

UTILIZAÇÃO DE METODOLOGIAS INTEGRADAS NA PRODUÇÃO DA CARTA GEOAMBIENTAL DA CIDADE DA BEIRA, MOÇAMBIQUE

Resultados Preliminares



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

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

10º CONGRESSO DA ÁGUA
21 a 24 de MARÇO de 2010

Principal objectivo: 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.

Enquadramento: A cidade da Beira localiza-se na foz do Rio Púnguè. Tem uma ocupação humana superior a 400000 habitantes. 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.



Foi utilizado um conjunto de **metodologias interdisciplinares** que envolveram:

- a análise detalhada de imagens de satélite multiespectrais LANDSAT e ASTER que permitiram

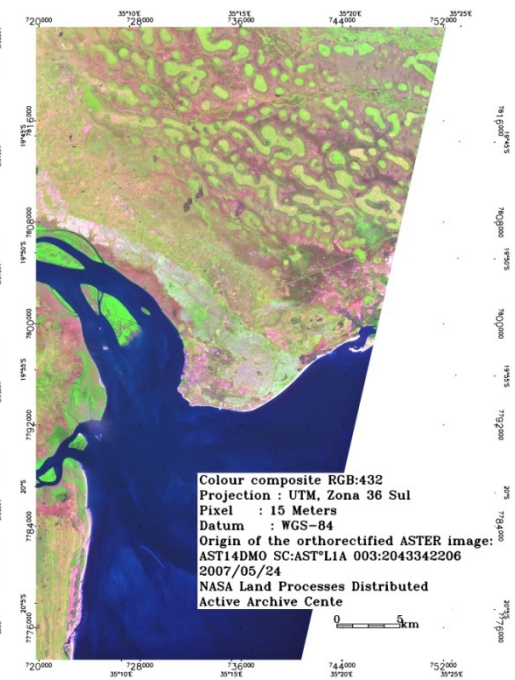
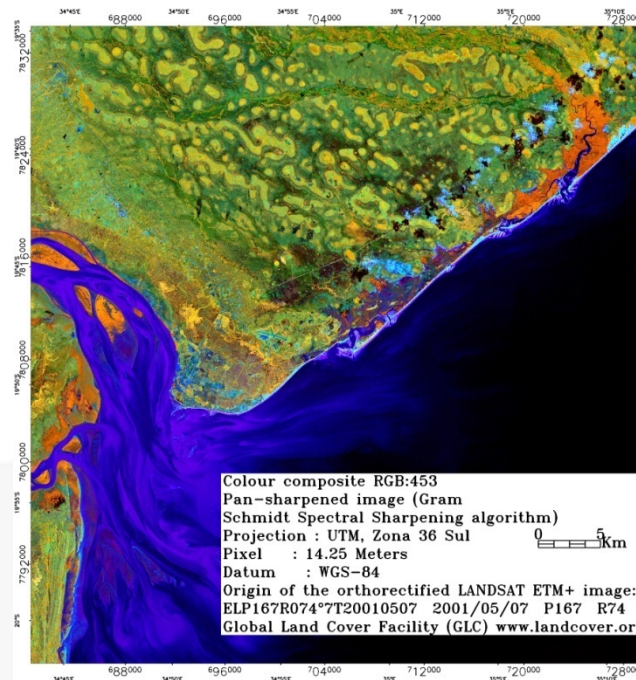
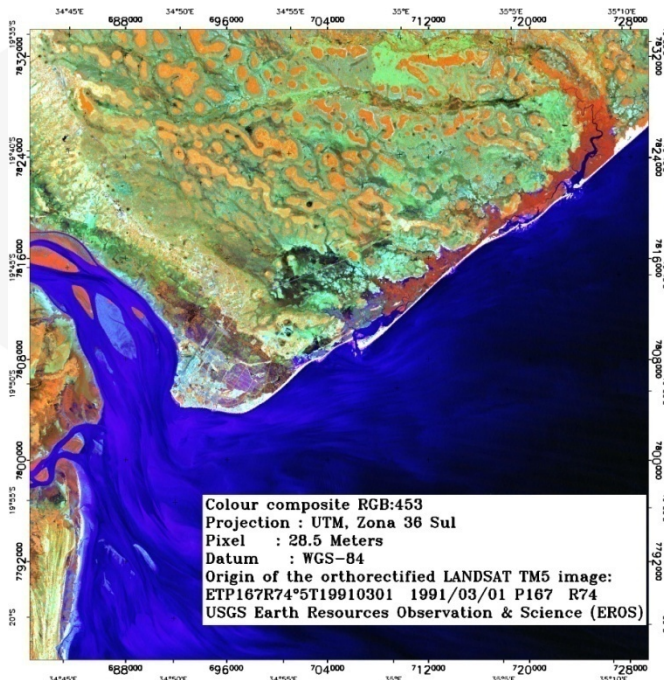
- i) a classificação da ocupação do solo com base nas classes do Corine Land Cover adaptada para regiões tropicais;
- ii) comprovar o regime acrecionário do rio Pungué e as modificações da linha de costa através de um estudo multitemporal.

- no terreno realizaram-se:

- i) levantamentos geológicos regionais para actualização da Carta Geológica da Beira;
- ii) validação da análise das imagens de satélite;
- iii) colheita de 35 solos e sedimentos de linhas de água e de canal 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;
- v) geofísica de superfície com o método electromagnético Geonics EM-34 em 400 estações nas áreas ambientalmente críticas.



Imagens multiespectrais da 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).



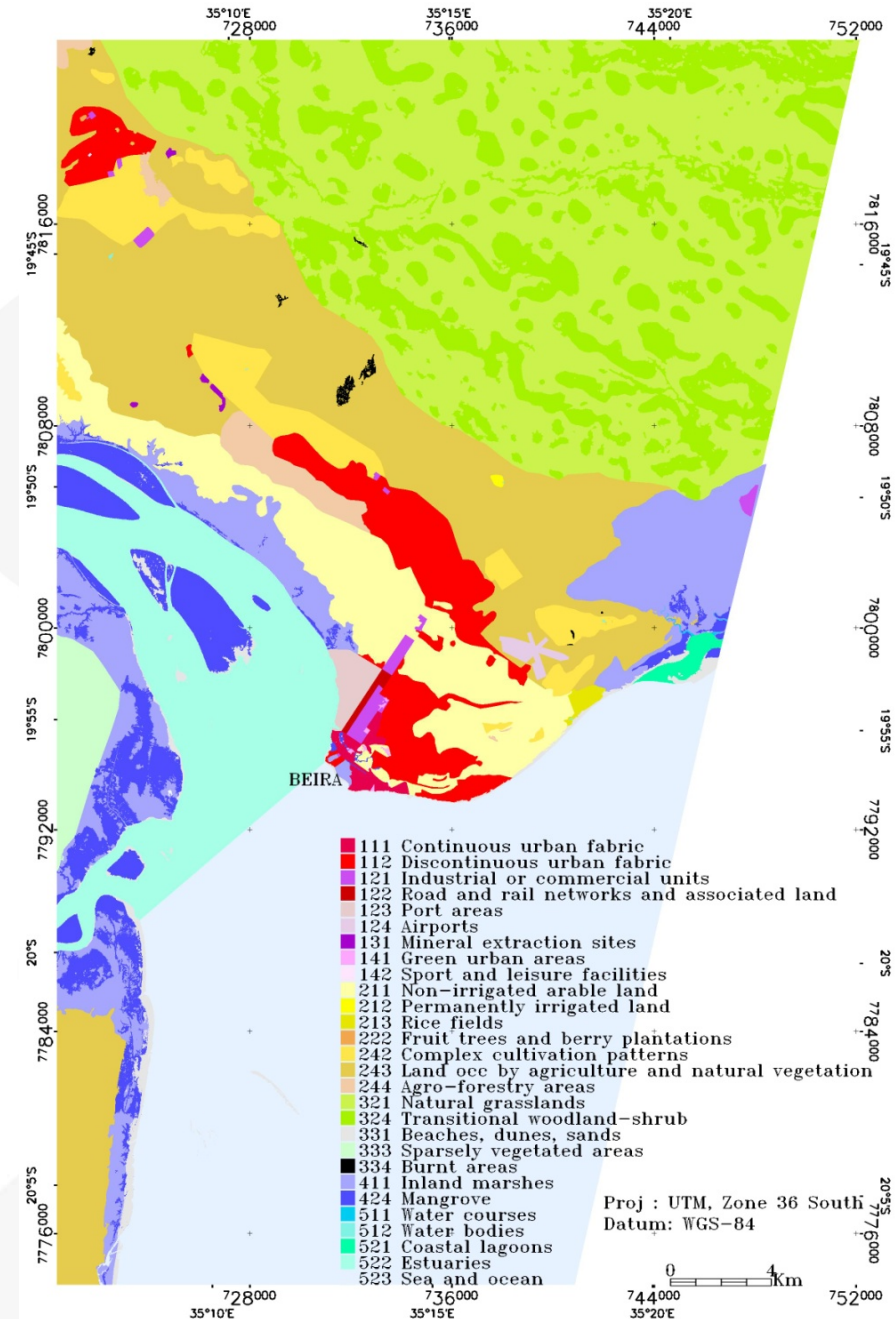
Efectuaram-se correcções atmosféricas no módulo FLAASH do ENVI (ITT, 2008), utilizou-se uma combinação de algoritmos para classificar as imagens, tendo em conta o conhecimento geológico e o Modelo Digital de Terreno, e com operadores de morfologia matemática fez-se um refinamento final. A validação baseou-se na interpretação visual, bem como na verificação de campo nas classes onde permaneciam dúvidas.

Classes adaptadas da nomenclatura Corine Land Cover

Mangal



Campos de arroz



Savana



Cidade da Beira



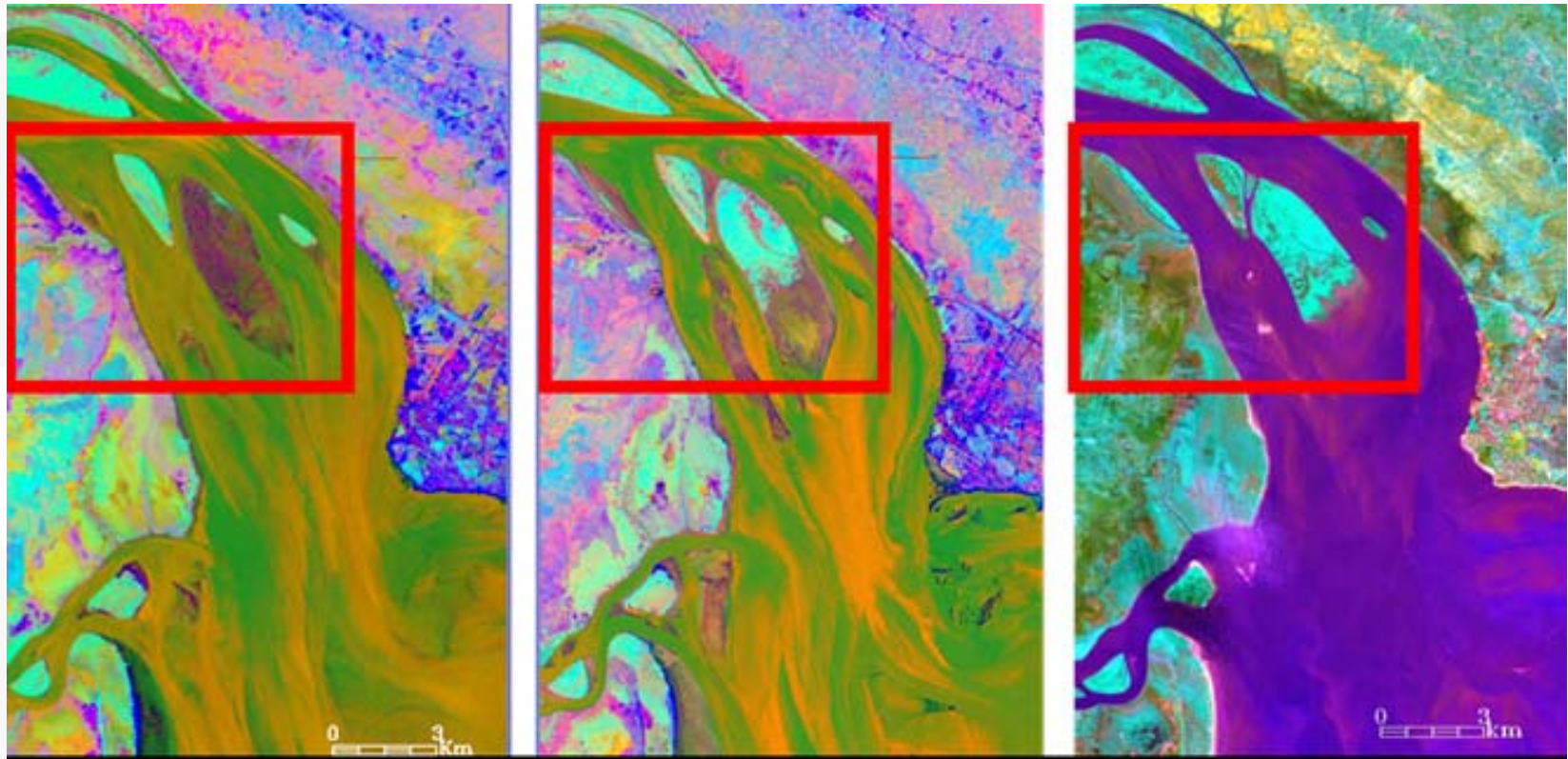
Ilhas barreira



Bairros periféricos



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.

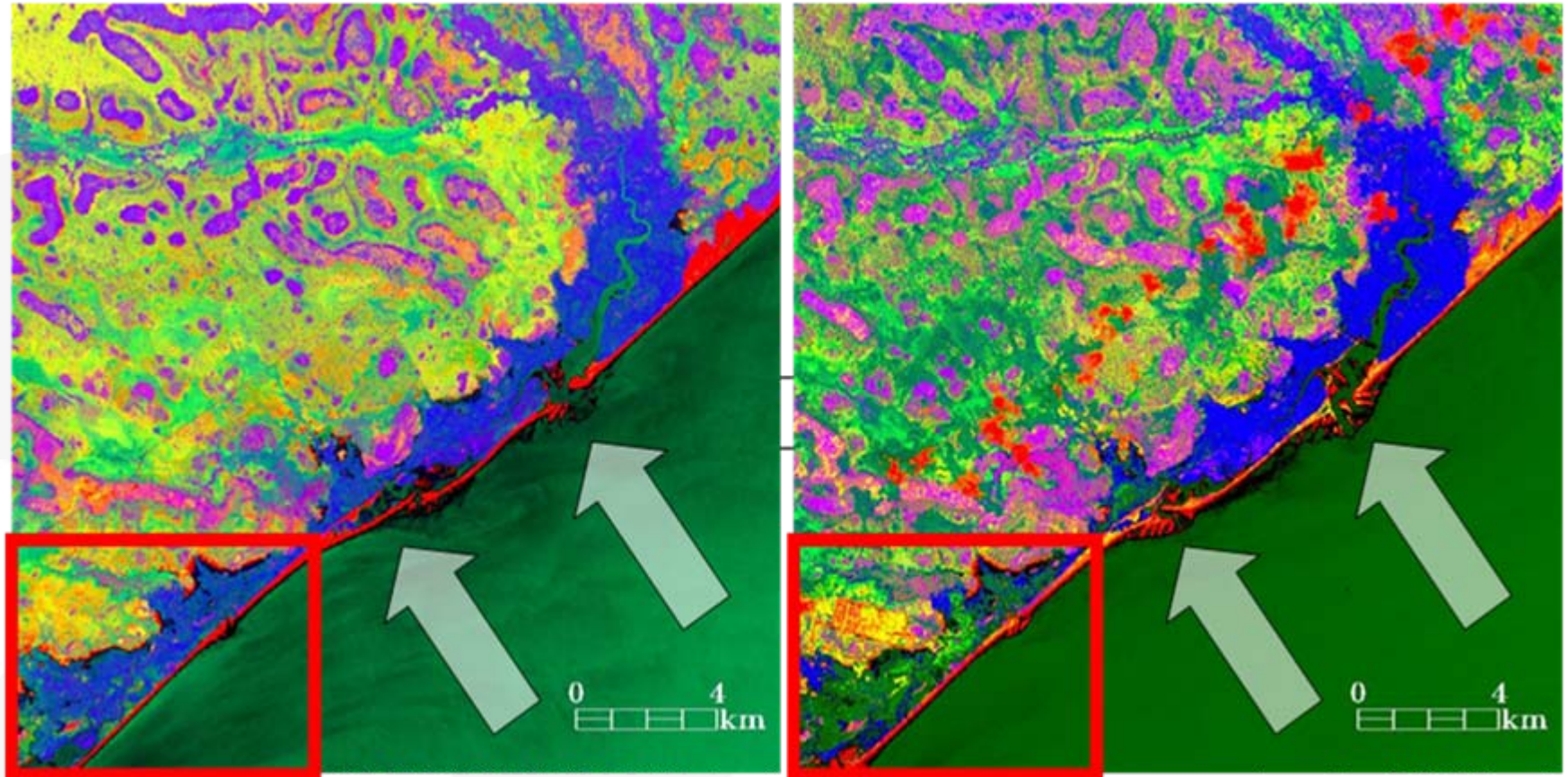


a) 1991

b) 2001

c) 2007

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) 1991

b) 2001

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).

A cidade da Beira é abastecida a partir de uma captação directa de água do rio Púnguè. As áreas suburbanas densamente povoadas e zonas rurais são abastecidas por águas subterrâneas através de poços superficiais e furos até 40 m de profundidade.



Poços equipados com bomba manual (“dingo”).

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 consequentemente a produtividade do aquífero. O caudal varia entre 0,7 a 1,6 m³/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.



Esgotos a correrem em valas a céu aberto no Bairro da Munhava.

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.

Foram seleccionados 11 poços para amostragem distribuídos pelos bairros periféricos da cidade da Beira, pelos subúrbios da cidade do Dondo, nas pequenas aldeias como Nhangau e Inhamízia e nas áreas rurais.

Referência Ponto	pH	Eh	OD	Cond.	K	Mg	Ca	Na	Cl	SO4	HCO3	Si
	-	mV	mg/L	µS/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-Inhamízia	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

Os solos, com um elevado conteúdo em matéria orgânica, 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. A fácies é do tipo cloretada sódica.



Concentrações de elementos vestigiais.

Referência Poço	Al	Mn	Fe	Zn	As	Cd	Ni	Co	I	Br	B
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/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-Inhamízia	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.

Nas águas ao longo do bordo N do rio Púnguè (1, 4 e 13), onde o bicarbonato prevalece e o pH é neutro (maior quantidade de material carbonatado na matriz do aquífero), as concentrações de iodo são elevadas.

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. Excepções para 2- Dondo e 29 – Nhacamba.



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_4) 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).

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.



A) Perfil de solo com horizontes definidos; B) Perfil de solo antrópico sem horizonte definido.

O Cr em elevadas concentrações verificou-se que resulta de uma assinatura natural, relacionada com a origem deltaica destes solos.

Os solos, 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.

As elevadas concentrações de Cr não se reflectem nas águas subterrâneas.

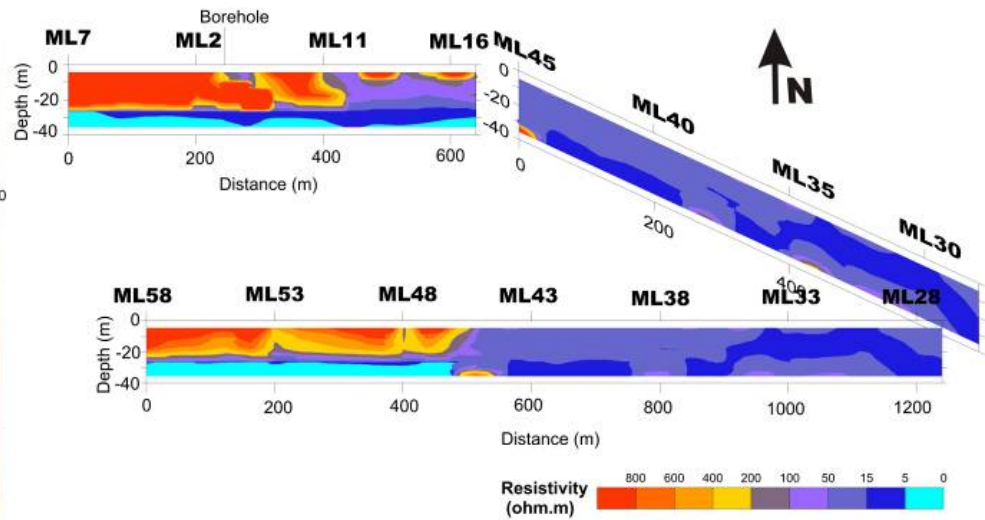
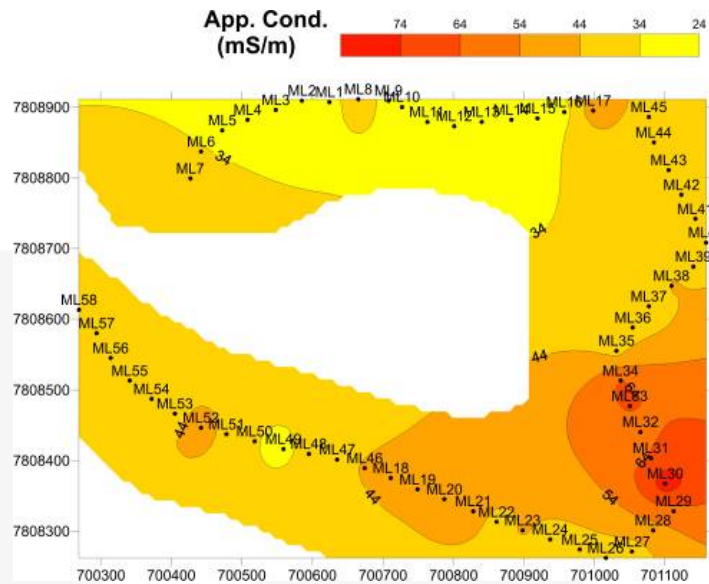
Os elementos de terras raras, o U e o Th, à semelhança do Cr, também têm origem nos complexos rochosos a montante na bacia do Rio Púnguè.

Parâmetros físico-químicos e concentrações da água salobra do poço 27-Manga – Mascarenhas.

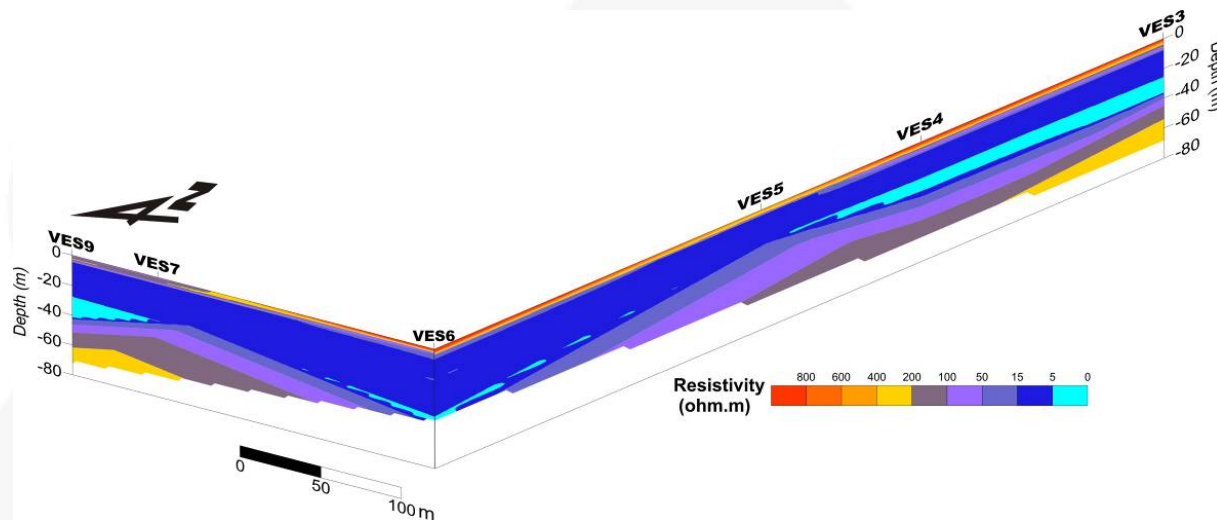
Referência Ponto	pH	Eh	OD	Cond.	TDS	K	Mg	Ca	Na	B	Sr	I	Br	Cl	SO4	HCO3
	-	mV	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
27-Manga-Mascarenhas	7,15	67,2	0,8	23730	11860	63	279	140	4560	6	2,4	11,5	81,6	6880	840	920



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.



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.



Pseudo-seções 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 sugerem a existência de água salobra por vezes salina 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.

Aparentam ter origem em antigos braços do delta do Rio Púnguè. Não aparentam ter origem em processos actuais de intrusão salina.

A zona húmida a leste do pólo suburbano de Manga tem sido, ao longo do tempo, uma zona de sedimentação mista marinha e fluvial. As planícies tidais terão existido naquela área antes do desenvolvimento das actuais ilhas barreira.

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, para que se desenvolva e compatibilize actividades essenciais na economia de Moçambique como o porto da Beira e o ecoturismo.

Obrigada pela atenção.

judite.fernandes@lneg.pt