pp.33-44.
- APPELO and POSTMA - *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. AA Balkema, 1996.
- ARA-Centro - *Prospecção Geofísica no Aeroporto Internacional da Beira*. Administração Regional de Águas do Centro, 1999, 18p+Anexos.
- BARBOSA F. M. A.; CUAMBE, C. C.; BANDEIRA, S. O. - *Status and distribution of mangroves in Mozambique*. *South African Journal of Botany*, Vol. 67, n3, 2001, pp 393-398.
- Carta de Solos da Província de Sofala*. Comunicação nº 73, Departamento Terra e Água, Instituto Nacional de Investigação Agronómica, 1995.
- FATOYINBO, T. E.; M. SIMARD; WASHINGTON-ALLEN, R. A.; SHUGART, H. H. - *Landscape-scale extent, height, biomass, and carbon estimation of Mozambique's mangrove forests with Landsat ETM+ and Shuttle Radar Topography Mission elevation data*. *J. Geophys. Res.*, 113, G02S06, doi: 10.1029/2007JG000551, 2008.
- GEONICS Ltd. - *EM34-3 and EM34-3XL Operating Instructions*, 1990.
- ITT - *ENVI USERS GUIDE: VERSION 4.5*. ITT VISUAL INFORMATION SOLUTIONS, 2008.

JEEVANANDA REDDY, S.; MUSSAGE, E. M. - *Capacidade Erosiva da Precipitação em Moçambique*. Comunicação nº 25, Série Terra e Água, Instituto Nacional de investigação Agronómica, 1985.

NORCONSULT - *Beira Transport System Port Project P-CE-2, New Oil Terminal. Civil Design Calculations – Part 7, 7 Geotechnical Design Report*, 1989.

PEKKALA, Y.; LEHTO, T.; MÄKITIE, H. - *GTK Consortium Geological Survey in Mozambique 2002-2007*. Geological Survey of Finland, Special Paper 48, 2008, 321p.

QUENTAL, L.; OLIVEIRA, T.; DIAS, R.; BATISTA, MJ; FERNANDES J. - *Land cover characterization and change detection using multispectral imagery for the Beira area, Mozambique: a preliminary approach*. Proceedings of the 33rd International Symposium of Remote Sensing of the Environment, 585 pdf, 2009, 4p.

*Regulamento sobre a Qualidade de água para Consumo Humano do Ministério da Saúde de Moçambique, Parte B – para a água destinada ao consumo humano fornecida por fontes de abastecimento público sem tratamento*, 2004.

SANTOS, F. M. - *1-D laterally constrained inversion of EM34 profiling data*. *Journal of Applied Geophysics*, 56, 2004, pp123-134.

SHARMA, P. V. - *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge University Press, 1997, 475p.

SILVA, V. - *Carta Geológica, Província de Moçambique, Folha Sul-E-36 X, Beira-Vila Machado, na escala 1/250 000*. Edição dos Serviços de Geologia e Minas da Província de Moçambique, Lourenço Marques, 1968.

SOGREAH - *Estudo pedológico de detalhe. Sector da Beira (Prov. Sofala)*. R 32 05302. Ministério da Agricultura. Secretário para a Cooperação Internacional "Mozambic Nordic Agricultural Program", Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, Grenoble, França, 1979, 85p.