



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeira

Monografia para a obtenção do grau de Licenciatura em Geologia Marinha

Título:

Avaliação da Interface Água Doce - Salgada e Permeabilidade do Aquífero Próximo ao Estuário dos Bons Sinais Através da Granulometria de Sedimentos

Autor:

Alberto Filipe Sibie



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeira

Monografia para a obtenção do grau de Licenciatura em Geologia Marinha

Título:

**Avaliação da Interface Água Doce - Salgada e Permeabilidade do
Aquífero Próximo ao Estuário dos Bons Sinais Através da
Granulometria de Sedimentos**

Autor:

Alberto Filipe Sibie

Supervisor:

MSc. Noca Bernardo Furaca

Quelimane, Novembro de 2017

Dedicatória

Este trabalho é dedicado a toda família sibiie especialmente aos meus pais Filipe Sibiie e Lúcia Mucavele (In Memória), que no meio das dificuldades adversas garantiram apoio incondicional dos meus estudos.

Agradecimentos:

Desejo aqui expressar a minha profunda gratidão e reconhecimento a todos aqueles que me auxiliaram na realização deste trabalho, pela sua disponibilidade, dedicação e compreensão, bem como àqueles que acompanharam e ajudaram na minha formação académica. Especialmente ao meu supervisor MSc. Noca Bernardo Furaca, pela enorme disponibilidade, paciência, fornecida e esforço empreendido para concretização deste trabalho.

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela vida e por ter me acompanhado nesta longa jornada. Aos meus irmãos André Sibie (in memory), Reinaldo Sibie, Tomás Sibie, Gloria Sibie, pelo apoio prestado em vários momentos da minha vida. À minha cunhada Ministéria Lucas Biza. Em fim agradeço a toda família, que mesmo distante, sempre esteve ao meu lado me incentivando e me apoiando .

A dra. Carlota Alves, Dr. Matsinhe, César Mubango pelo apoio efectuado pelos ensinamentos, apoio, incentivo, encorajamento prestado durante a formação académica.

À Dra. Valera Dias, Professor Dr. Fialho Nehama, pelas contribuições dadas nas fases iniciais de definição do projecto de pesquisa e a todos docentes da ESCMC.

Ao Dinís, pelo apoio técnico na abertura dos furos. Aos meus amigos, e companheiros Erasnes Honwane, Jordão Tsamba, Ernesto Tembe, Adriano Muhate, Zunchany Matola, Candido Timba, Felíz Sodasse, Oldim Vilanculos e Adolfo, pelas contribuições dadas e apoio incondicional nas saídas de campo e nas análises de dados. A todos colegas de Geologia Marinha, Paulo Nota, Balbina Sitoé, Ermenegildo, Edson Carlos, Mércia Chico, Samuel, Sérgio Caetano.

Aos companheiros Flávio, Macicame, Ricardo, Marlene, Levistónia aos quais tive o privilégio de conviver, aprender. Sem esquecer, dos amigos ausentes que se mostraram presentes em vários momentos desta minha jornada. Recebam todos vocês o meu Muito Obrigado.

Declaração de honra

Declaro, por minha honra, que este trabalho de licenciatura intitulado, Avaliação da interface água doce- salgada e permeabilidade do aquífero próximo ao estuário bons sinais através da granulometria de sedimentos, nunca foi apresentado na sua essência ou parte do mesmo para obtenção de qualquer grau acadêmico e que constitui resultados da minha investigação pessoal estando indicadas na bibliografia as fontes usadas da sua elaboração.

Alberto Filipe Sibie

Resumo

Em aquíferos a avaliação da interface água doce – assume um papel importante na gestão e uso sustentável das águas subterrâneas nas zonas costeiras, pois estabelece a profundidade a qual a água salgada interage com água doce. O monitoriamento dessa profundidade tem sido usado nos diagnósticos da intrusão salina. A transmissão da água salgada proveniente do estuário para aquífero é controlada pela permeabilidade do aquífero, que por sua vez depende da granulometria dos sedimentos que compõe o aquífero. O aquífero costeiro próximo ao estuário é dominado por sedimentos de areia fina, cuja permeabilidade é intermediária ou moderada. Apresenta ainda diferentes valores de permeabilidade vertical e horizontal, sendo classificado como aquífero anisotrópico. A posição da interface água doce – salgada deste aquífero apresenta variações significativas da profundidade de acordo com a variação maré, a profundidade máxima e mínima é 85 m e 9m registradas marés mortas e maré viva respectivamente. Há poucos metros do estuário a água subterrânea é salobra, caracterizada pela salinidade densidade que varia de $1007,64\text{kg/m}^3$ a $1007,64\text{kg/m}^3$. No ponto distante do estuário a água subterrânea é doce com densidade que varia de $997,01\text{kg/m}^3$ a $996,93\text{kg/m}^3$.

Lista de abreviaturas

Siglas	Designação	Unidade
B	Espessura total do aquífero;	Metro
Bi	Espessuras em cada camada do aquífero.	Metro
C	Condutibilidade eléctrica em ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Micrómetro/centímetro
d_{10}	Diâmetro da partícula em mm com percentil igual a 10	Milímetros
d_{17}	Diâmetro da partícula em mm com percentis Igual a 17	Milímetros
d60	Diâmetro da partícula em mm com percentil igual a 60	Milímetros
h_f	Elevação do nível freático em relação ao nível do mar;	Metros
h_s	Elevação do nível de água salgada (m)	Metros
ΔH	Carga hidráulica (m)	Metros
N	Porosidade	Adimensional
P	Densidades da água (kg/m^3)	Quilogramas por metros cúbicos
Ki	Condutibilidade hidráulica em cada camada (m/d)	Metros por dia
Kh	Condutibilidade hidráulica horizontal (m/d)	Metros por dia
Kv	Condutibilidade hidráulica vertical (m/d)	Metros por dia
L	Distância entre dois furos (m)	Metros
M_ϕ	Diâmetro médio (Φ)	Phi
Q	Descarga de água subterrânea para mar (m^3/d)	Metros cúbicos por dia
SGD	Descarga de água subterrânea submarina	Metros cúbicos por dia
U	Coeficiente de uniformidade	Adimensional
X	Distância do furo a linha da costa (m)	Metros
T	Temperatura da água em ($^\circ\text{C}$);	Graus celsius
Z	Profundidade da interface	Metros
σ	Desvio padrão	

List de figuras

Figura.1 : Fluxo natural de água doce em direcção ao mar

Figura2: Localização da área de estudo

Figura3: Distribuição percentual de sedimentos em profundidade por camada

Figura4 : condutibilidades hidráulica ou permeabilidade em profundidade por camada

Figura5:Relação entre a posição da interface água doce – salgada e variação da maré

Lista tabelas

Tabela 1: Valores típicos de permeabilidade em solos naturais

Tabela 2. Lista de materiais e instrumentos

Tabela3: Medidas de movimentos estatísticos

Tabela.4 salinidade e densidade

Índice

Conteúdos	Páginas
Capítulo I.....	1
1. Introdução e objectivos	1
1.1. Introdução	1
1.2. Problematização	3
1.3. Justificativa	3
1.4. Objectivos	3
1.4.1. Objectivo Geral.....	3
1.4.2. Objectivos Específico	3
Capítulo II	4
2. Revisão Bibliografia.....	4
2.1. Descrição dos aquíferos costeiros	4
2.2. Interface água doce – água salgada	4
2.3. Influência de Mares na posição da interface	5
2.4. Cunha salina nos aquíferos costeiros	5
2.6. Permeabilidade ou condutibilidade dos aquíferos	6
2.6.1. Diâmetro médio	7
2.6.2. Desvio padrão.....	7
2.7. Heterogeneidade do aquífero	8
2.8. Anisotropia.....	9
Capitulo III	10
3. Metodologia.....	10
3.1. Caracterização da área do estudo	10
3.2. Abertura de furos.....	12
3.3. Análises granulométricas	13
3.4. Determinação da Permeabilidade	13
3.5. Determinação da condutibilidade de vertical e horizontal	14
3.6. Determinação da posição de interface e altura de maré.....	14
4. Resultados e Discussão	15
4.1. Distribuição granulométrica dos sedimentos em profundidade	15
4.2. Condutibilidade hidráulica ou permeabilidade em profundidade.....	17

4.3. Relação entre a posição da interface e variação da altura de marés	18
5. Conclusão	20
6. Recomendações:	20
7. Referências Bibliográficas.....	21

CAPÍTULO I

1. Introdução e objectivos

1.1.Introdução

Aquífero é uma formação geológica com permeabilidade e porosidade interconectada a qual garante armazenamento e transmissão quantidades significativas de água, sob gradientes hidráulicos naturais (Cleary,2007). Situa-se próximo do mar, estuários ou lagos de água salgada (Ferreira, 2012). Constituem fontes importantes de abastecimento água doce em várias partes do mundo (Todd e Mays, 2005) e são vulneráveis à intrusão (Bear e Cheng, 2001), processo que restringe a utilização de águas subterrâneas dos aquíferos costeiros como fonte de água potável (Bear *et al.*,1999; Custódio, 2005).

O grau de intrusão de água salgada em aquífero costeiro depende de vários factores proximidade com o mar e permeabilidade dos sedimentos que compõem aquíferos. A permeabilidade ou simplesmente condutibilidade hidráulica controla a transmissão de água subterrânea, actualmente é determinada através das análises gránulométricas (Carlson, 2007). A mesma metodologia foi aplicada no presente trabalho. Sedimentos permeáveis favorecem a maior alcance da intrusão e os sedimentos impermeáveis atenuam a propagação da intrusão salina (Chairman e Bruggeman, 1987). Sendo diagnosticado através do monitoriamento da interface água doce - água salgada.

A zona de interface mistura é uma zona de equilíbrio dinâmico na qual a água se move no solo em função da diferença de densidades entre água doce e salgada, e dos níveis potenciométricos do aquífero. A densidade da água doce e da água salgada é de 1,000 g/cm³ e 1,025 g/cm³, respectivamente. A viscosidade da água salgada é maior do que a da água doce na ordem de 30%, à mesma temperatura. Como consequência ocorre uma estratificação, ficando a água doce sobre a água (Ferreira, 2012).

A avaliação da interface água doce – salgada é amplamente usado nos diagnósticos e monitoriamento da intrusão salina. No entanto a Compreensão dos mecanismos de interacção da água doce e água salgada em zonas costeiras, tem sido alvo de vários estudos hidrogeológicos e tornou-se uma questão chave para gestão água subterrânea dos aquíferos costeiros (Cooper,1964; Custódio, 2005). Kim *et.al* (2007) identificou interface de água doce – salgada usando dados de pressão de água doce e água salgada do mesmo furo.

A Descarga de águas subterrâneas submarino (SGD) é outro tema principal relacionado ao comportamento dos aquíferos costeiros. Reconhecido recentemente como vector de transporte da água

subterrânea de terra para o oceano (Moore, 1996). Afeta a qualidade de água do mar e o estado dos ecossistemas pelo transporte massivo de nutrientes e poluentes para o mar (Destouni e Prieto, 2010). Por outro lado garante a ocorrência dos ciclos biogeoquímicos e a sobrevivência de organismos pela entrada de nutrientes.

Os primeiros estudos sobre a relação água doce- água salgada, foram realizados por Ghyben e Herzberg no final do século XIX em aquíferos costeiros na Holanda e início do século XX, na Alemanha, dando origem ao princípio de Ghyben – Herzberg (Ferreira, 2012).

Em alguns bairros da cidade de Quelimane regista-se a captação de água subterrânea, sem considerar a interface água doce-salgada colocando o aquífero sob risco de intrusão salina. Daí surge a necessidade da avaliação da interface, de acordo com (Jones *et al.*, 1999) a determinação prévia da posição da interface enquadra-se no universo dos métodos de exploração sustentável dos aquíferos costeiros.

A interface varia, em resposta às flutuações de marés e precipitações, descarga de água subterrânea para o mar (Kim *et al.*, 2007). A permeabilidade e heterogeneidade do material que compõe a aquífera também influencia na posição da interface (Chairman e Bruggeman, 1987) e no padrão do fluxo de água doce e salgada. Razão pela qual no âmbito de avaliação da interface levou-se em consideração a permeabilidade e variação de marés e análise granulométrica.

O conhecimento da interface e a compreensão quantitativa dos padrões de movimento e mistura entre de água doce e água salgada, incluindo factores que influenciam nesses processos, são necessários para administração e gestão integrada das águas subterrâneas dos aquíferos.

1.2.Problematização

A crescente procura pela água potável e escasseis do mesmo é evidente, por outro lado o seu fornecimento parcial associado a redução de quantidade de água em bacias hidrográfica, fontes principais de captação de água é uma realidade notável, principalmente na época de estiagem em Moçambique, incluindo a cidade de Quelimane. Nesta cidade concretamente, nos bairros de Chuabo Dembe, Inhangome, Icidua, Sangariveira e Morropué regista se a captação desregrada de água subterrânea dos aquíferos costeiros. Não há observância da profundidade da interface água doce – água salgada.

1.3.Justificativa

Interesse no estudo deste tipo de aquífero surgiu pela sua importância estratégica para o abastecimento de água em zonas costeiras e sua susceptibilidade á intrusão. A identificação da zona de interacção água doce - salgada é extremamente importante pois estabelece o limite entre as duas massas de águas, ponto de referência para a exploração e avaliação de níveis de contaminação de águas subterrâneas por intrusão salina. A outra razão da necessidade do projecto é facto de a intrusão salina ocorrer mediante a deslocação da interface em direcção ao continente. Conhecendo esta zona no âmbito da captação de águas subterrâneas é possível por um lado controlar a intrusão salina no aquífero costeiro e por outro ter acesso á água doce.

1.4.Objectivos

1.4.1. Objectivo Geral

Conhecer comportamento da interface água doce - salgada do aquífero costeiro próximo ao estuário Bons sinais e a permeabilidade do mesmo.

1.4.2. Objectivos Específico

- Analisar a granulometria dos sedimentos que compõe o aquífero;
- Avaliar permeabilidade e heterogeneidade do aquífero
- Relacionar a variação da posição da interface com altura de marés

CAPÍTULO II

2. Revisão Bibliografia

2.1. Descrição dos aquíferos costeiros

Em aquíferos costeiros fluxos subterrâneos da água doce oriundo do continente, encontra o fluxo subterrâneo de água salgada que progride a partir do mar (Ferreira, 2012). As diferenças de densidade permitem que a água do mar, intrometer-se debaixo da água doce e forma uma interface de água doce da água – salgada (Kim *et.al*,2007). Essa interface pode ter uma posição ou zona de dispersão, dependendo da diferença de densidade entre a água doce e água salgada, geometria do aquífero, propriedades hidráulicas, taxa de descarga para o mar e os parâmetros de dispersão do aquífero (Sakr, 1999).

A principal diferença entre aquíferos costeiros e continentais reside no risco de deterioração da qualidade da água por efeito da intrusão salina. Induzido por processos naturais de mistura da água do mar com água subterrânea tais como marés, elevação do nível do mar (Bocanegra.*et.al*,2005; Bear.*et.al*,1999).

2.2. Interface água doce – água salgada

A posição da interface da água subterrânea doce-salgada é uma função do volume da descarga de água doce no aquífero. Qualquer acção ou processo que altera o volume de descarga da água doce resulta na alteração da posição da interface ou no desequilíbrio do sistema. Esse desequilíbrio Favorece penetração da água salgada para o interior do continente, em reposta a interface água doce- salgada avança em direcção ao continente (Fetter, 2001).

Um dos processos que favorece para condição de desequilíbrio é a super exploração acima da capacidade do armazenamento do aquífero (Fetter, 2001). Responsável pela redução do gradiente hidráulico em direcção ao mar. As pequenas oscilações da interface são influenciadas pela variação de marés sazonais e anuais que alteram a quantidade da descarga de água doce. A alteração natural da posição de equilíbrio, pode ser causada pelas mudanças nos padrões climáticos de longo prazo, variação da permeabilidade dos sistemas aquíferos em função da heterogeneidade litológica, diferença de densidade, precipitação (Van Dam,1999; Kim *et al.*, 2007).

2.3. Influência de Mares na posição da interface

As flutuações de maré são fenômenos de extrema importância hidrogeológica em ambientes costeiros. Criam oscilações no nível de água nos aquíferos e contribuem na formação de cunhas salinas ao longo da interface água doce - água salgada. Resultando na destabilização do sistema do equilíbrio característico desses ambientes (Custodio e Llamas, 1983). Durante a preia-mar, a interface desloca-se em direção ao continente, acontecendo o inverso durante a baixa-mar (Barlow, 2003).

2.4. Cunha salina nos aquíferos costeiros

Intrusão salina é entrada de água do mar em sistema aquífero (Jones *et.al*,1999). Nos aquíferos costeiros, sob condições naturais, sem exploração existe um equilíbrio com um gradiente hidráulico do continente em direção ao mar, descarregando para o mar água doce em quantidade considerável. No entanto a redução do regime do fluxo regional da água doce em direção ao mar resulta em intrusão de água salgada e deslocamento da interface em direção ao continente (Cruz, 2006; Essaid, 1999). As águas do mar e do aquífero hidraulicamente conectadas com o oceano infiltram-se pelo subsolo e caminham em direção ao continente (Cruz,2006).

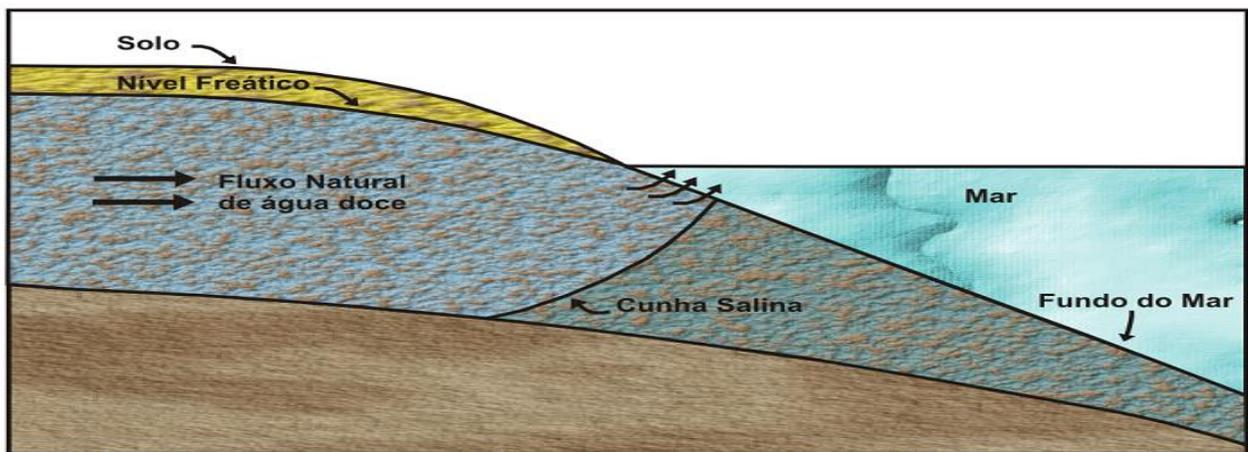


Figura.1. Fluxo natural de água doce em direção ao mar (Cruz, Alexandre 2006).

2.5.Mecanismos de salinização dos Aquíferos costeiros

Os mecanismos de salinização dos aquíferos costeiros são vários dentre elas desta a dissolução de rochas evaporíticas pela água subterrânea; concentração de sais em águas provenientes: da evaporação e evapotranspiração, marés de tempestades nas zonas costeiras de baixa altitude e em águas estuarinas, da actividade humana como as descargas de resíduos de superfície e o avanço da cunha salina por excessiva exploração da água subterrânea (Todd & Mays, 2005; Custodio,2005). Bem como a redução ou a reversão dos gradientes de água subterrânea, que permite que a água salina mais densa desloque em direcção a terra dentro (Todd & Mays,1980).

2.6.Permeabilidade ou condutibilidade dos aquíferos

Permeabilidade é um parâmetro intrínseco de qualquer material que quantifica a capacidade potencial de um fluido entrar e movimentar se nos espaços vazios do material varia em função do tipo do material poroso, sua granulometria e sua disposição estrutural (Zimmerman e Gudmundur, 1996). A permeabilidade, geralmente aumenta à medida que o tamanho do grão aumenta. E em profundidade a permeabilidade diminuí devido aos processos de compactação e cimentação que ocorrem durante a deposição progressiva (Maliva,2016).

Entretanto susceptibilidade dos sedimentos á processos que resultam na redução de permeabilidade e porosidade depende da sua composição. Sedimentos ricos em argilominerais, facilmente perdem a permeabilidade após a deposição, e os sedimentos associados ao quartzo são resistentes á compactação e geralmente perdem porosidade efective através de cimentação (Maliva,2016). A influência da granulometria na permeabilidade pode ser avaliada através da análise de parâmetros estatísticos, dos quais destaca que se o diâmetro médio e desvio padrão.

2.6.1. Diâmetro médio

O diâmetro médio das partículas de sedimentos é função da fonte de suprimento, do processo de deposição e da taxa de energia imposta ao sedimento que depende da intensidade da corrente ou turbulência do meio (SUGUIO, 1973). Quanto maior o tamanho médio dos grãos do solo, maior a permeabilidade porque os vazios são maiores (Zimmerman & Gudmundur, 1996).

$$M_{\phi} = \frac{\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84}{3}$$

M_{ϕ} - Diâmetro médio; $\Phi 16$ – Percentil 16;
 $\Phi 50$ – Percentil 50; $\Phi 84$ – Percentil 84

Tabela 1: Valores típicos de permeabilidade em solos naturais (Detmer,1995)

Tipo de solo	Condutibilidade hidráulica (m/s)	Classificação
Pedregulho uniforme	2×10^{-3} a 1×10^{-2}	Alta
Pedregulho bem graduado	5×10^{-4} a 3×10^{-3}	Moderada a alta
Areia Uniforme	5×10^{-5} a 2×10^{-3}	Moderada a alta
Areia bem Graduada	1×10^{-5} a 1×10^{-3}	Baixa moderada
Areia siltosa	1×10^{-5} a 5×10^{-5}	Baixa
Areia argilosa	1×10^{-6} a 1×10^{-5}	Baixa a muito baixa
Silte	5×10^{-7} a 1×10^{-6}	Muito baixa
Argila	1×10^{-10} a 1×10^{-7}	Muito baixa, quase impermeável

2.6.2. Desvio padrão

É uma medida do nível de uniformidade no depósito associada à predominância ou não de um dado tamanho, produzido pela acção de correntes durante o transporte e deposição das partículas (Leeder,1982).Quanto maior for o desvio padrão do diâmetro das partículas, menor permeabilidade.

O aumento do desvio padrão indica maior variabilidade dos tamanhos dos grãos, com os grãos pequenos ocupando os espaços vazios entre os grãos grandes (Zimmerman & Gudmundur, 1996).

$$\sigma = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} - \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$$

Onde: σ – Desvio padrão; Φ_{84} – Percentil 84; Φ_{16} – Percentil 16; Φ_5 – Percentil 5. Φ_{95} – Percentil 95

Folk e Ward (1957) classificaram o grau de selecção de acordo com os valores do desvio padrão na escala qualitativa nos seguintes intervalos:

$\sigma < 0,35$ Muito bem seleccionado;

$0,35 < \sigma < 0,50$ Bem seleccionado;

$0,50 < \sigma < 1,00$ Moderadamente seleccionado;

$1,00 < \sigma < 2,00$ Mal seleccionado;

$2,00 < \sigma < 4,00$ Muito mal seleccionado;

$\sigma > 4,00$ Extremamente mal seleccionado

2.7.Heterogeneidade do aquífero

A heterogeneidade do aquífero refere-se a variação espacial na hidráulica, transporte e propriedades geoquímica dentro de um sistema aquífero. A anisotropia refere-se à condição em que as propriedades variam com direcção. Todos os aquíferos são heterogéneos e o grau de heterogeneidade varia com a escala (Haldorsen 1986) citado por Maliva (2016). A heterogeneidade do aquífero pode ser causada por variações na composição e textura do sedimento, como tamanho de grão, selecção, ambiente de posicional ou fácies, processo geológico estrutural (Maliva,2016).

Costa heterogénea apresenta uma variável penetração da cunha de água do mar. A penetração pode ser negligenciável em fundos, formações de baixa permeabilidade e é mais notável em formações permeáveis ou com descontinuidades. Em aquíferos estratificados, a presença da presença de camada superior de elevada permeabilidade favorece a presença de água salgada nos perfis do aquífero quando a camada superior é de baixa permeabilidade favorece um corpo de água doce mais espesso.

2.8. Anisotropia

Um aquífero é considerado anisotrópico quando a condutibilidades hidráulicas é diferente para cada uma das direcções dos eixos coordenados (vertical e horizontal). Condutividade hidráulica horizontal é controlada em grande medida pelos leitos mais condutores, enquanto a condutividade hidráulica vertical efectiva é amplamente controlada pela condutividade hidráulica vertical dos leitos menos condutores (Maliva,2016).

Os aquíferos anisotrópicos são caracterizados pela sua magnitude e direcção da transmissividade. Quanto há diferença direccional nas condutibilidades hidráulica a água movimenta-se da direcção com menor resistência ou de maior condutibilidade. Desviando-se da do gradiente hidráulico predominante, estabelecendo desde modo a direcção do fluxo predominante (Webb e Anderson, 1996).

A anisotropia para além de estabelecer o padrão de fluxo influencia na dinâmica da posição de interface. Quando os componentes do fluxo vertical ascendente são reduzidos, a carga de água doce sobre a interface aumenta. Perante uma baixa permeabilidade vertical a interface torna se mais profunda e encurta a cunha de água salgada e uma maior permeabilidade vertical reduz a espessura de água doce sobre a interface e estende-se a cunha de água salgada em direcção a terra dentro (Wicks e Herman, 1995).

CAPITULO III

3. Metodologia

3.1.Caracterização da área do estudo

O aquífero costeiro em destaque localiza na Cidade de Quelimane província da Zambézia concretamente no bairro Chuabo Dembe é hidraulicamente ligado ao Estuário dos Bons Sinais, sendo influenciado pelas suas condições hidrodinâmicas do Estuário.

A Cidade de Quelimane apresenta um clima tropical chuvoso da savana com fracas amplitudes térmicas e um grau de humidade elevado. Possui uma das mais longas estações húmidas, com um valor médio anual de precipitação de 1395mm, é das cidades moçambicanas mais chuvosas. A chuva que cai no período húmido, de Novembro a Abril, constitui 87% da precipitação anual (Da Silva,2013)

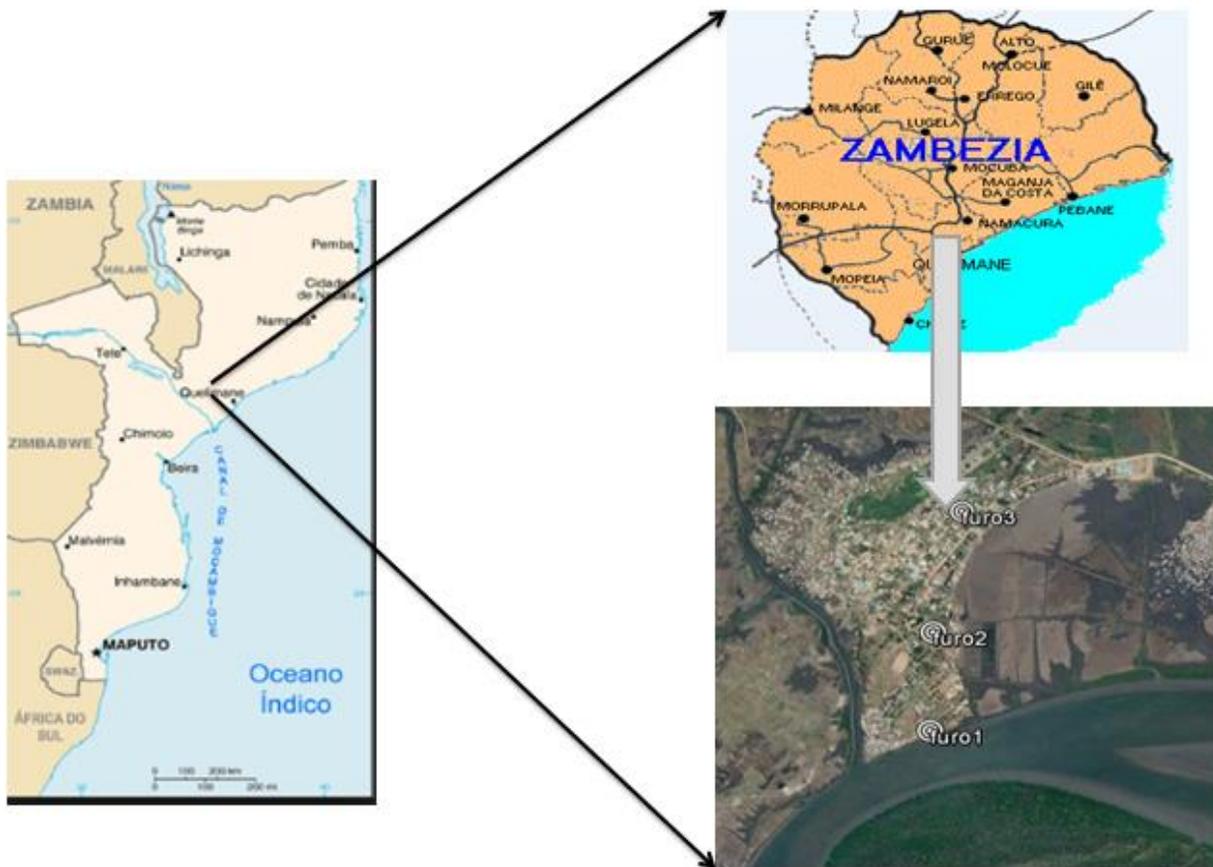


Figura2 : Localização da área de estudo

Tabela 2. Lista de materiais e instrumentos

Programas	Instrumentos	Equipamento
Excel	CTD 2	Peneiras granulométricas 1
HigrogeosievXL2-2	Marégrafo 3	Tubos de PVC com filtro – 5
Google Earth	Sensor de pressão 4	
	Brocas de recolha	



Imagem1: Instrumentos e material usado

Descrição dos programas usados

- Usou se Arcmap e Google Earth no mapeamento da área de estudo;
- O pacote Microsoft excel foi usado no processamento dos dados do nível de água dos poços;
- HigrogeosievXL2-2, usou se este programa na determinação da condutibilidade hidráulica (permeabilidade).

Descrição dos instrumentos

- CTD - foi usado nas medições da pressão de água dos furos, condutibilidade eléctrica, e temperatura;
- Marégrafo – usou se na medição da altura de marés;

- Teodolito- foi usado no levantamento topográfico;
- Broca de perfuração- na abertura dos furos.

Descrição do equipamento

- Peneiras granulométricas-usadas na determinação do diâmetro das partículas;
- Tubos PVC usados no revestimento do dos poços;
- Roldana – foi usada para ancorar a broca de perfuração nas extremidades de duas estacas;

3.2.Abertura de furos

O furo de captação será realizado pela aplicação do método à percussão por intermédio de uma broca de perfuração. O instrumento foi ancorado em roldana fixada no meio entre duas extremidades de torres na qual a roldana é accionada ou por intermédio de corda, dando inicio ao movimento de vai e vem da broca, perfuração. Durante a perfuração, sedimentos ficam retidos no instrumento. As mostras dos sedimentos foram removidos em cada intervalo da perfuração serão, guardados em sacos plásticos para posteriores análises granulométricas.



Imagem2:Abertura de furos de pesquisa. A- fixação de postes e roldana; B – Montagem da broca;

C- broca fixada nas extremidades dos postes para o início da perfuração; D- Início da perfuração; E- retirada da amostra e F- manuseamento e conservação das amostras.

3.3. Análises granulométricas

Para as análises granulométrica enviou se as amostras para faculdade de agronomia da Universidade Eduardo Mondlane em Maputo. Tendo sido usados técnica de crivagem e pipetagem para sedimentos arenosos e argilosos e nomeadamente. Após a realização das análises, os dados foram processados nos programas HigrogeosievXL2-2 para a obtenção da condutibilidade hidráulica em cada camada e Sysgrain 3 para a determinação de parâmetros estatísticos (desvio padrão e diâmetro médio). A determinação dos parâmetros estáticos nos programas Sysgrain foi baseada na equação de Folk e ward (1957) integrado no programa.

3.4. Determinação da Permeabilidade

Para a avaliação de permeabilidade fez se análise granulometria em cada espessura da camada dos sedimentos retirada do subsolo durante a abertura dos furos de pesquisa, convista a determinação do diâmetro das partículas e quantidade dos mesmos (massa percentual). Em seguida transferiu se os dados do diâmetro das partículas e respectivas massas percentuais param o programa HigrogeosievXL2-2. Na qual determinou se condutibilidade hidráulica baseando se na expressão matemática de Sauerbrei (Vukovic & Soro, 1992):

$$K_i = 3.49 \left(\frac{n^3}{(1-n)^2} \right) d_{17}^2 \quad [1]$$

A porosidade (n) da expressão 1 é determinada pela seguinte expressão

$$n = 0.255 (1 + 0.83^u) \quad [1.1]$$

E o coeficiente de uniformidade patente na expressão 1.1 é calculado pela seguinte expressão

$$u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad [1.2]$$

Onde:

K_i- Condutibilidade hidráulica em cada camada; n - porosidade; d_{17} , d_{60} , d_{10} – Diâmetro da partícula em mm de percentil 17, 60 e 10 nomeadamente; U- coeficiente de uniformidade.

3.5.Determinação da condutibilidade de vertical e horizontal

A determinação da condutibilidade hidráulica vertical e horizontal baseou se na permeabilidade determinada na expressão 1 e na dimensão da espessura de cada camada (profundidade na qual a amostra foi extraída. Usou – se a seguinte expressão:

$$K_v = \frac{B}{\sum \frac{b_i}{k_i}} \quad \text{e} \quad k_h = \frac{\sum k_i \cdot b_i}{B} \quad [1.3] \quad \text{Onde:}$$

K_v e k_h condutibilidade hidráulica vertical e horizontal respectivamente; B - espessuras total do aquífero; b_i – espessuras em cada camada do aquífero; K_i - condutibilidade hidráulica em cada espessura;

3.6.Determinação da posição de interface e altura de maré

Para a concretização deste objectivo mediu se a variação do nível da maré morta e maré viva com marégrafo ancorado no estuário bons sinais durante duas semanas correspondentes a uma semana de análise para cada fase da maré. No mesmo período mediu se também a variação da profundidade do nível freático, condutibilidade eléctrica, temperatura da água, pressão água dos furos por intermédio do CTD instalado nos furos de água doce e água salgada.

Usou se dados da temperatura e condutibilidade eléctrica na determinação da densidade de água doce e salgada para furo contendo água doce e salgada. Mediante a aplicação da expressão Stuyfzand (1989):

$$\rho = 100 \times (1 + 0,805 \times TDS - 6.510^{-6} (T - 4 + 220 \times TDS)^2) \quad [2]$$

$$TDS \text{ (Kg/Kg)} = 0,69778 \times 10^{-6} \times C \text{ (}\mu\text{S/cm)} \quad [2.1]$$

Onde: ρ – Densidade da água (kg/m^3); TDS- Total de sólidos dissolvidos em água
T- temperatura da água em ($^{\circ}\text{C}$); C- condutibilidade eléctricas em ($\mu\text{S/cm}$)

Após a determinação da densidade da água doce e salgada e variação do nível de água nos furos. Usou se a expressão abaixo para a determinação da interface água doce salgada.

$$Z = \frac{\rho_f h_f - \rho_s h_s}{\rho_s - \rho_f} \quad [3] \text{ Onde:}$$

Z – profundidade da interface; h_f - Elevação do nível freático em relação ao nível do mar; ρ_f - Densidade da água doce. ρ_s – Densidade da água salgada; h_s - Elevação do nível de água salgada.

Capítulo IV

4. Resultados e Discussão

4.1. Distribuição granulométrica dos sedimentos em profundidade

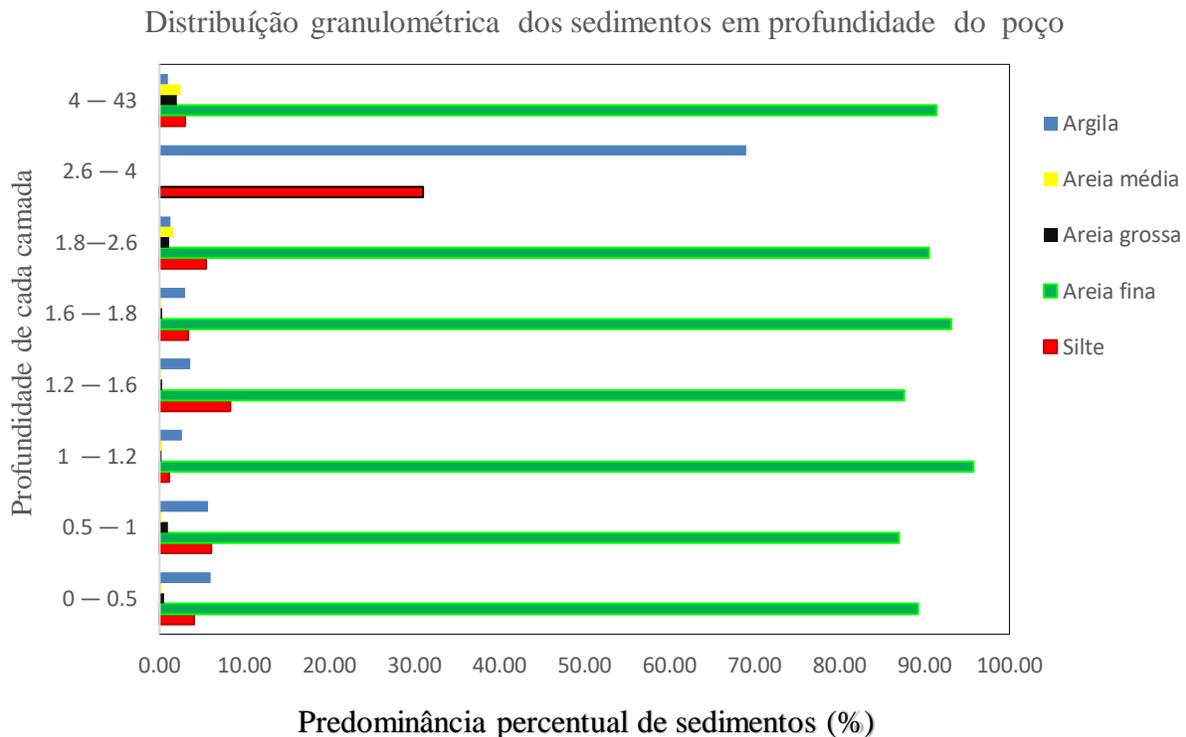


Figura3: Distribuição percentual de sedimentos em profundidade por camada

A figura ilustra distribuição percentual dos sedimentos em profundidade do furo 1. Todas camadas apresentam maior percentagem de areia fina com exceção da camada 7 que é exclusivamente

dominada por argila e silte. Esta camada é extremamente mal seleccionada pois de acordo com a classificação do grau de selecção dos sedimentos proposto por Folk (1957).As restantes camadas são moderadamente bem seleccionadas de com o critério de classificação do mesmo autor.

Areia grossa apresenta percentagem mais baixa em todas camadas, seguida de areia média. A percentagem máxima de areia fina é de 95,74% camada 3 e mínima é de 87,03 registada na camada 2. Os sedimentos finos que contem argila provavelmente são de origem marinha. Boggs et al., (1992) a associa a presença desses com sedimentos com processos marinhos.

Tabela3: Medidas de movimentos estatísticos

Camada	Diâmetro médio	Desvio médio
I	3.437	0.9443
II	3.488	1.059
III	3.493	0.3221
IV	3.493	0.7721
V	3.477	0.7629
VI	3.471	0.6286
VII	8.6	2.744
VIII	3.496	0.5221

4.2. Condutibilidade hidráulica ou permeabilidade em profundidade

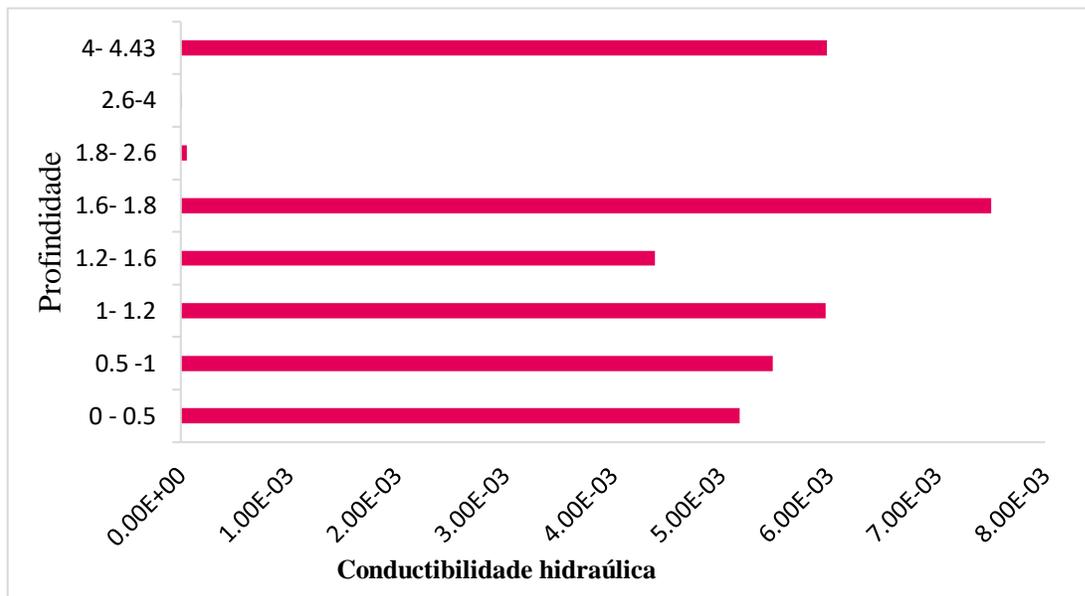


Figura4 :condutibilidade hidráulica ou permeabilidade em profundidade por camada

A figura ilustra a avaliação da condutibilidade hidráulica ou permeabilidade no furo 2 em profundidade. A condutibilidade máxima é de $7,5 \times 10^{-3}$ registada na camada 5 numa profundidade compreendida de entre 1.6 -1.8m correspondente a 0.2m de espessura e a mínima é de $1,54 \times 10^{-6}$ registada na camada na 7 numa profundidade compreendida entre 2,6 – 4m correspondente a 1.4m de espessura. A baixa permeabilidade da camada 7 pode estar relacionado com presença de silte e argilas, classificados como sedimentos impermeáveis.

A elevada permeabilidade na camada 5 não está associado á elevados valores do diâmetro médio pois a camada 8 é a que possui elevado valor do diâmetro médio. Entretanto esperava se que esta camada tivesse elevada permeabilidade em relação às outras camadas. Porque maior for diâmetro médio maior é a permeabilidade. Esta afirmação é fundamentada por (Zimmerman & Gudmundur, 1996)

A camada 8 está á uma profunda elevada em relação á camada 5. Este facto, provavelmente é a que contribuí na baixa permeabilidade da camada 8 em relação a camada 5. Visto que maior sofre maior pressão e a por sua vez compactação é elevada. Maliva (2016) associa a baixa permeabilidade das camadas profunda com os processos cimentação e compactação que ocorrem durante a deposição progressiva.

A condutibilidade hidráulica vertical é de 4.65×10^{-8} e horizontal é de 2.7×10^{-5} m/s, contudo é evidente que há diferença entre a condutibilidade a permeabilidade hidráulica na vertical e horizontal. De acordo com (Maliva,2016), aquíferos com diferentes valores de condutibilidade hidráulica vertical e horizontal são designados aquíferos anisotrópico. Entretanto este aquífero é dominada por areia fina bem seleccionada e de acordo com a classificação de Detmer (1995) aquífero apresenta permeabilidade moderada.

4.3.Relação entre a posição da interface e variação da altura de marés

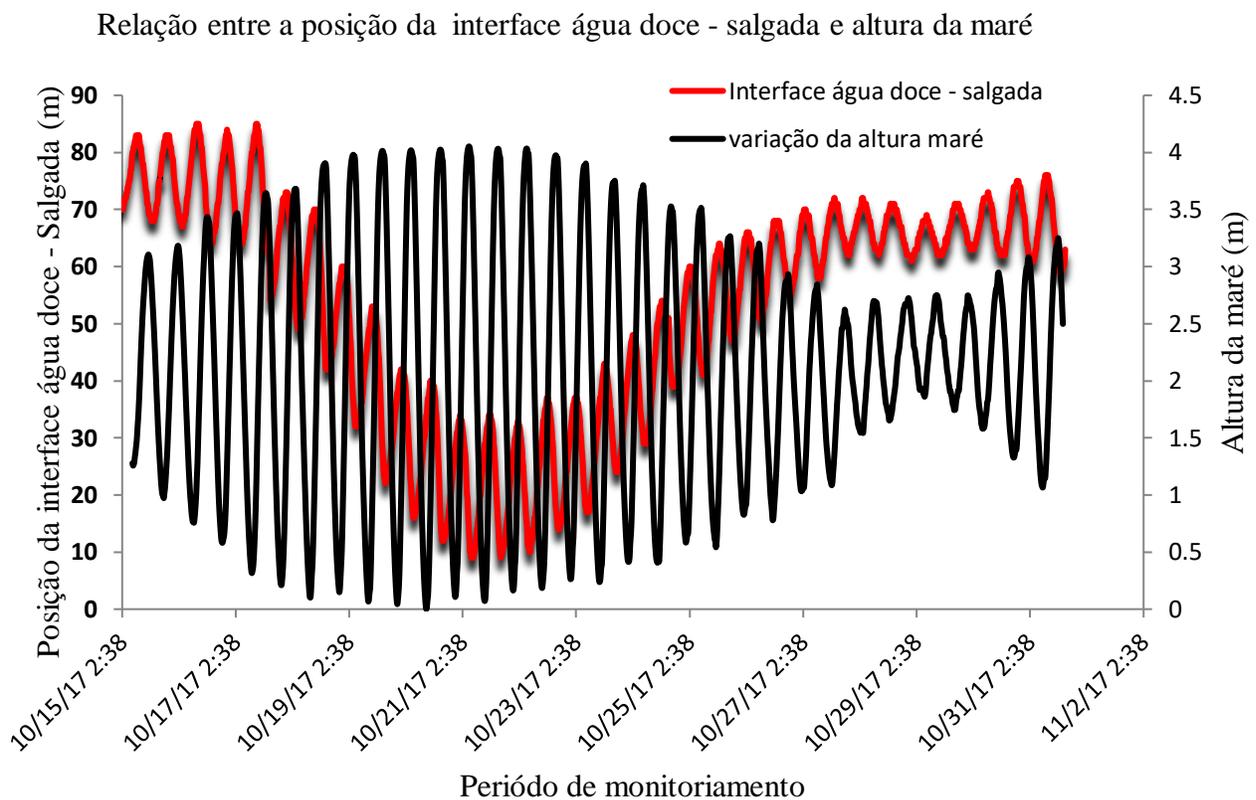


Figura5:Relação entre a posição da interface água doce – salgada e variação da maré

A figura ilustra a variação da posição da interface água doce- salgada. A profundidade máxima é de 85 m registada às 11h: 45min do dia do dia 17 de Outubro horas do dia e a profundidade mínima a são de 9m registadas no dia às 07:15 do dia 21 de Outubro. As profundidade máximas foram registadas nas

prea – mares tanto da maré viva e assim como da maré morta e as profundidades máximas foram registadas na baixas mares das mesmas fases da maré.

Entretanto durante a ocorrência da maré viva a profundidade da interface é baixa e na maré morta é elevada. Isto ocorre em resposta á elevação do nível da água salgada que movimenta em direcção, criando gradiente de densidade da água nos aquíferos responsável pela ascensão da água doce baixando deste modo a profundidade da interface água doce – água salga durante prea- mares da maré viva.

E na mare morta a profundidade da interface eleva se devido a redução do gradiente de densidade em respostas diminuição dos níveis de água no estuário e a água subterrânea desloca se movimentas em direcção ao estuário. Resultado similar foi encontrado no estudo de Barlow (2003) de acordo com autor durante a preia-mar, a interface desloca-se em direcção ao continente, acontecendo o inverso durante a baixa-mar.

No furo localizado na zona próxima ao estuário, água possui a densidade média igual $1007,79\text{kg/m}^3$, máxima é de $1008,082\text{kg/m}^3$ e mínima é de $1007,64$. E furo distante do estuário possuiu densidade máxima e mínima igual a $997,08\text{kg/m}^3$ e $996,93\text{kg/m}^3$.

5. Conclusão

A profundidade máxima de interface água doce – água salgada é atingida na maré morta e a mínima é registada na maré viva; A profundidade máxima dos poços não deve ultrapassar 10m.

O aquífero costeiro próximo ao estuário bons sinais é dominado por sedimentos de areia fina; O aquífero é anisotrópico e a sua permeabilidade do aquífero é moderada;

A água do furo, concebido na zona próxima do Estuário bons sinais é salgada e a do furo distante do Estuário é doce. Portanto a captação de água salgada não esta associado á intrusão salina, deve se abertura dos poços na zona de difusão ou de mistura;

6. Recomendações:

Para estudos subsequentes há necessidade da avaliação do fluxo de descarga subterrânea;

Avaliação da composição litológica dos sedimentos

Determinação do alcance máximo da intrusão salina.

7. Referências Bibliográficas

- Bear A.H. et.al (1999). Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Concepts Methods and Practices. Springer Netherlands, 1th edition.631 pp
- Bear, J e Cheng, A.H.D., (2001). Modeling Ground water flow and contaminant transport. Springer, vol 23. 850 pp.
- Barlow, P.(2003). Groundwater in freshwater-saltwater environments of the Atlantic coast. U. S. Geological Survey, Preston, Virginia.
- Carlson, D (2007). Estimate of Vertical Anisotropy of Hydraulic Conductivity for Northern Louisiana Aquifers from Grain-Size Data;
- Cleary, R. W. (2007). Águas Subterrâneas. Princeton Groundwater, Brasil.117pp
- Cruz, A. (2006) . Estudo de Processos de Salinização de Aquíferos no Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro:
- Cooper, H., Francis,J,r.,Kout, Harold.R. (1964) Sea Water in Coastal Aquifers: Geological Survey Water Supply Paper.90 pp
- Custodio, E. (2005) Coastal aquifers as important natural hydrogeological Capitulp3 In: Bocanegra, E.et.al. Groundwater and Human Development: IAH Selected Papers on Hydrogeology. Taylor & Francis, vol 6. Pp.15-36;
- Chairman, C., Bruggeman, G.A.(1987) Salt - Fresh Water Interrelationships Under Natural Condition in, Capítulo 3 in: Groundwater problems in coastal areas. UNESCO, PP 15-89.
- Da Silva, C.D.M., (2013). Arquitetura Moderna na África Lusófona. Dissertação de Mestrado
- Detmer, D.M., (1995). Permeability, porosity, and Grain-size Distribution of Selected Pliocene and Quaternary Sediments in the Albuquerque Basin, Central New Mexico. Master Thesis. New Mexico Institute of Earth and Environmental science Socorro, New Mexico.
- Essaid, H. I. (1999). USGS sharp model – chapter 8. In: Bear et.al. Seawater intrusion in coastal aquifers: concepts, methods and practices. Springer Netherlands, 1th edition, 213-230 pp.

Ferreira, Frederico (2012) Avaliação dos Impactos das Alterações Climáticas nos Aquíferos costeiros do conselho de Almada. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa;

Fetter, C.W (2001) Applied Hydrogeology. Edition Prentice Hal, 4 edição. 615 pp

Jones, B.F *et al.*, (1999). Geochemical Investigations Chapter 3 in: Bear J. *et al.* Sea water intrusion in coastal aquifers: concepts, methods and practices. Springer Netherlands, 1th edition. pp. 51-69

Kim *et al.* (2007) A Simple Method for Locating the Fresh Water–Salt Water Interface Using Pressure Data”. Groundwater 45, no. 6: 723–728.

LEEDER, M.R., (1982). Sedimentology: Process and Product. London, George Allen & Unwin, 344p.

Maliva, R.G. (2016) Aquifer Characterization Techniques. Schlumberger Methods in Water Resources Evaluation Series 4. Springer Hydrogeology, USA. pp 11-100

Moore, W.S (1996). Large groundwater inputs to coastal waters revealed by ^{226}Ra enrichments. Nature 380 (18):612–614

Sakr, S.A. (1999) Validity of a Sharp-Interface Model in a Confined Coastal Aquifer Hydrogeology Journal 7, no. 2: 155–160.

SUGUIO, K. (1973) Introdução à Sedimentologia. São Paulo, Editora Edgard Blucher, USP, 317p.

Taniguchi M, Burnett WC, Cable JE, Turner JV (2002) Investigation of submarine groundwater discharge. Hydro Process 16:2115–2129

Todd, D. & Mays, L.W. (2005) Groundwater Hydrology. 3 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 636 p.

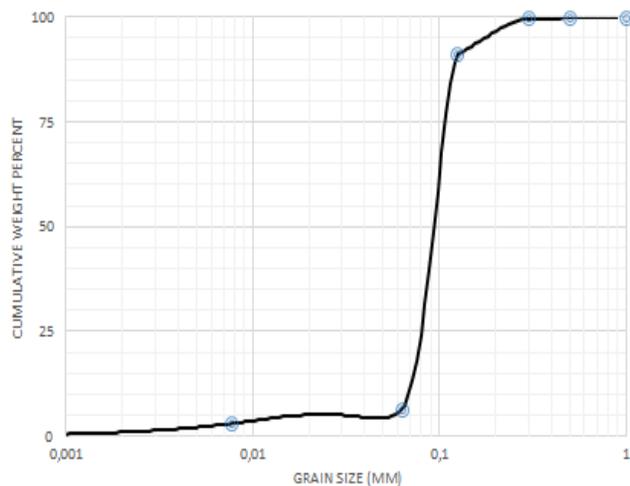
Vukovic, M., Soro, A., (1992). Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size distribution: Water Resources Publications, LLC Highlands Ranch, Colorado.

Zimmerman, R. e Gudmundur, B. (1996) Transport in Porous Medio.

8. Anéxos:

8.1.Principio do funcionamento do programa HigrogeosievXL2-2

Reset		Start		Show Gr. Sz	
		Show K			
Mass Sample (g):				T (°C)	
20				26	
Sieve opening d_i (φ)	Sieve opening (ps) d_i (mm)	Mass of retained (mr) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)	
0	1	0,026	0,0013	99,87	
-0,99921	0,5	0,03	0,0015	99,72	
-1,73559	0,3	0,038	0,0019	99,53	
-2,99763	0,125	1,732	0,0866	90,87	
-3,98535	0,063	16,894	0,8447	6,4	
-6,99677	0,0078	0,68	0,034	3	
-13,0144	0,00012	0,6	0,03	0	



É programa que faz leitura dos dados de conductibilidade hidráulica no microsoft excell. Os dados de entrada deste programa para a determinação de conductibilidade hidráulica São: diametro das particulas e a sua percentagem correspondentemente. Após a intrudação dos dados pressiona-se “start” Em seguida programa tira muitos relacionados com a classição dos sedimentos resultados incluindo curva da distribuição granulométrica.

Tabela.4 salinidade e dencidade

	Água doce		Água salgada	
	Densidade	Salinidade	Salinidade	Densidades
Máxima	997,08kg/m ³	0,26	13.11	1008,082
Mínima	996,93	0,25	12.81	1007,64
Media	997,01	0,25	12.99	1007,79

Estimation of Hydraulic Conductivity		cm/s	m/s	m/d
	Hazen	,847E-02	,847E-04	7,314
	Hazen K (cm/s) = d_{10}^2 (mm ²)	,431E-02	,431E-04	3,723
✓	Advanced Slichter	,347E-02	,347E-04	2,996
✓	Advanced Terzaghi	,613E-02	,613E-04	5,294
✓	Beyer	,644E-02	,644E-04	5,560
	Sauerbrei	,750E-02	,750E-04	6,483
	Kruger	,225E-02	,225E-04	1,942
	Advanced Kozeny-Carmen	,140E-03	,140E-05	0,121
	Advanced Zunker	,228E-03	,228E-05	0,197
	Zamarin	,140E-02	,140E-04	1,212
	USBR	,134E-02	,134E-04	1,154
✓	Advanced Barr	,572E-02	,572E-04	4,943
✓	Alyamani and Sen	,524E-02	,524E-04	4,531
	Chapuis	,904E-02	,904E-04	7,807
✓	Krumbein and Monk	,265E-02	,265E-04	2.291

Uniform sand with fines

Effective Grain Diameters (mm)		Other Useful Parameters		
d10	0,066	Uniformity Coef.	1,56	0,445711
d17	0,071	n computed	0,445711	
d20	0,073	g (cm/s ²)	980,00	
d50	0,095	ρ (g/cm ³)	0,9968	
d60	0,102	μ (g/cm s)	0,0085	
d _{geometric mean}	0,080	ρg/μ (1/cm s)	1,1461E+05	
de (Kruger)	0,056	tau (Sauerbrei)	1,209	
de (Kozeny)	0,007	d5 _φ	-4,634	
de (Zunker)	0,014	d16 _φ	-3,836	
de (Zamarin)	0,037	d50 _φ	-3,393	
Io (Alyamani)	0,058	d84 _φ	-3,059	
		d95 _φ	-2,262	
		σ _φ	0,553	
	mm		% in sample	
	>64	Boulder		
	16 - 64	coarse gravel		
	8 - 16	medium gravel		
	2 - 8	fine gravel		
	0,5 - 2	coarse sand	0,280	
	0,25 - 0,5	medium sand	0,190	
	0,063 - 0,25	fine sand	93,130	
	0,016 - 0,063	coarse silt		
	0,008 - 0,016	medium silt		
	0,002 - 0,008	fine silt	3,4	
	<0,002	clay	3	