



**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**Projecto Científico**

Licenciatura em Geologia Aplicada

**MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE AQUÍFEROS DO  
ARQUIPÉLAGO DE BAZARUTO**

**Autor:**

➤ Nélcio Clésio Miguel

**Maputo, Abril 2024**



**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**Projecto Científico**

Licenciatura em Geologia Aplicada

**MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE AQUÍFEROS DO  
ARQUIPÉLAGO DE BAZARUTO**

**Autor:**

➤ Nélio Clésio Miguel

**Supervisor:**

Prof. Doutor Farisse João Chirindja

---

Deptº Geologia - Faculdade de Ciências

Universidade Eduardo Mondlane

Caixa postal, 257. Maputo – MOÇAMBIQUE

**Maputo, Abril de 2024**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer a Deus pelo dom da vida, pela força e por ter permitido o término deste glorioso capítulo na área académica. Igualmente agradecer a toda família pelo calor familiar que nunca faltou, a minha Mãe Luísa Almirante Bata, meu Pai Fernando Miguel, meus irmãos, Klércio Jorge Miguel, Telson Mercílio Miguel, Aurísia Klévia Miguel, minha avó Felismina, meus sobrinhos, meus primos, e meus tios.

Muito grato por todo suporte que me proveu Professor Doutor Farisse João Chirindja, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Aos professores Sumburane, Guidion e Micaela, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Aos meus amigos, Mário Manuel Massango, Marcos Fernando Bila, Shelton António Uamusse, Teófilo Almeida de Magalhães Miguel, Yussufo Aboubakar, Lázaro Mavaieie, Carmona Mulungo, Carcénia Carlos Nhacale, Edsan Nhoela, Olga Parruque, Jenifa Imaculada, Kelven Maluleque, Clayton Manhique, Isarena Langa, Cremilda Ferrão, Euclides Chaúque por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus estudantes da minha carreira como Monitor, Adriana Barca, Nareia Cambaza, Natércia, Valdo Pondeca, Kelven Simango, Albino Nobre Rodrigues, e todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado

Aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

***O HUMILHADO FOI EXALTADO!***

## DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Nélio Clésio Miguel, declaro por minha honra que o presente Projecto Científico é da minha autoria e nunca foi apresentado em nenhuma instituição para culminação do curso.

Maputo, Abril de 2024

---

(Nélio Clésio Miguel)

## Resumo

O desenvolvimento da Bacia do Sul do Save resulta da deriva continental e dispersão do Super continente Gondwana, em conjunto com a abertura dos Oceanos Índico e Atlântico Sul. Esta fase é contemporânea do desenvolvimento do Sistema do Rifte Este-Africano, que se iniciou no Cretácico e foi acelerado durante o Terciário.

O desmembramento continental continua até aos nossos dias, como é provado pela actividade tectónica. O Arquipélago de Bazaruto (constituído por 5 ilhas) resulta deste processo geológico e que influencia o seu sistema hidrogeológico. O conhecimento do sistema geológico das ilhas é importante para o a gestão deste único recurso para o consumo da população e das actividades turísticas bem como para a conservação da flora e fauna local.

O resultado do estudo geofísico e do estudo da qualidade da água levou a identificação de dois sistemas de aquíferos. O aquífero que ocorre no Norte é caracterizado por uma espessura menor que 15 metros, alto valor da condutividade eléctrica variado de 90,6 a  $99,5 \times 10^3 \mu\text{s/m}$  e possivelmente alto teores de Fe e o aquífero do Sul é mais espesso, maior que 15 metros com baixos valores da condutividade eléctrica variado de 218 a  $246 \mu\text{s/m}$ . Há conformidade nos resultados de interpretação com base nos dados geofísicos nomeadamente a susceptibilidade magnética com valores variado de 0.01 a 0.74 SI units e resistividade eléctrica com  $3.7 \times 10^{-1}$  a  $2.4 \times 10^{-2}$  ohm.m e com base nos dados da condutividade eléctrica, e níveis de água subterrânea medido em diversos furos de captação de água. Com estes resultados, um modelo hidrogeológico conceptual foi produzido indicando a variação espacial dos dois sistemas de aquíferos bem como as suas características hidrogeológicas.

**Palavras chaves:** geofísica, ilha, hidrogeologia, qualidade de água, Modelo Hidrogeológico Conceptual, conservação.

## Índice

|   |     |
|---|-----|
| AGRADECIMENTOS.....   | II  |
| DECLARAÇÃO DE HONRA.....  | III |
| CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....                                   | 1   |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 1   |
| 1.1. Contexto.....  | 1   |
| 1.2. Descrição do problema .....                                  | 3   |
| 1.3. OBJECTIVOS .....   | 3   |
| 1.3.1. Objectivo geral .....                                      | 3   |
| 1.3.2. Objectivos específicos .....                               | 3   |
| CAPÍTULO II: METODOLOGIA APLICADA NO ESTUDO .....                 | 3   |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA .....                                    | 4   |
| 2.1. Ciclo hidrológico .....                                      | 4   |
| 2.2. Balanço Hídrico .....  | 6   |
| 2.3. A água no subsolo terrestre .....                            | 6   |
| 2.4. Aquífero .....   | 7   |
| 2.5. Recarga e descarga dos aquíferos .....                       | 8   |
| 2.5.1. Recarga.....   | 8   |
| 2.5.2. Descarga.....  | 9   |
| 2.6. Zonas do solo e distribuição da água em subsolo .....        | 10  |
| 2.7. Hidroquímica .....   | 11  |
| 2.9. Parâmetros Hidrogeológicos.....                              | 12  |
| 2.9.1. Porosidade (n) e porosidade efectiva ( $n_e$ ).....        | 12  |
| 2.9.2. Armazenamento específico ( $S_s$ ) .....                   | 12  |
| 2.9.3. Coeficiente de armazenamento (S) .....                     | 13  |
| 2.9.4. Permeabilidade intrínseca (k) .....                        | 13  |
| 2.9.5. Condutividade hidráulica .....                             | 13  |
| 2.9.6. Condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ).....       | 14  |
| 2.9.7. Transmissividade (T) .....                                 | 14  |
| 2.10. Geofísica .....   | 14  |
| 2.10.1. Susceptibilidade Magnética Medição da Condutividade ..... | 14  |

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 2.11. Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) .....                     | 15                                   |
| <b>3. MÉTODOS DE CAMPO UTILIZADOS EM ESTUDOS.....</b>                  | <b>17</b>                            |
| 3.1. Furos de Sondagem .....   | 17                                   |
| 3.2. Ensaio de Infiltração .....                                       | 18                                   |
| 3.3. Qualidade de água.....  | 19                                   |
| 3.3.1. Condutividade Elétrica (CE) .....                               | 19                                   |
| <b>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>                       | <b>20</b>                            |
| 4.1. Enquadramento geográfico .....                                    | 20                                   |
| 4.2. Enquadramento fisiogeográfica.....                                | 21                                   |
| 4.3. Enquadramento topográfico.....                                    | 22                                   |
| 4.4. Enquadramento geológico e pedológico.....                         | 23                                   |
| 4.5. Hidrogeologia .....   | 25                                   |
| <b>CAPÍTULO III: RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO DE DADOS OBTIDOS .....</b> | <b>26</b>                            |
| 5.1. HIDROGEOLÓGIA.....  | 26                                   |
| 5.2. HIDROESTRATIGRAFIA .....  | 27                                   |
| 5.3. HIDROQUÍMICA.....   | 31                                   |
| 5.4. GEOFISICA.....  | 35                                   |
| 5.5. PARÂMETROS HIDROGEOLOGICOS.....                                   | 37                                   |
| <b>CAPÍTULO IV: INTERPRETAÇÃO E OS MODELOS RESULTANTES .....</b>       | <b>38</b>                            |
| <b>CAPÍTULO V: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS .....</b>              | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| <b>CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>                   | <b>42</b>                            |
| <br>   |                                      |
| <b>BIBLIOGRAFIA .....</b>  | <b>49</b>                            |
| <br>   |                                      |
| <b>Apêndice.....</b>   | <b>55</b>                            |
| <br>   |                                      |
| <b>Anexos.....</b>   | <b>56</b>                            |

**Lista de Figuras**

**Figura 1:** Ciclo Hidrológico..... 5

**Figura 2:** Esquema do ciclo Hidrológico, mostrando o movimento da água líquida em diferentes condições ..... 6

**Figura 3:** Perfil de um aquífero ..... 7

**Figura 4:** Unidades hidrogeológicas e Classificação dos aquíferos ..... 8

**Figura 5:** Recarga e Descarga dos aquíferos ..... 10

**Figura 6:** Zonas da água no perfil do solo..... 11

**Figura 7:** Trado Manual ..... 17

**Figura 8:** Esquema do metodo dos anéis concêntricos para ensaios de infiltração. I- secção cravada no solo,  $h_0$  – distância do nível d’ água inicial à superfície do terreno,  $h_f$  – distância do nível d’ água final à superfície do terreno e  $Q$  – volume da água inserida..... 19

**Figura 9:** Mapa geográfico do Arquipélago de Bazaruto..... 20

**Figura 10:** Enquadramento fisiogeográfico da Ilha Grande de Bazaruto, referência do Arquipélago de Bazaruto..... 21

**Figura 11:** Enquadramento topográfico da Ilha Grande de Bazaruto, referência do Arquipélago ..... 22

**Figura 12:** Enquadramento geológico do Arquipélago de Bazaruto ..... 24

**Figura 13:** Enquadramento hidrogeológico do Arquipélago de Bazaruto ..... 24

**Figura 14:** Descrição hidroestratigráfica do aquífero de Norte..... 28

**Figura 15:** Descrição hidroestratigráfica do Aquífero do Sul ..... 29

**Figura 16:** Distribuição espacial dos dois sistemas de aquíferos ..... 31

**Figura 17:** Distribuição espacial dos dados da condutividade eléctrica adquiridas nos dois sistemas de aquíferos no Arquipelago ..... 31

**Figura 18:** Gráfico da dispersão de dados de condutividade ..... 34

**Figura 19:** Mapa da zona de separação dos aquíferos..... 35

**Figura 20 e 21:** Gráficos de dispersão de dados de susceptibilidade magnética e condutividade eléctrica..... 36

**Figura 22:** Mapa de perfis dos dois sistemas de aquíferos na Ilha Grande de Bazaruto..... 38

**Figura 23:** Perfil geológico N-N' do sistema de aquífero do Norte na Ilha Grande de Bazaruto. .... 39

**Figura 24:** Perfil geológico S-S' do sistema de aquífero do Sul na Ilha Grande de Bazaruto..... 40

**Figura 25:** Mapa de perfil da continuação do sistema de aquífero do Sul na Ilha de Benguerra..... 40

**Figura 26:** Perfil geológico S-S1 do sistema de aquífero do Sul na Ilha de Benguerra. .... 41

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 27:</b> Mapa de perfil da continuação do sistema de aquífero do Sul na Ilha de Magaruque .....   | 41 |
| <b>Figura 28:</b> Perfil geológico S-S2 do sistema de aquífero do Sul na Ilha de Magaruque .....   | 42 |
| <b>Figura 29:</b> Modelo Hidrogeológico conceptual da Ilha Grande de Bazaruto .....  | 42 |
| <b>Figura 30:</b> Modelo Hidrogeológico conceptual da Ilha de Benguerra.....   | 42 |
| <b>Figura 31:</b> Modelo Hidrogeológico conceptual da Ilha de Magaruque .....  | 42 |
| <b>Figura 32:</b> Infiltração acumulada (cm) no PIB-01 (Ponto da Ilha do Bazaruto-01) .....  | 60 |
| <b>Figura 33:</b> Velocidade de infiltração da água no solo (cm/min) no PIB-01 (Ponto da Ilha do Bazaruto-01. Fonte: dados de pesquisa. ....   | 60 |
| <b>Figura 35:</b> Infiltração acumulada (cm) no PIB-02 (Ponto da Ilha do Bazaruto-02). Fonte: dados de pesquisa .....  | 61 |
| <b>Figura 36:</b> Velocidade de infiltração da água no solo (cm/min) no PIB-02 (Ponto da Ilha do Bazaruto-02). Fonte: dados de pesquisa.....   | 61 |
| <b>Figura 37:</b> Método de anéis concêntricos. ....   | 63 |
| <b>Figura 38:</b> A. Sensor de nível; B. Trado manual; .....   | 63 |
| <b>Figura 39:</b> Método gráfico para determinação dos coeficientes a e k, onde plota-se os dados I (infiltração) e T (tempo) e traça-se uma recta de melhor ajuste dos pontos.....                              | 65 |
| <b>Figura 40:</b> Determinação dos coeficientes a (declividade) e k (constante do solo), usaremos a seguinte abordagem. ....   | 65 |
| <b>Figura 41:</b> Método gráfico para determinação dos coeficientes a e k, onde plota-se os dados I (infiltração) e T (tempo) e traça-se uma recta de melhor ajuste dos pontos, sem favorecer nenhum ponto. .... | 67 |
| <b>Figura 42:</b> Determinação dos coeficientes a (declividade) e k (constante do solo), usaremos a seguinte abordagem. ....   | 67 |
| <b>Figura 43:</b> Método gráfico para determinação dos coeficientes a e k, onde plota-se os dados I (infiltração) e T (tempo) e traça-se uma recta de melhor ajuste dos pontos.....                              | 69 |
| <b>Figura 44:</b> Determinação dos coeficientes a (declividade) e k (constante do solo), usaremos a mesma abordagem que nos pontos anteriores.....   | 69 |
| <b>Figura 45:</b> Fotos dos pontos de amostragem .....   | 71 |
| <b>Figura 46:</b> Tubo de PVC. ....  | 71 |

**Lista de tabelas**

**Tabela 01: Descrição hidroestratigráfica dos Aquíferos do Arquipélago de Bazaruto ..... 30**

**Tabela 02: Dados da condutividade eléctrica adquiridas pelo condutivímetro no campo ..... 32**

**Tabela 03: Os valores de susceptibilidade magnética (K) e condutividade ( $\sigma$ ). ..... 36**

**Tabela 04: Parâmetros Hidrogeológicos dos dois sistemas de aquíferos. .... 37**

**Tabela 05: Informação dos pontos de amostragem e sua localização ..... 54**

**Tabela 06: Dados dos piezômetros..... 54**

**Tabela 07: Determinação da infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração (VI) pelo método do infiltrômetro de anel no PIB-01 (Ponto da Ilha do Bazaruto-01)..... 55**

**Tabela 08: De acordo com Bernardo et al. (2006). ..... 56**

**Tabela 09: Determinação da infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração (VI)..... 57**

**Tabela 10: De acordo com Bernardo et al. (2006) ..... 58**

**Tabela 11: Determinação da infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração (VI)..... 59**

**Tabela 12: De acordo com Bernardo et al. (2006) ..... 60**

**Tabela 13: Dados retirados no campo pelo método infiltrômetro de anel para determinação da taxa de infiltração daquele solo no PIB-01 ..... 64**

**Tabela 14: Dados retirados no campo pelo método infiltrômetro de anel para determinação da taxa de infiltração daquele solo no PIB-02..... 66**

**Tabela 15: Dados retirados no campo pelo método infiltrômetro de anel para determinação da taxa de infiltração daquele solo no PIB-2A ..... 68**

**Lista de abreviaturas**

**MHC**-Modelo Hidrogeológico Conceptual

**VIB**-Velocidade de Infiltração Básica

**I**-Infiltração

**Fe**-Ferro

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. Contexto

O Arquipélago de Bazaruto, constituído pelas ilhas Bazaruto, Benguerra, Magaruque, Santa Carolina e Bangué, encontra-se numa situação de pressão dos recursos hídricos devido ao seu uso pela população local, turismo e animais ( é um parque de conservação). A fonte de água para 67% da população provem de poços subterrâneos enquanto 33% dependem das zonas húmidas ou águas superficiais e a presença de minerais na água das lagoas impede que esta seja potável, servindo apenas para lavar roupa (MCCA, 2012).

O estudo sobre a hidrogeologia das Ilhas de Bazaruto, Benguerra e Magaruque, em geral, poderá marcar políticas manejo integrado de recursos hídricos, e fundamentos para a gestão conjunta da água, além de simplificar as informações de campo (do Arquipélago do Bazaruto), para permitir a implementação do Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) e conciliar a representação da realidade hidrogeológica, da forma mais fiel possível, com certas simplificações que facilitem a aplicação do modelo numérico (Feitosa, Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008).

Nos últimos anos, as investigações conduzidas para a modelação de aquíferos, vem evoluindo, pois, o uso de modelos qualitativos (exemplo, conceptuais) e modelos quantitativos (exemplo, numéricos a analíticos), permitem uma melhor aproximação da realidade e construção de uma base fundamental para construção ferramentas de gestão de aquífero. Sendo MHC o ponto de partida de qualquer modelo numérico, sua construção deve ser cuidadosa, para se evitar interpretações subjectivas, porque o MHC sempre se encontra limitado pela informação adquirida.

Este estudo constitui uma das investigações adicionais realizadas no Arquipélago de Bazaruto, visando adquirir conhecimento e compreensão dos processos ocorridos em seus aquíferos. Os resultados esperados nesse projecto, são muito atrativos pois serão de uma grande importância para gestão dos recursos hídricos e na garantia de uma melhor qualidade de vida para os habitantes.

Everett, et al (2008) através de um estudo sobre a capacidade de armazenamento da água na região, concluiu que os aquíferos tinham uma baixa capacidade de armazenamento de água devido ao tamanho reduzido das dunas e das Ilhas. A limitação deste estudo é a ausência de análise abrangente dos potenciais

impactos de fontes de contaminação adicionais além da habitação humana, o que poderia fornecer uma compreensão dos riscos para a qualidade da água subterrânea nas dunas.

Por outro lado, é importante ressaltar o estudo realizado por Golder (2014) cujo o objectivo era estudar o fluxo de águas subterrâneas na área de Inhassoro e regiões adjacentes, com foco na relação entre a topografia e o rio Guro. Os resultados mostraram que o fluxo de águas subterrâneas é amplamente influenciado pela topografia, e é de maior altitude para áreas de menor altitude. Além disso, foi observado que áreas com níveis profundos criam uma divisória localizada entre dunas e o rio Guro. Durante a estação chuvosa, o aumento do fluxo no rio Guro recarrega o sistema de águas subterrâneas, enquanto durante as condições de baixo fluxo na estação seca, as águas subterrâneas alimentam o sistema fluvial, demonstrando uma interacção íntima entre os sistemas de superfície e subterrâneo. Este estudo contribui para uma melhor compreensão da dinâmica das águas subterrâneas na região e fornece informações valiosas para gestão de recursos hídricos locais. A limitação deste estudo reside na sua dependência de dados geográficos e hidrogeológicos específicos da área de Inhassoro e regiões circunvizinhas. A generalização dos resultados para outras áreas pode ser dificultada devido às variações nas características topográficas e hidrogeológicas.

Todos os estudos realizados até o momento têm contribuído significativamente para o avanço do conhecimento relação à construção de um modelo hidrogeológico conceptual da área associada aos aquíferos do Arquipélago de Bazaruto. Os aquíferos deste Arquipélago representam sistemas de alta complexidade, onde a elaboração de um modelo conceptual adequado demanda a consideração dos processos específicos afectados por intervenções no subsolo, como extracção de águas subterrâneas através da construção de furos.

Esse estudo busca superar as limitações dos estudos anteriores de Everett et al (2008) e Golder (2014) na caracterização hidrogeológica dos aquíferos do Arquipélago de Bazaruto. Por meio de uma abordagem integrada que combina os dados geológicos, hidrogeológicos e geofísicos, desenvolveu-se um modelo hidrogeológico conceptual abrangente e preciso. Recorrendo a utilização de técnicas de modelagem hidrogeológica e análise de dados geoespaciais, o modelo oferece uma compreensão mais completa dos processos hidrogeológicos subjacentes aos aquíferos, proporcionando informações valiosas para a gestão sustentável dos recursos hídricos na região. Este avanço representa uma contribuição significativa para uma o conhecimento da hidrogeologia local e ressalta a importância de abordagens para o estudo. Adicionalmente, se propõe um esquema conceptual de alta resolução, em que se considera um conjunto

de soluções para o estudo do comportamento da água subterrânea. É importante ressaltar que o estudo tem como objectivo elaborar um MHC que irá facilitar na construção do modelo numérico.

## **1.2. Descrição do problema**

O Arquipélago de Bazaruto apresenta pouca informação sobre a hidrodinâmica, bem como as unidades hidrogeológicas local, os limites do sistema hidrogeológico, entradas ou saídas, os sistemas de aquíferos e o ciclo hidrológico local. A elaboração de um modelo conceptual pode aclarar ideais e sentido a tomar na gestão deste recurso.

## **1.3. OBJECTIVOS**

### **1.3.1. Objectivo geral**

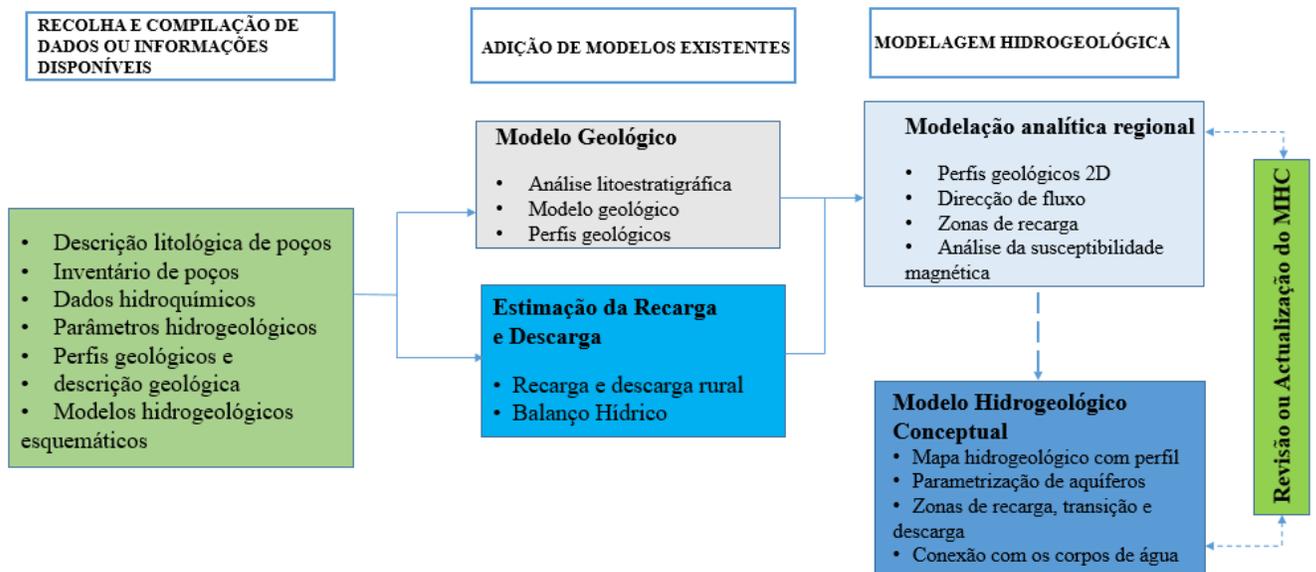
- Produzir um modelo conceptual hidrogeológico dos aquíferos do arquipélago de Bazaruto;

### **1.3.2. Objectivos específicos**

- Mapear os sistemas de aquíferos e aquíferos;
- Descrever as condições de limites dos sistemas hidrogeológicos;
- Obter parâmetros hidrogeológicos local (nomeadamente: capacidade de infiltração, condutividade hidráulica, etc);
- Identificar a zona de recarga e descarga dos aquíferos;
- Obter os padrões do fluxo dos lençóis freáticos.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGIA APLICADA NO ESTUDO**

Para Metodologia de elaboração do Modelo Hidrogeológico Conceptual, seguiu-se uma série de fases para o processo de construção e obtenção de resultados para cada uma dessas fases, utilizando suposições e simplificações. O projecto obedeceu 5 fases principais de construção do modelo hidrogeológico conceptual, nomeadamente: (1) Recolha e compilação de dados ou informações, (2) estimativa da recarga e descarga, (3) construção de modelo geológico local, (4) modelação analítico regional, (5) construção de um modelo hidrogeológico conceptual suportado pela modelação analítica regional.



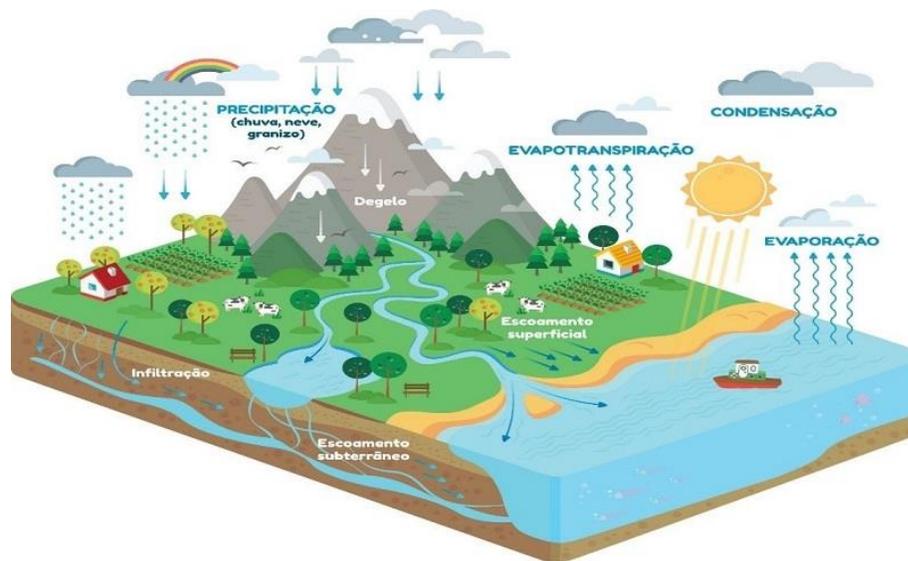
## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Ciclo hidrológico

É definido por Carvalho (2013) como o movimento contínuo da água que ocorre na superfície do planeta, bem como em seu interior e exterior (Figura 1). Desta forma, o autor chama a atenção para importância da compreensão do que vem a ser este ciclo, pois “[...] O conceito de ciclo hidrológico é central ao entendimento da ocorrência de água e ao desenvolvimento e administração de suprimentos em água” (Heath, 1983). Os factores que governam esse ciclo são a força gravitacional e energia solar. Os caminhos que a água pode seguir no ciclo são dominados por factores como a presença ou não de vegetação, bem como características atmosféricas locais e as características físicas do solo (Carvalho, 2013; Feitosa, Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008).

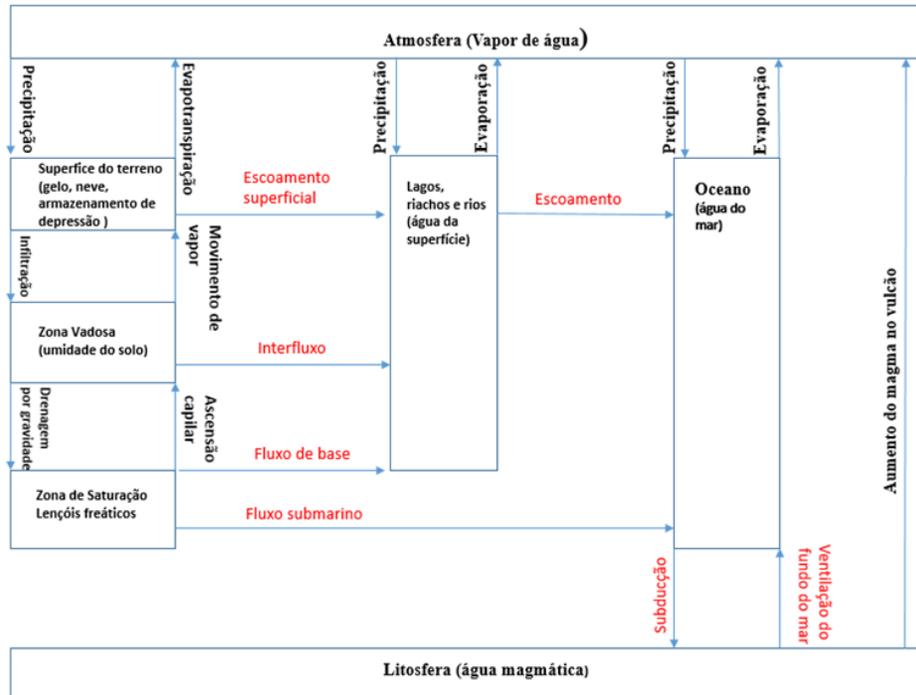
Tratando de um ciclo, ele não tem começo nem fim, logo a sua descrição pode ser feita a partir de qualquer um dos seus componentes, iniciando o mesmo (ciclo), nos oceanos, onde a água evapora devido à energia solar (Figura 1) e segue para a atmosfera em forma de vapor, perdendo os sais marinhos. Na atmosfera, o vapor d’água se condensa em determinadas condições, o que favorece a precipitação como chuva ou neve, que podem ocorrer sobre os continentes ou oceanos (Figura 2). Quando a água precipita sobre o continente pode ser interceptada pela vegetação, atingir corpos d’água superficiais (rios, lagos, córregos, etc) ou cair directamente sobre o solo. Quando sobre a vegetação pode evaporar e retomar para a atmosfera (Carvalho, 2013).

Quando atinge a superfície e dependendo da umidade do solo, a água pode infiltrar e percolar no perfil do solo, movimentando-se entre seus vazios ou os das rochas e, deste modo, ser captada pelas raízes das plantas, a qual após ser utilizada retorna para atmosfera por meio da transpiração, ou então segue por gravidade até o lençol freático que recarrega ou é recarregado por um corpo d'água superficial. Quando não infiltra e o relevo favorece, pode correr livremente pela superfície do solo o que caracteriza o escoamento superficial. Caso não infiltre e não escoe, a água pode evaporar, deste modo, a água que infiltra ou escoar em determinado momento vai atingir novamente os oceanos, fechando o ciclo (Carvalho, 2013; Fetter, 2001; MMA, 2007).



**Figura 1:** Ciclo Hidrológico (Fonte: EPAL).

Devido ao fato de que a quantidade total de água disponível na Terra é finita e indestrutível, podemos olhar para o ciclo hidrológico global como sendo um sistema fechado (Lousada & Camacho, 2018).



**Figura 2:** Esquema do ciclo Hidrológico, mostrando o movimento da água líquida em diferentes condições (Fetter, 2001).

## 2.2. Balanço Hídrico

Poehls & Smith, 2009 (in Carvalho, 2013) conceituam balanço hídrico como a determinação dos volumes de entrada e saída de água em bacia hidrográfica. O balanço hídrico de um sistema físico real é baseado no princípio da conservação de massas ou da continuidade o qual preconiza que as entradas e saídas são equivalentes à variação do volume de água armazenada no meio (Feitosa & Filho, 2000). Os componentes da equação do balanço hidrico podem ser expressos pela seguinte equação (Carvalho, 2013; Feitosa & Filho, 2000).

$$P - ETR - ES - I = \Delta S \quad (\text{Equação I})$$

**Em que:** P – Precipitação [L], ETR – Evapotranspiração real [L], ES – Escoamento superficial [L], I – Infiltração [L] e  $\Delta S$  – Variação do armazenamento de água no solo [L].

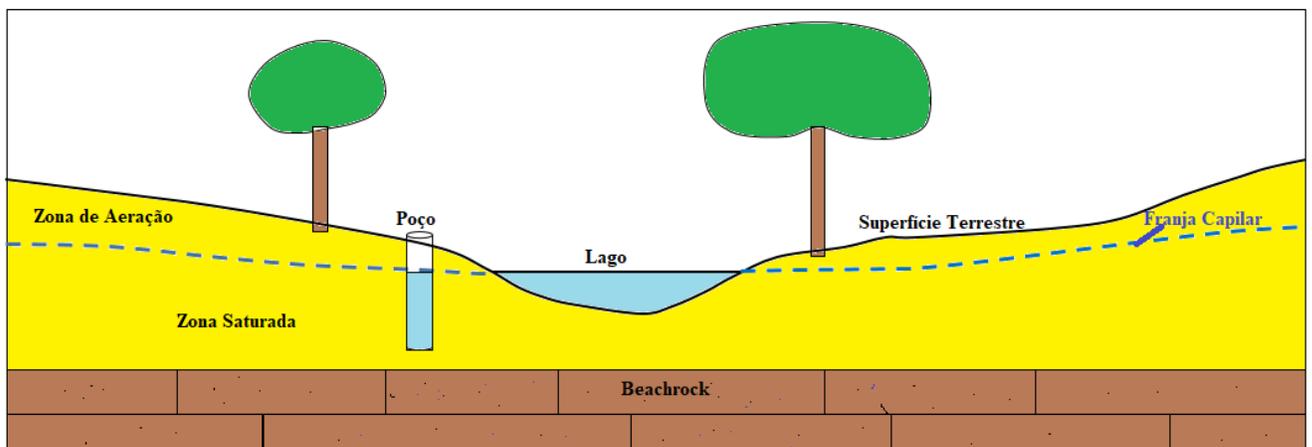
## 2.3. A água no subsolo terrestre

Como dito anteriormente, a água da chuva pode ter vários destinos após atingir a superfície do solo, ou seja, a água quando precipita sobre o solo, ela pode infiltrar, escoar ou evaporar. A infiltração ocorre em condições que podem envolver uma ou mais características do terreno como, por exemplo, presença de

solos com poros não saturados, solos ou rochas permeáveis e relevo plano. Superfícies impermeáveis (solo compactado, telhado e asfalto) contribuem para o escoamento superficial (Carvalho, 2013; Fitts, 2002).

A água infiltra na superfície do solo, mas não necessariamente atinge a superfície freática em seu movimento descendente. No caso, se o perfil do solo apresentar materiais pouco permeáveis em seu caminho, a água flui lateralmente, sendo este fluxo denominado de circulação (interflow). Quando a zona de aeração é pouco espessa em relação à distância do corpo d'água superficial mais próximo, a maior parte do volume de água infiltrado torna-se recarga do aquífero. Após isso, ela se movimenta horizontalmente em direção à superfície terrestre formando nascentes, lagos, rios, etc, caracterizando assim o processo de formação do fluxo de base (Carvalho, 2013; Fitts, 2002).

Em precipitações longas ou intensas, os poros superficiais podem encontrar-se totalmente preenchidos com água, pois a taxa de precipitação é superior à capacidade de infiltração e, desta forma, a água irá escoar pelo terreno (escoamento superficial), podendo infiltrar, mais tardiamente, com o termino da precipitação e após os poros mais superficiais serem parcialmente drenados (Carvalho, 2013).

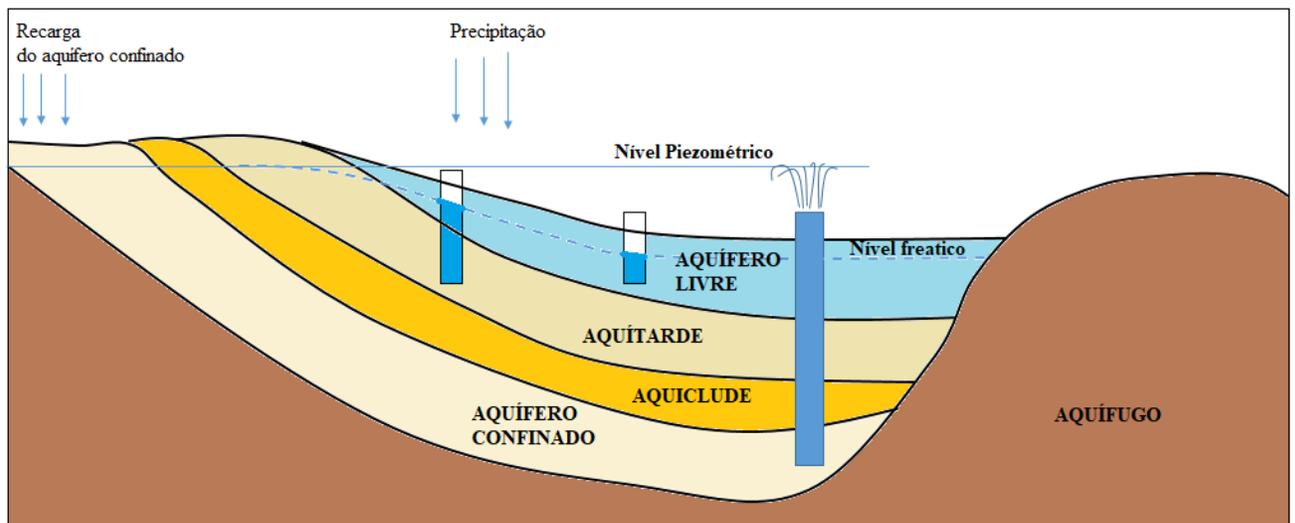


**Figura 3:** Perfil de um aquífero (Fonte: Autor).

## 2.4. Aquífero

Segundo Gomes (2020), um aquífero corresponde a uma formação geológica com permeabilidade e porosidade capaz de armazenar e transmitir água que pode ser usada para o abastecimento (em quantidades suficientes). Sob gradientes hidráulicas naturais, pode ter vários tipos de classificação, dependendo do critério a ser usado, um deles, quanto ao confinamento (Figura 4), tendo vários tipos como **livre ou freático**, quando seu um extrato superior permeável, sendo inferiormente limitado por

uma rocha permeável ou semipermeável e o seu limite superior estiver à pressão atmosférica (Feitosa F. A., Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008); **Confinado** quando estiver cercada por camadas impermeáveis (aquiclude) ou poucos permeáveis (Gomes, 2020) e mantidos sob uma pressão interna superior à pressão atmosférica (Feitosa F. A., Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008); semiconfinado quando haver regiões do aquífero confinadas e outras não confinadas (Gomes, 2020); os aquíferos suspensos, que estão sobre uma rocha impermeável ou semimpermeável de extensão limitada (pouca continuidade lateral), formam um nível de água local diferente do lençol freático (Gomes, 2020; Feitosa, Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008).



**Figura 4:** Unidades hidrogeológicas e Classificação dos aquíferos (Fonte: Adaptado de Feitosa F. A., Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008).

## 2.5. Recarga e descarga dos aquíferos

### 2.5.1. Recarga

A recarga de aquíferos é um processo estimativo uma vez que não consegue ser medido diretamente uma vez que depende de fatores como a precipitação, o escoamento superficial e a evapotranspiração que por sua vez dependem da topografia, temperatura, cobertura vegetal, porosidade do solo entre outros fatores (Lopes, 2017). A recarga de um aquífero consiste acréscimo de água à sua zona saturada de forma natural (precipitação) ou artificial (irrigação), sendo que, alguns factores interferem nesse processo, como condutividade hidráulica vertical do meio, a transmissividade do aquífero e a infiltração da água no solo (Carvalho, 2013).

Existem diversos métodos (balanço hídrico, variação do nível d'água, dentre outros) para se estimar a recarga de aquíferos. As técnicas baseadas em dados de águas superficiais estimam a recarga potencial de aquíferos e as que se baseiam em dados de águas subterrâneas (zona saturada do solo) fornecem a recarga real. Devido a incerteza inerente a todos os métodos é aconselhado que se utilize mais de um método para maior confiança nos valores de recarga obtidos (Carvalho, 2013; Scanlon, Hearly, & Cook, 2002).

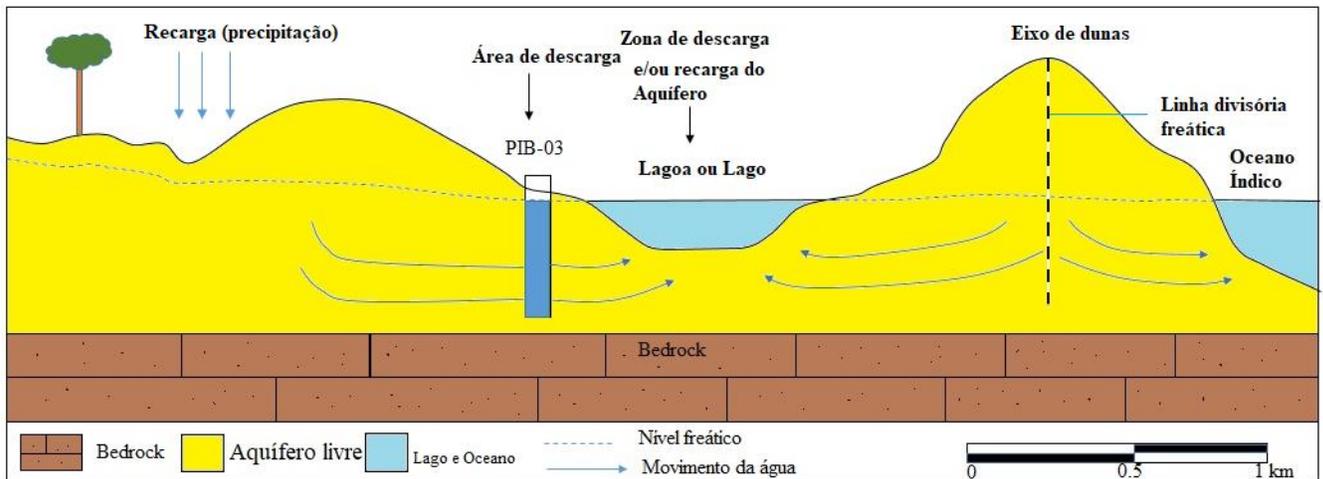
O método da variação do nível d'água (VNA) é um dos mais utilizados na estimativa da recarga. Considera que a elevação do nível d'água dos aquíferos livres ocorre somente devido a eventos de recarga. Caso a descarga do aquífero seja mais veloz que o aporte de água da precipitação (recarga), o método possui pouca relevância. Dentre as vantagens do método pode-se citar sua simplicidade, facilidade de aplicação e o fato de não fazer considerações acerca do movimento da água através da zona insaturada do solo até a superfície freática, desse modo não se considera a existência de caminhos preferências da água, o que inviabilizaria a aplicação da técnica (Carvalho, 2013; Healy & Cook, 2002). É recomendado para pequenos intervalos de tempo (leituras do nível d'água feitas em intervalos de horas ou alguns dias) em locais que apresentem aquíferos rasos e que sofram variações significativas de alturas de sua superfície freática. As incertezas do método incluem a obtenção de um valor representativo do rendimento específico ( $S_y$ ) e a consideração acerca que mudanças na pressão atmosférica, ar aprisionado no meio poroso ou outros fenômenos não influenciam na elevação do nível d'água (Carvalho, 2013; Scanlon, Hearly, & Cook, 2002).

### **2.5.2. Descarga**

A descarga das massas de água subterrâneas efetua-se através de processos naturais (pelas nascentes, lagos) e induzidos (pelos poços e furos) (Borges, 2019). A descarga é caracterizada como a saída da água subterrânea da camada saturada dos aquíferos (Carvalho, 2013).

Fitts (2002) explica que o clima influencia directamente na recarga ou descarga dos aquíferos. A recarga é maior nos locais de clima húmido e constituídos de solos ou rochas permeáveis. Nestes ambientes a recarga pode chegar à metade do volume de água precipitada (Carvalho, 2013).

Uma divisória de águas ou linha de separação de águas designa um limite que separa um fluxo de água, precisamente, as águas da chuva em diferentes direcções a partir de um maciço montanhoso ou formação geológica, alimentando essas zonas de descarga (lago ou lagoas).



**Figura 5:** Recarga e Descarga dos aquíferos (Fonte: Autor).

## 2.6. Zonas do solo e distribuição da água em subsolo

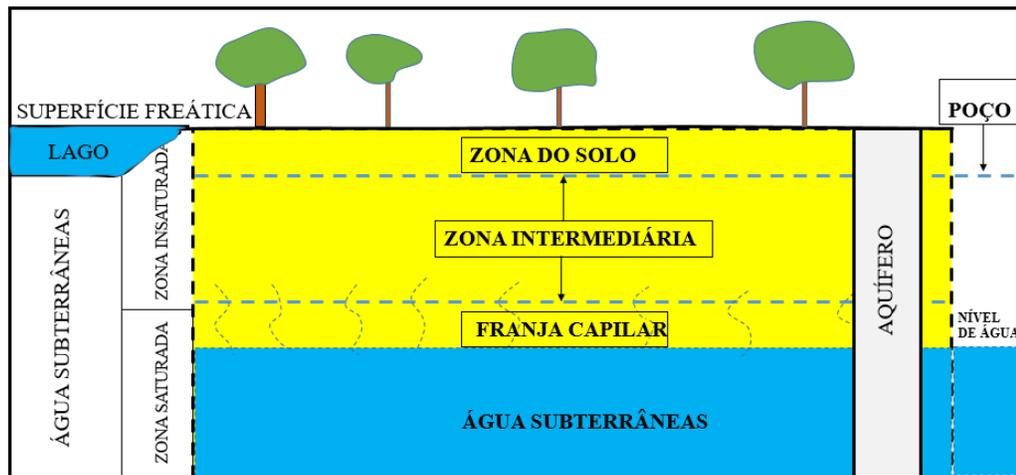
A ocorrência de água subterrânea deve ser dividida em zona de aeração ou não-saturada e zona saturada (Figura 6). A zona de aeração consiste de interstícios ocupados parcialmente pela água e pelo ar. Na zona de saturação, todos os interstícios estão preenchidos com água (Feitosa F. A., Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008).

Embora seja comum o emprego do termo de águas subterrâneas para toda a água que se localiza abaixo da superfície terrestre, isso não é verdade. Apenas uma parcela dessa água em subsuperfície possui essa denominação na realidade. Como explica Heath (1983), este termo é usado para descrever as águas que se encontram na zona saturada do solo (Carvalho, 2013).

Na zona de aeração, a água ocorre na forma de películas aderidas aos grãos do solo. Solos muito finos tendem a ter mais umidade do que os mais grossos, pois há mais superfícies de grãos onde a água pode ficar retida por adesão, deste modo, nesta zona, segundo Mestrinho (2006), o fluxo de água é normalmente lento e em condições geralmente aeróbica e alcalina. Deste modo espera-se um maior potencial para a maioria das reações e processos biológicos que controlam a hidroquímica natural, também o fenômeno de transpiração pelas raízes das plantas, de filtração e de autodepuração da água.

A zona instaurada ou aeração é separada em três partes: zona capilar, zona intermediária e zona de água do solo ou zona de evapotranspiração. A zona capilar inicia-se na superfície freática indo até a altura máxima de elevação da água nos poros de menor diâmetro do solo. Possui formato irregular, pois os

vazios do solo não possuem o mesmo tamanho, provocando uma elevação desigual da água. A zona intermediária fica sobre a capilar e sua espessura vai até o final das raízes de vegetação local. A zona de água do solo está compreendida entre a superfície do solo e os limites das raízes das plantas, possuindo espesura muito variável, em função do tipo de vegetação presente ou ausência da mesma (Feitosa F. A., Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008; Carvalho, 2013), como mostra a figura 6.



**Figura 6:** Zonas da água no perfil do solo (Fonte: Adaptado de Feitosa F. A., Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008).

## 2.7. Hidroquímica

**Ferro-** o ferro é um dos metais mais ricos na crosta terrestre, sendo o segundo e com uma percentagem de cerca de 5%. As principais fontes de ferro são os minerais máficos portadores de ferro, nomeadamente Biotite, Pirite, piroxenas e Anfíbulas. Sendo que, em vista das afinidades geoquímicas quase sempre é acompanhado pelo manganês (Batalha e Parlato, 1998).

## 2.8. Hidroestratigrafia

É a classificação da estrutura dos materiais geológicos, procurando descrever em unidades hidrogeológicas distintas, cada uma com extensão, espessuras e parâmetros hidrogeológicos definidos, relacionado-se ao movimento de fluídos, especificamente água (Poehls & Smith, 2009). As unidades hidroestratigráficas podem ou não se sobrepor às unidades estratigráficas geológicas, como formações e grupos, e uma unidade hidroestratigráfica pode incluir múltiplas unidades geológicas, e vice-versa (Al-Aswad & Al-Bassam, 1997). Por exemplo, uma formação geralmente arenosa com extensas camadas

argilosas pode ser classificada em vários aquíferos, enquanto múltiplas formações compostas por tipos de rocha impermeável podem todas ser agrupadas em um mega-aquífero.

## **2.9. Parâmetros Hidrogeológicos**

Cleary (1989) afirma que o comportamento hidrogeológico da zona saturada dos aquíferos pode ser descrita com base em dois tipos de parâmetros ou variáveis; os referentes ao fluxo hídrico subterrâneo (condutividade hidráulica e transmissividade) e os associados ao armazenamento do aquífero (porosidade, porosidade efectiva, coeficiente de armazenamento, armazenamento específico e rendimento específico) (Carvalho, 2013).

### **2.9.1. Porosidade (n) e porosidade efectiva (n<sub>e</sub>)**

A porosidade representa o volume de vazios contidos em um volume de solo ou rochas. Ela é função das características do meio como tamanho, forma e organização das partículas (Poehls & Smith, 2009). Quando as partículas apresentam distribuição heterogênea no solo, o solo tende a possuir baixa porosidade, pois os vazios entre as partículas maiores são preenchidos pelos grãos menores (Carvalho, 2013).

A porosidade é dividida em primária e secundária. A primária consiste nos vazios que são formados concomitantemente com o solo ou a rocha, é o caso dos vazios nas areias, arenitos e cascalhos. A segunda compreende os poros formados após a origem dos solos ou rochas, dos quais as fraturas e as estruturas em materiais calcários dissolvidos são exemplos. A soma destas duas porosidades total do solo (Cleary, 1989).

Segundo Feitosa & Filho (2000), um bom aquífero deve ter altos valores das duas porosidades. Materiais argilosos possuem alta porosidade total (na faixa de 35-45%), entretanto possuem baixa porosidade efectiva (em torno de 3%), logo não é um material adequado para formar um aquífero. O contrário pode se dizer dos materiais arenosos e com pedregulhos os quais apresentam elevadas porosidades (na faixa de 20-35%) e efectiva (em torno de 29%) constituindo-se, portanto, em bons materiais formadores de aquíferos (Carvalho, 2013).

### **2.9.2. Armazenamento específico (S<sub>s</sub>)**

Armazenamento específico de um aquífero confinado, é definido como o volume de água liberado por um volume unitário do aquífero submetido a um decréscimo unitário de carga hidráulica (Kruseman & Ridder, 2000; Carvalho, 2013). A água presente num aquífero confinado se encontra com pressão superior

à atmosférica, sendo que, ao ser extraído pelo bombeamento de um poço provoca uma paulatina redução dessa pressão, o que permite a expansão da água (Carvalho, 2013). Deste modo, o peso das camadas geológicas sobre o aquífero, suportada antes pela água começa a ser suportada agora pelas partículas do solo. Essa mudança resulta na diminuição dos vazios do meio poroso. Estes processos (expansão da água e redução dos poros de solo) são responsáveis pelo mecanismo de libertação das águas subterrâneas nos aquíferos confinados (Equação IV) (Carvalho, 2013; Feitosa & Filho, 2000).

### **2.9.3. Coeficiente de armazenamento (S)**

Corresponde ao volume de água cedido por uma coluna de aquífero de área unitária quando o nível piezométrico desce uma unidade e é adimensional:  $S = m^3/(m^2 \cdot m)$ . No caso dos aquíferos livres, o coeficiente de armazenamento (S) corresponde à porosidade eficaz ( $n_e$ ), uma vez que a extração de água corresponde, na realidade, a um esvaziamento dos poros ( $S=n_e$  e varia entre 0.01 e 0.3). Já nos aquíferos confinados a água extraída corresponde à deformação do aquífero, ou seja, água e poros (nestes casos, S, varia entre  $10^{-3}$  e  $10^{-6}$ ) (Lousada & Camacho, 2018).

### **2.9.4. Permeabilidade intrínseca (k)**

A permeabilidade intrínseca refere-se à capacidade do meio em permitir a passagem de um fluido através de seus poros quando saturados, sendo influenciada somente pelas dimensões e formas de vazios do solo (Carvalho, 2013). A permeabilidade intrínseca é uma função do tamanho do poro aberto entre os grãos. Quanto menor o tamanho do sedimento dos grãos, maior a área de superfície de contato com a água. Isto aumenta a resistência do atrito para o fluxo, o qual reduz a permeabilidade (Souza, 2010).

### **2.9.5. Condutividade hidráulica**

É a maior ou menor facilidade com que um aquífero se deixa atravessar pela água e exprime-se em m/d, cm/s ou m/s. Mede-se no campo através de ensaios de caudal e no laboratório a partir de permeâmetros e de fórmulas empíricas. A conexão hidráulica entre os vazios é fundamental para que a uma porosidade elevada possa corresponder uma elevada permeabilidade. É muito comum relacionar a condutividade hidráulica com a porosidade, o que nem sempre é correto: uma rocha porosa pode ter uma elevada condutividade hidráulica se os seus poros forem grandes e bem interconectados (ex: areias e cascalheiras) ou ter uma condutividade hidráulica quase nula se os seus poros forem muito pequenos, restando fortemente a água (ex: argilas) (Souza, 2010).

### **2.9.6. Condutividade hidráulica saturada (Ksat)**

A condutividade hidráulica saturada do solo (Ksat) é uma das propriedades de maior relevância para estudos de movimento de água e solutos no solo. Sua determinação em laboratório e campo produz resultados com elevada dispersão, o que indica que esta propriedade é altamente variável. A Ksat é também dependente dos demais atributos do solo, principalmente da densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade. A caracterização e um maior entendimento desta dependência torna-se fundamental para permitir quaisquer conclusões sobre os processos físicos que ocorrem nos solos (Mesquita & Moares, 2004).

### **2.9.7. Transmissividade (T)**

Corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero (Feitosa F. A., Filho, Feitosa, & Demetrio, 2008).

A transmissividade é o parâmetro que mais condiciona o fluxo da água subterrânea sendo por isso o parâmetro hidrodinâmico mais usado na avaliação de recursos hídricos subterrâneos. Para aquíferos livres, Freezy & Cherry (1979) afirmam que a equação acima também pode ser usada, porém neste caso b é equivalente à espessura da camada saturada do aquífero (Carvalho, 2013).

## **2.10. Geofísica**

### **2.10.1. Susceptibilidade Magnética e Medição da Condutividade**

A susceptibilidade magnética é definida como o grau em que uma substância pode ser magnetizada. Em termos matemáticos, é a razão (k) entre a intensidade da magnetização (I) e a intensidade do campo magnético (H) que é responsável pela magnetização, ou seja,

$$k = \frac{I}{H} \quad \text{(Equação II)}$$

### **2.10.2. Medição da Condutividade**

A condutividade é uma propriedade intrínseca de um volume microscópico de material. A condutividade aparente é uma média volumétrica de um meio heterogêneo, excepto que a média não é matemático, mas dependente de cada instrumento. Somente quando a terra é um meio homogênea, a condutividade aparente igual à condutividade verdadeira. A principal vantagem do método de condutividade eletromagnética é que o contacto com a amostra não é necessário.

### 2.11. Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC)

Embora vários autores tenham apresentado suas definições e considerações para um Modelo Hidrogeológico Conceptual, como:

Fetter (2001) define o MHC como um modelo científico que descreve as condições atuais de um aquífero e prevê o comportamento futuro dos mesmos.

Para Cavalcanti (2002) & Carvalho (2013) são modelos formados pela reunião de um conjunto de dados espaciais que permitem a interpretação das dinâmicas dos aquíferos (Santarosa & Manzione, 2017).

Para Feitosa et al (2008), MHC é uma representação simplificada e abstrata do sistema hidrogeológico em estudo, que permite a compreensão dos processos físicos e hidrológicos envolvidos em um aquífero ou em um conjunto de aquíferos.

Para Legrand & Rosen (2000), MHC são modelos utilizados para análise de dados geológicos e hidrogeológicos, prevendo a interação dos fatores que influenciam a movimentação das águas subterrâneas, incluindo o fluxo, a infiltração e o transporte de contaminantes (Santarosa & Manzione, 2017).

Para Freeze & Cherry (1979), MHC é uma simplificação matemática do sistema hidrogeológico real, que inclui apenas os processos e parâmetros considerados importantes para a análise em questão.

Para Anderson (1984), um MHC é uma simplificação matemática do sistema hidrogeológico real que permite a representação e simulação do comportamento da água subterrânea.

Bear & Cheng (2010) define o MHC como uma representação abstrata do sistema hidrogeológico, que captura as principais características hidrogeológicas relevantes para o problema em questão e permite simular o comportamento da água subterrânea.

Todd (1980) define o MHC como uma representação matemática do sistema hidrogeológico que simplifica e aproxima a realidade, permitindo análise e previsões do comportamento da água subterrânea.

Para Kruseman & de Ridder (1994), MHC é uma representação simplificada e abstrata do sistema hidrogeológico que descreve as relações entre os diferentes componentes do sistema e permite simular o comportamento da água subterrânea.

Para Domenico & Schwartz (1998), MHC é uma representação simplificada do sistema hidrogeológico que descreve a geometria, as propriedades e os processos do sistema e permite simular o fluxo e o transporte de contaminantes na água subterrânea.

Para Yeh (2005), MHC é uma simplificação matemática do sistema hidrogeológico real que permite a análise, a previsão e a tomada de decisões em relação ao uso e gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Para o que foi definido como sendo os objectivos do nosso modelo, foram sintetizadas as definições de Fetter (2001) & Feitosa et al (2008), **resultando na seguinte: “MHC é um modelo científico utilizado para prever comportamento do fluxo de água subterrânea e compreender os processos físicos e hidrológicos envolvidos em um aquífero”.**

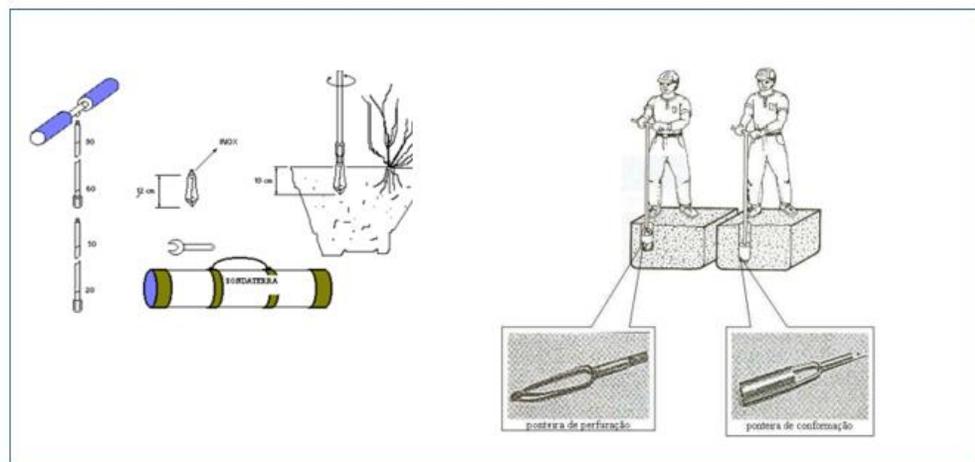
### 3. MÉTODOS DE CAMPO UTILIZADOS EM ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS

A determinação dos parâmetros hidrogeológicos, é baseada em vários ensaios ou testes de campo, que devem levar em relevância as diferenças pedológicas e geológicas e, portanto, os diferentes aquíferos existentes, bem como, aspectos concernentes à modelagem hidrogeológica (espessura, profundidade, área). Quanto maior o número de dados válidos, melhor será a estrutura do modelo conceitual e maior a probabilidade do modelo numérico gerado, ser representativo das condições de campo e apto a simulação de cenários (Carvalho, 2013). A seguir descrevem-se os utilizados no presente estudo, considerando os métodos não utilizados no presente estudo.

#### 3.1. Furos de Sondagem

Método que possibilita a amostragem do solo/rocha e/ou águas subterrâneas, interpretação geológica de superfície, alocação de poços de monitoramento e medidas de propriedades geofísicas. Consiste num furo realizado no solo através de uma variedade de equipamentos como trado manual (Figura 7).

As informações geológicas obtidas pelos ensaios são representativas das imediações do furo, sendo que o furo realizado em uma área permite uma caracterização hidrogeológica do local, mas deve-se ter cautela com essas extrapolações (Poehls & Smith, 2009).



**Figura 7:** Trado Manual (Fonte: Poehls & Smith, 2009).

### 3.2. Ensaio de Infiltração

Para determinação de valores de condutividade hidráulica vertical na superfície e em profundidades crescentes (até 260 cm), na zona não saturada, aplica-se o método do infiltrômetro de anéis concêntricos e o método denominado *open end hole*.

Para o método dos anéis concêntricos, utilizam-se dois cilindros dispostos de forma concêntrica, que são cravados alguns centímetros no solo para impedir a dispersão lateral da água inserida (Figura 8), medindo a seção do cilindro abaixo da superfície do solo, resultando no valor de I (infiltração). Inicialmente, preenche-se com água o cilindro externo até estabilização do nível (quando o solo fica saturado) (Fiori, 2010).

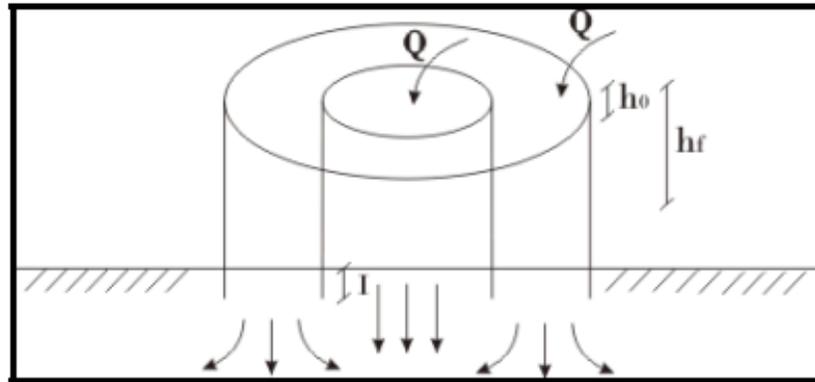
O objetivo desse procedimento é garantir a verticalidade do fluxo, gerando uma parede de umidade em torno do cilindro interno. Posteriormente, preenche-se com água o cilindro interno e adquire-se a medida entre a lâmina d'água e o topo deste cilindro, obtendo-se o parâmetro  $M_1$  (medida inicial). Mede-se a altura total do cilindro ( $H=250$  mm) para se obter a altura da coluna d'água inicial ( $H_1=H-I-M_1$ ) (Fiori, 2010).

O tempo de duração dos ensaios varia em decorrência de variações de condutividade hidráulica do meio. Na finalização, obtêm-se novamente a distância entre o topo do cilindro e o nível da água, resultando na medida final ( $M_f$ ) e, conseqüentemente, a coluna d'água final ( $H_f=H-I-M_f$ ) (Fiori, 2010).

A condutividade vertical ( $K_v$ ) em superfície, para método com carga variável, é obtido com auxílio da fórmula (Fiori, 2010) (Equação III) :

$$K=U \times \frac{I}{\Delta t} \times \ln\left(\frac{h_0}{h}\right) \quad \text{(Equação III)}$$

Em que: K – Condutividade vertical em superfície;  $h_0$  – Coluna de água inicial; h – Coluna de água final;  $\Delta t$  – Tempo decorrido para o rebaixamento entre  $h_0$  e h, e, U – Factor de conversão de umidades, para passar mm/min para m/s, expresso na fórmula como 1/60000 (Fiori, 2010).



**Figura 8:** Esquema do método dos anéis concêntricos para ensaios de infiltração. I - Seção cravada no solo,  $h_0$  – distância do nível d' água inicial à superfície do terreno,  $h_f$  – distância do nível d' água final à superfície do terreno e  $Q$  – volume da água inserida (Fiori, 2010).

### 3.3. Qualidade de água

#### 3.3.1. Condutividade Elétrica (CE)

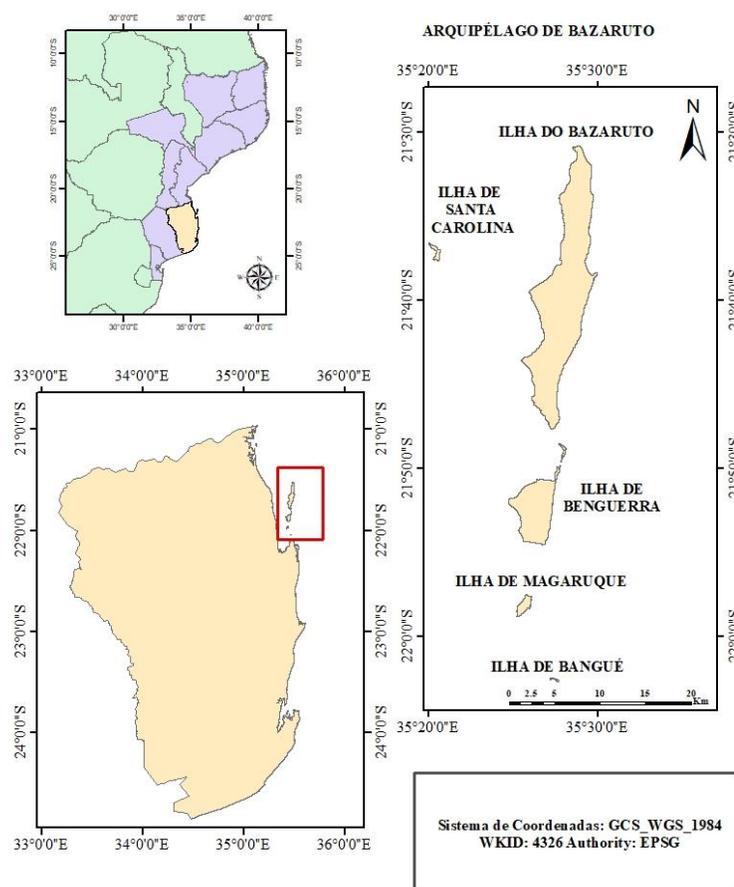
A condutividade elétrica é a capacidade que uma solução aquosa possui em conduzir corrente elétrica, refletindo a facilidade da água na transmissão da corrente elétrica. Está relacionada à presença de cátions e ânions provenientes de sais diversos que se encontram dissolvidos na água. Soluções ácidas, básicas e sais inorgânicos são relativamente boas condutoras. Já as moléculas de compostos orgânicos que não dissociam em solução aquosa conduzem pouca corrente elétrica. Esses sais se acumulam no corpo hídrico, em função da movimentação e transporte de material de solos (Filho, 2018).

A condutividade elétrica é uma medida eficaz para avaliar a qualidade da água devido à sua sensibilidade às concentrações de íons dissolvidos, como sais inorgânicos e compostos iônicos. Como a água pura é um mau condutor de eletricidade, qualquer aumento na condutividade está diretamente relacionado à presença e concentração de substâncias dissolvidas. A variação na condutividade reflete mudanças na composição química da água, indicando potenciais contaminações por poluentes orgânicos e inorgânicos. Portanto, a medição da condutividade elétrica oferece uma abordagem rápida, sensível e quantitativa para avaliar a qualidade da água, permitindo a detecção precoce de possíveis riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. Enquadramento geográfico

O Arquipélago de Bazaruto constitui uma parte insular do sul de Moçambique que se situa entre as latitudes 21°30' S e 22°10' S e as longitudes 35°22' E e 35°30' E, entre o Cabo São Sebastião e Mambone, na costa nordeste da Província de Inhambane, entre os distritos de Vilankulo e Inhassoro. Ele é composto por cinco ilhas, nomeadamente: Bazaruto, Benguerra, Magaruque, Santa Carolina e Bangué, sendo a ilha de Bazaruto a maior e a mais conhecida do Arquipélago (Figura 9).

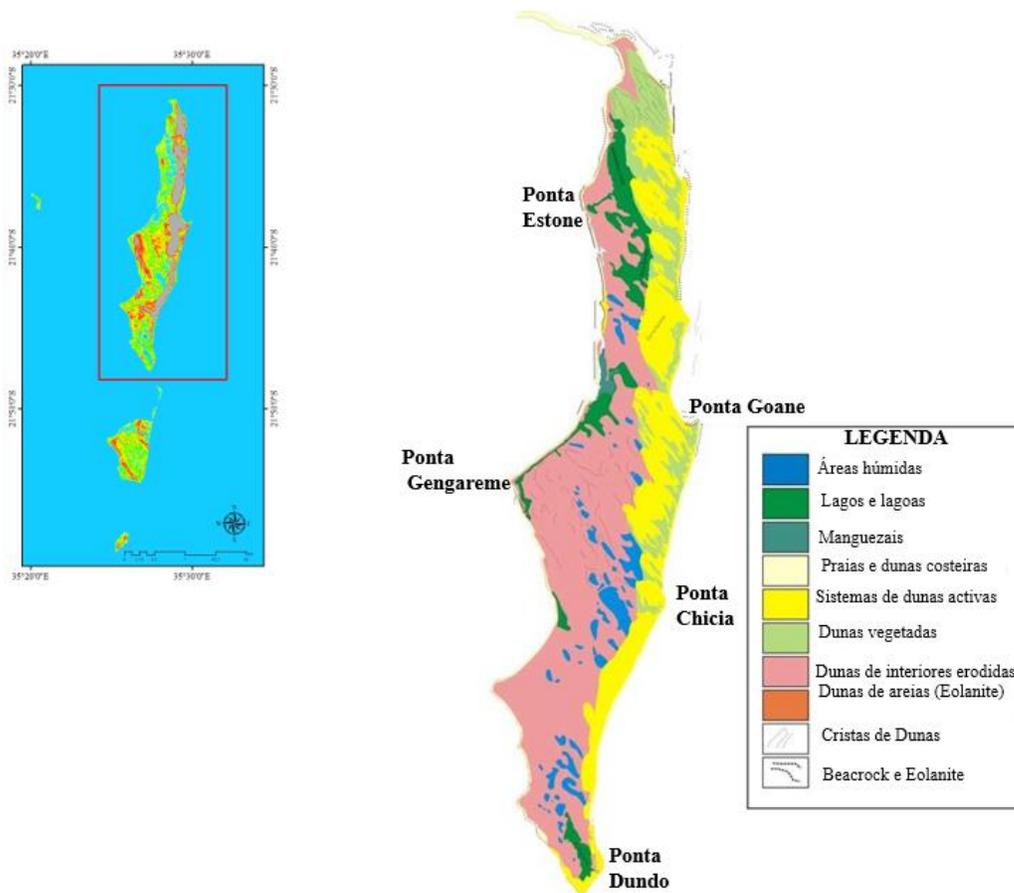


**Figura 9:** Mapa geográfico do Arquipélago de Bazaruto (Fonte: Autor).

## 4.2. Enquadramento fisiogeográfica

A fisiogeografia do Arquipélago de Bazaruto é caracterizada por uma paisagem costeira diversificada, com praias de areia branca, águas cristalinas e uma rica biodiversidade marinha. As ilhas são cercadas por recifes de coral que abrigam uma variedade de espécies marinhas, incluindo peixes tropicais coloridos, tartarugas marinhas, golfinhos e dugongos. Além dos recifes de coral, o Arquipélago de Bazaruto possui uma combinação de habitats terrestres, como dunas de areia, pântanos costeiros, lagunas e florestas tropicais.

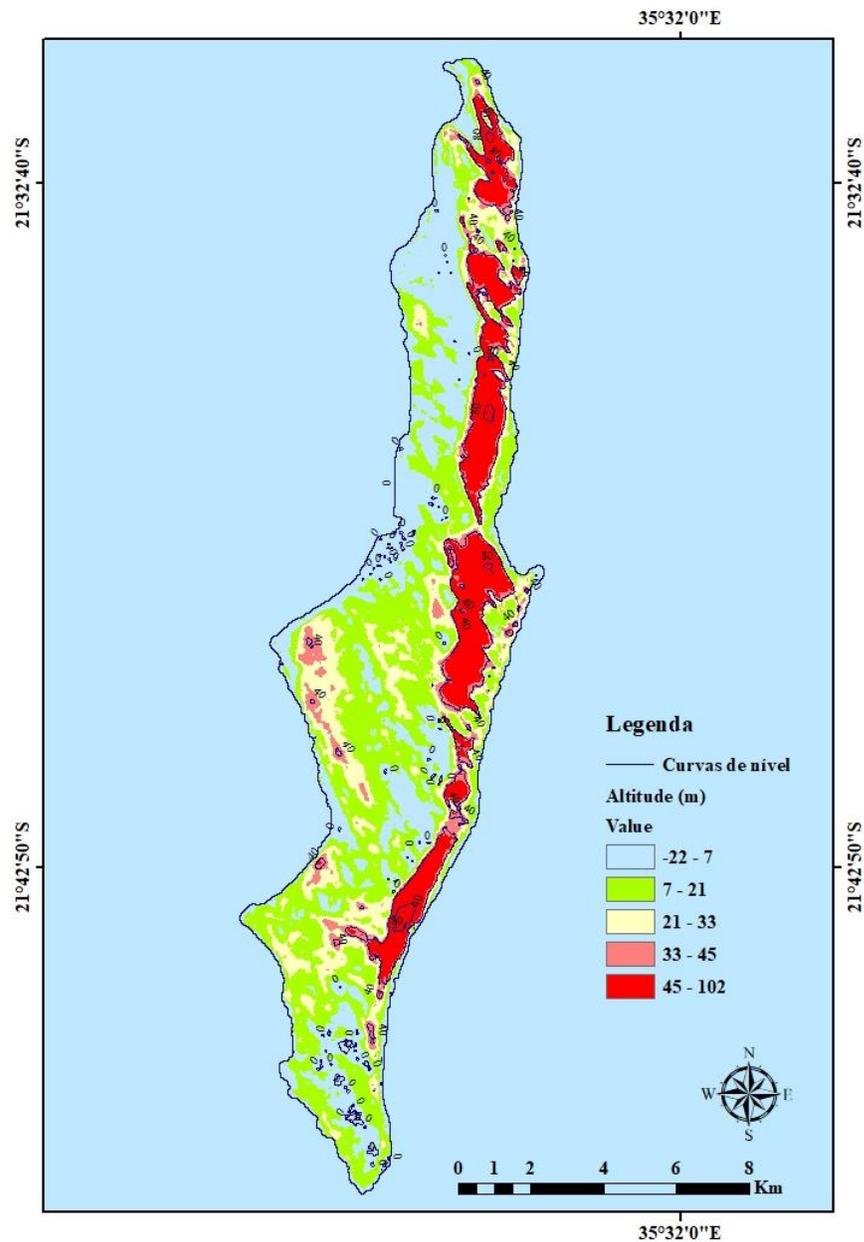
As dunas de areia são um elemento proeminente da paisagem, criando uma transição entre o oceano e o interior das ilhas. Essas dunas são móveis e estão em constante mudança devido à ação dos ventos e das marés, apresentando áreas húmidas, que alimentam os aquíferos locais (Figura 10).



**Figura 10:** Enquadramento fisiogeográfico da Ilha Grande de Bazaruto, referência do Arquipélago de Bazaruto (Fonte: Adaptado de Rogers & Giacconi, 2008).

### 4.3. Enquadramento topográfico

Em termos topográficos, as dunas do Arquipélago posicionam-se entre as cotas de 11 a 60 metros, com uma espessura saturada que varia entre 1 a 10 metros, dependendo da situação do relevo do Arquipélago. A configuração das dunas e altitude do local (Figura 11), leva a variação, ou seja, são responsáveis pela variação do nível estático (NE) do Arquipélago.



**Figura 11:** Enquadramento topográfico da Ilha Grande de Bazaruto, referência do Arquipélago (Fonte: Autor).

#### 4.4. Enquadramento geológico e pedológico

O Arquipélago do Bazaruto localiza-se a sul do actual delta do Rio Save, situando junto a plataforma da costa Moçambicana, contendo numerosos depositos dos detritos dos Rios Limpopo e Save. As ilhas compõem-se fundamentalmente de areias de quartzo não consolidadas, contendo uma pequena porção de carbonatos derivados do esqueleto de organismos marinhos, sendo susceptíveis a movimentos por processos naturais. Nas ilhas, as dunas são nuas ou moderadamente cobertas de vegetação pioneira ou a vários estágios de sucessão. A vegetação estabiliza as dunas e impede o arrasto de areias pelo vento evitando o crescimento das dunas. As ondas provocam o movimento de areias na praia até que se atinja um estado de equilíbrio com as condições prevalecentes na linha da costa das ilhas do lado este.

A presença de rochas costeiras em volta das ilhas formam o encaminhamento do sistema actual das ilhas e influenciam profundamente nos padrões de refração das ondas e a formação dessas rochas costeiras, é um processo contínuo, esperando-se que, os estuários continuem a produzir novos sistemas de rochas costeiras, a medida que estes se movem para interior e se estabilizam periodicamente, sendo que rochas costeiras sem estuários, fornecem o único substrato favorável ao crescimento de corais, em extensas linhas costeiras de sedimento pouco consolidado.

As dunas de areia apresentam uma coloração variada, entre escura e clara devido concentração de metais ou matéria orgânica que da-lhes uma cor escura acizentada, negra ou cor acastanhada (Figura 5). Devido a falta de argila o solo não possui uma força coesiva criando uma grande susceptibilidade a erosão pelo vento, chuva ou força das ondas, enquanto no interior das ilhas, paralelamente ao actual sistema de dunas encontram-se velhas dunas de areia, bem estabilizadas.

Nas baías de Sitone, Zenguelemo e Mulidza verifica-se uma erosão costeira, que espõe um solo de coloração vermelho amarelado, característico do velho sistema de dunas, devido a oxidação dos feldspatos e metais do solo, dão uma cor avermelhada de solo argiloso mais coeso com vários horizontes, que ao erodir criam uma costa com declives. As praias são de areias finissimas, de cor branca com águas claras, tendo grés costeiros localizados junto a linha da costa, em afloramentos descontínuos, seguindo uma faixa estreita e alongada. Trata-se de uma rocha geralmente com estratificação entrecruzada, caracterizada por uma matriz calcária e apresentando má calibração de grão, onde é frequente a presença de fósseis.

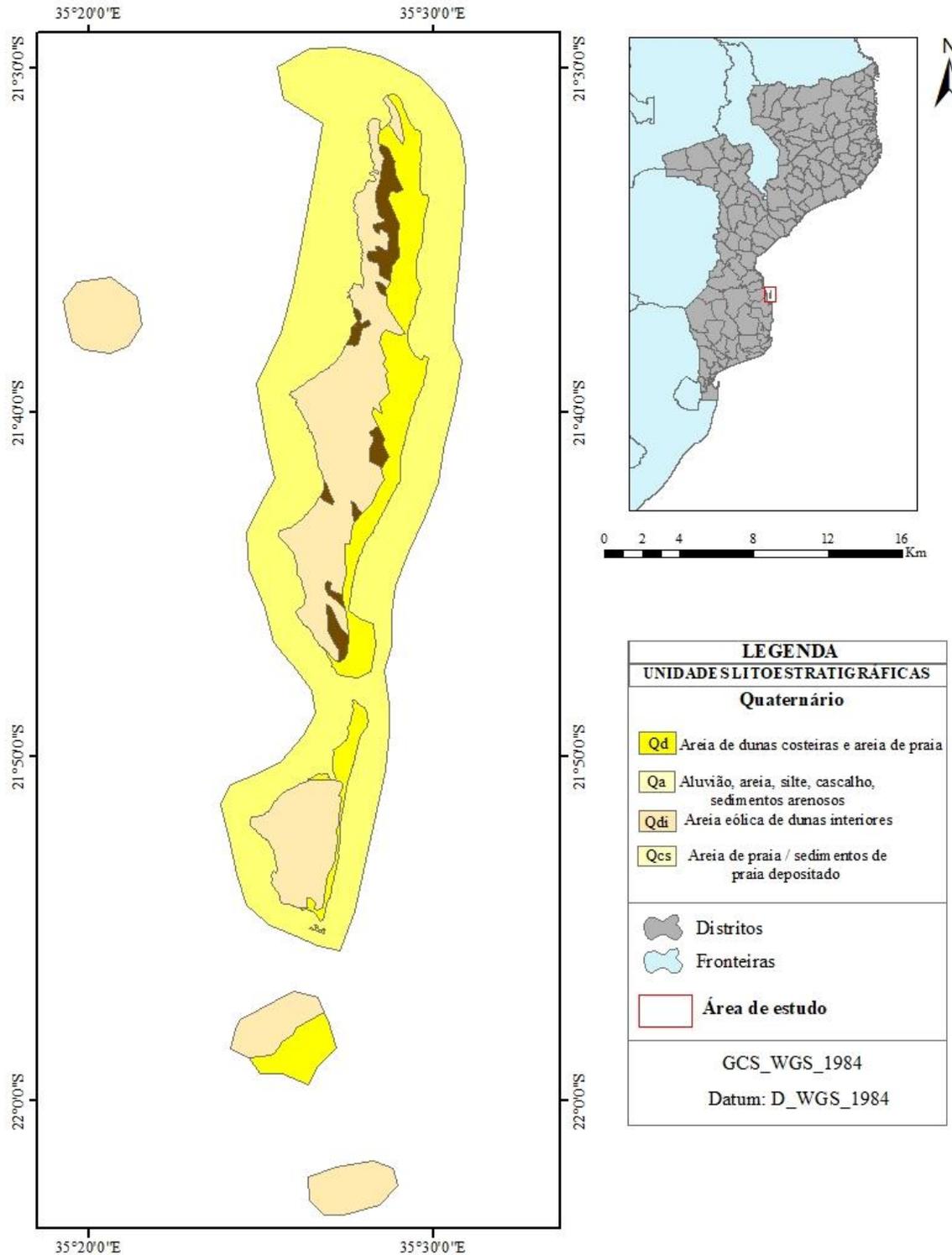
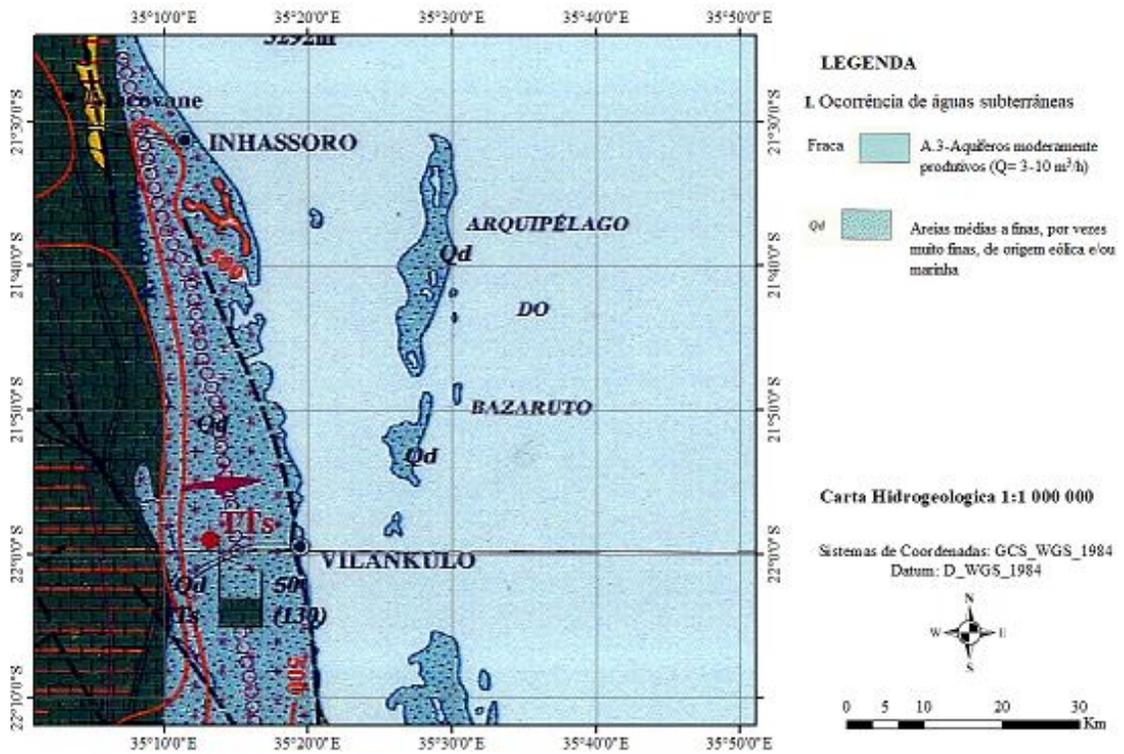


Figura 12: Enquadramento geológico do Arquipélago de Bazaruto (Fonte: Autor).

#### 4.5. Hidrogeologia

No Arquipélago de Bazaruto, os aquíferos são predominantemente intergranulares (Contínuos, geralmente não consolidados) de areias médias a finas (de origem eólica ou marinha) com produtividade moderada e com caudais médios variando entre 3-10 m<sup>3</sup>/h (Figura 13). O problema principal diz respeito à salinidade dos aquíferos ou ao alto risco de intrusão de água do mar que pode ocorrer em resultado de sobre exploração dos furos, sendo nessa região, estes aquíferos a água pode ser muito dura (MCCA, 2012).



**Figura 13:** Enquadramento hidrogeológico do Arquipélago de Bazaruto (Fonte: Autor).

### **CAPÍTULO III: RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO DE DADOS OBTIDOS**

O modelo hidrogeológico conceptual vem para explicar os processos e mecanismos hidrogeológicos, geofísicos e hidroquímicos usados para determinar os principais aquíferos do Arquipélago de Bazaruto. Visando a conciliação de diversas informações, como dos dados hidroestratigráficos (principais unidades geológicas), hidroquímicos (análise do teor de Ferro), geofísicos (Condutividade eléctrica, e Susceptibilidade magnética) e hidrogeológicos (taxa de infiltração para a determinação da recarga e descrição das unidades hidrogeológicas).

#### **5.1. HIDROGEOLÓGIA**

Com base nas informações adquiridas no campo, no relevante estudo, identificou-se dois sistemas de aquíferos segundo os dados dos ensaios de Infiltração (apartir do Método dos anéis concêntricos) (Figura 36, em anexo), que resultaram em taxas de Infiltração diferentes, nomeadamente uma capacidade de infiltração, condutividade hidráulica saturada de campo e velocidade infiltração básica diferentes (Tabelas 06 e 07, em apêndice).

O primeiro aquífero designado do Norte, o seu valor de velocidade de infiltração mostrou um valor de 5 cm.min<sup>-1</sup> (300 cm.h<sup>-1</sup>), de acordo com Bernardo et al. (2006), esse aquífero em termo textural é designado por muito arenoso. O segundo aquífero designado do Sul, o seu valor de velocidade de infiltração era diferente e igual 4 cm.min<sup>-1</sup>, tendo a mesma atribuição que o primeiro, de acordo com Bernardo et al. (2006), olhando para o seu aspecto textural (Tabela 06, em apêndice). A diferença na velocidade de infiltração entre os dois aquíferos, mesmo apresentando a mesma textura, pode ser atribuída a factores como a compactação do solo, a presença de matéria orgânica, a humidade do solo ou a estrutura do subsolo.

Esses dois aquíferos embora possuam o mesmo aspecto textural, os seus resultados de velocidade infiltração básica são diferentes, tendo para o primeiro um valor de 0,8683 cm.min<sup>-1</sup> e o segundo um outro valor diferente de 0.5550 cm.min<sup>-1</sup>, confirmando a distinção dos aquíferos. Essas variações podem resultar de diferenças na geologia local, na permeabilidade da camada subjacente ou nas condições climáticas que afectam a humidade do solo. Portanto, mesmo que a textura seja similar, outros factores físicos e químicos podem influenciar a taxa de infiltração.

##### **5.1.1. Zonas de Recarga, Descarga e Balanço Hídrico**

A recarga das duas unidades aquíferas opera-se principalmente através das precipitações pluviométricas, podendo acontecer em qualquer ponto de cada unidade aquífera dos sistemas e torna-se importante levar

em consideração a sazonalidade da recarga, uma vez que a área tem uma temporada seca de Maio a Outubro e uma temporada de chuvas de Novembro a Abril.

Além da precipitação, foram identificadas outras fontes de recarga dos dois sistemas de aquíferos, que incluem a infiltração de água superficial, como lagos ou lagoas, e a infiltração de água do mar nas áreas mais próximas da costa, devido à influência da maré. No entanto, a quantidade de recarga dessas fontes é menor em comparação com a recarga da água da chuva.

Os lagos ou as lagoas existentes na área de estudo jogam um papel fundamental e essencial na descarga dos dois sistemas de aquíferos locais das águas subterrâneas. Além dos lagos ou lagoas, as zonas húmidas (zonas de acumulação das águas pluviométricas) desempenham um papel importante tanto na descarga dos sistemas de aquíferos, em época de recarga, mas também em época de seca (estiagem) recarregam os aquíferos.

### **5.1.2. Balanço hídrico**

O balanço hídrico anual do Arquipélago da diferença entre a precipitação média anual e a evapotranspiração, é menos de 612 mm, havendo um défice de humidade negativo, sugerindo que a quantidade de água que retorna à atmosfera é maior do que a quantidade de água que é recebida na forma de chuva, podendo resultar em estresse hídrico, afetando a vegetação e a disponibilidade de água.

Hidrogeologicamente, essa défice de humidade negativo significa que o solo e os lençóis freáticos podem não ser reabastecidos adequadamente, levando à degradação da qualidade da água, diminuição dos níveis dos aquíferos e alteração do ecossistema local.

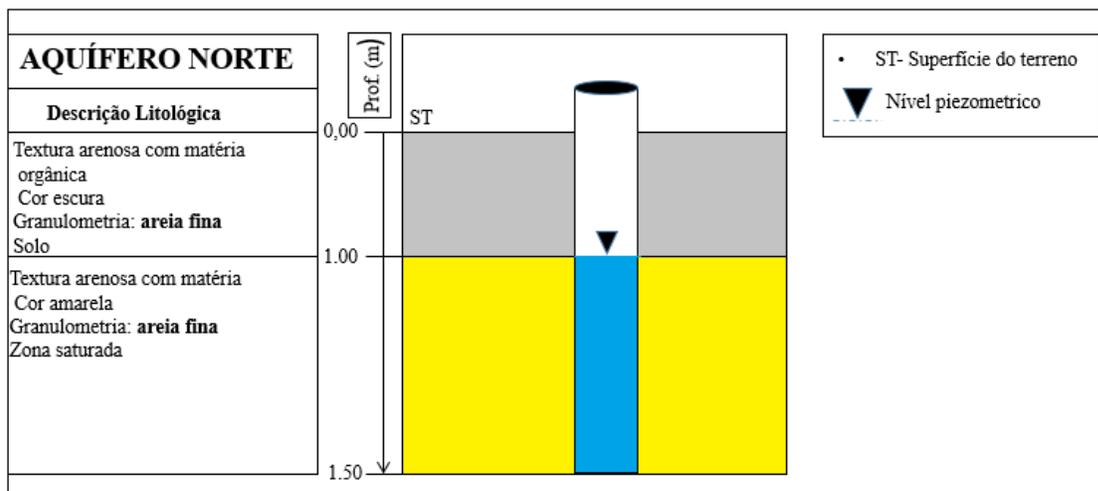
Deste modo, no Arquipélago, há predominância de dias secos, mostrados por 231 dias secos, 104 dias intermédios e 30 dias húmidos. A predominância de 231 dias secos indica que a maioria do ano tem baixa humidade, sugerindo um clima árido ou semiárido, onde a evapotranspiração ocorre rapidamente.

## **5.2. HIDROESTRATIGRAFIA**

Os dados referentes a hidroestratigráfica foram colectados através da perfuração mecânica (Trado manual) mostrando as variações espessurais para os dois sistemas de aquíferos, mas não estimando espessuras totais (Figura 37.B, em anexo). Ao perfurar diferentes camadas do solo, o trado manual permite coletar amostras em profundidades específicas, possibilitando a observação directa das características sedimentares.

A primeira perfuração foi feita no aquífero do Norte e mostrou uma espessura menor (Figura 14) enquanto o segundo, o aquífero do Sul apresenta uma espessura maior (Figura 15).

A hidroestratigrafia do aquífero do Norte, após a perfuração pode ser dividida em três unidades principais: a unidade superior, a unidade intermediária e a unidade inferior (Figura 13). A unidade superior é composta principalmente por areias finas e médias e representa a zona de recarga do aquífero. A unidade intermediária é composta por areias grossas apresentando uma permeabilidade relativamente alta. A unidade inferior é composta por calcoarenito, e é menos permeável do que as unidades superiores, sendo a base rochosa (Beachrock) do aquífero. Do ponto de vista hidrogeológico, esse aquífero é formado geologicamente por uma camada sedimentar de areia, de diferente granulometria, variando de fino a grosseiro, tendo uma classificação segundo o confinamento, de aquífero livre.



**Figura 14:** Descrição hidroestratigráfica do aquífero de Norte (Fonte: Autor).

A unidade hidroestratigráfica perfurada ao Norte do Arquipélago apresenta tonalidades distintas, evidenciando a diversidade da composição mineralógica da camada sedimentar em diferentes unidades. No topo, a primeira unidade é dominada por areia de granulometria fina, com grãos bem selecionados e coloração escura devido à presença de matéria orgânica. Essa camada, com espessura de 1 metro, pode conter minerais secundários como argilas, óxidos de ferro e compostos orgânicos parcialmente distintos. Na base, encontra-se uma camada de areia e calcário (calcoarenito) com granulometria média a fina, de coloração amarelada, resultante de uma composição mineralógica que sugere a presença enriquecida de óxidos de ferro, como a goethita, além de calcita, formando uma espessura saturada que varia de 1 a 2 metros.

A unidade hidroestratigráfica perfurada a Sul do Arquipélago, também mostrou tonalidades distintas, o que caracteriza distintamente a composição mineralógica da camada sedimentar em diferentes unidades (Figura 14). No topo da camada, na primeira unidade predominam areias de granulometria a fina, grãos bem selecionados, com coloração escura devido presença de matéria orgânica em consequência a existência de minerais secundários como argilas, óxidos de ferro tal como no primeiro aquífero e em termos de espessura apresenta um valor de 0,50 metros. No solo de transição da unidade predominam areias com granulometria fina com coloração branca, devido a sua composição mineralógica, que é composta principalmente por minerais claros, como o quartzo, feldspatos e apresenta uma espessura de 3 metros. No bedrock predomina novamente calcoarenito (areia e calcário) com granulometria média a fina, com coloração amarelada, devido ao seu enriquecimento em ferro e tendo uma classificação segundo o confinamento, de aquífero livre.

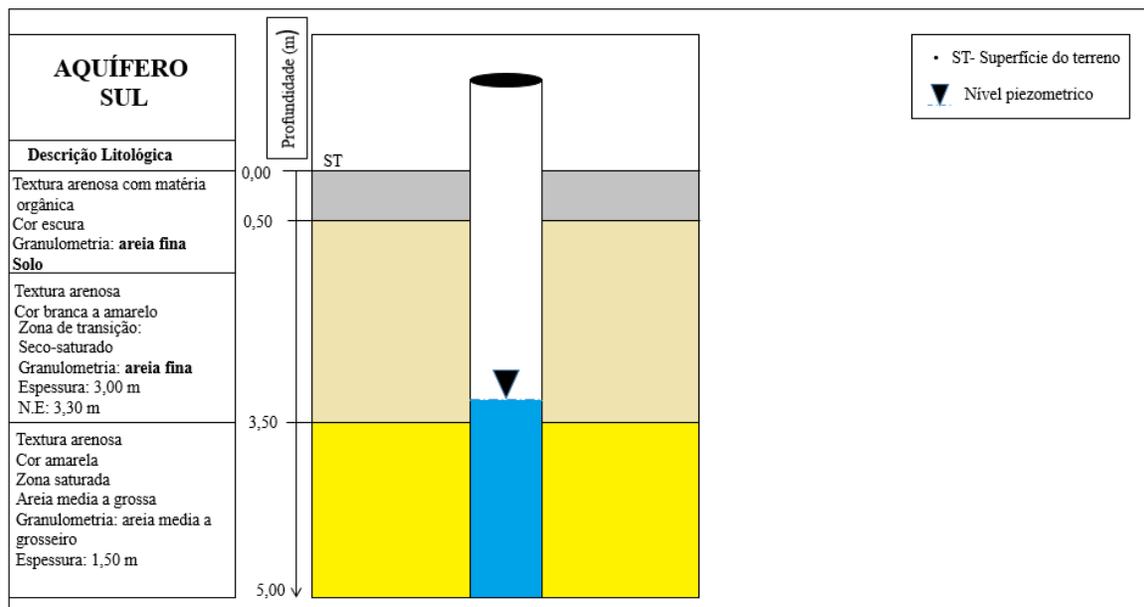


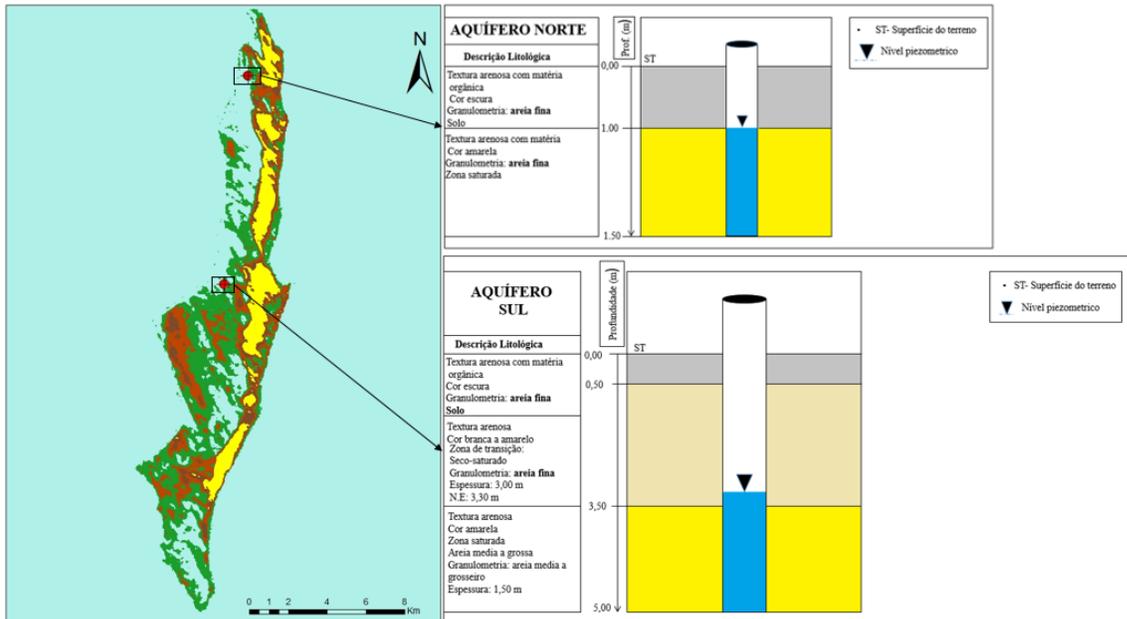
Figura 15: Descrição hidroestratigráfica do Aquífero do Sul (Fonte: Autor).

**Tabela 01:** Descrição hidroestratigráfica dos Aquíferos do Arquipélago de Bazaruto.

| <b>Descrição hidroestratigráfica</b> | <b>Aquífero do Norte</b>   | <b>Aquífero do Sul</b>   | <b>Camadas</b>                 |
|--------------------------------------|--|--|--------------------------------|
| <b>Granulometria</b>                 | Areia fina com matéria orgânica  | Areia fina com matéria orgânica  | Camada aquífera - Topo         |
|                                      | Areia fina a média   | Areia fina bem seleccionada  | Camada aquífera- Zona saturada |
| <b>Composição textural</b>           | Arenosa  | Arenosa  | Camada aquífera                |
| <b>Coloração</b>                     | Amarela a laranja  | Amarela  | Camada aquífera                |
| <b>Espessura</b>                     | Menor que 15m  | Maior que 15 m   |                                |
| <b>Observações</b>                   | Composição mineralógica- presença enriquecida de óxidos de ferro, como a goethita, Biotite, piroxenas e minerais ferromagnesianos. | Composição mineralógica- composta principalmente por minerais claros, como o quartzo, feldspatos e apresenta uma espessura de 3 metros | Camada aquífera                |
| <b>Tipos de aquíferos</b>            | Aquífero livre   | Aquífero livre   |                                |

A descrição hidroestratigráfica dos dois sistemas de aquíferos a profundidades deferentes, foi essencial na obtenção do nível freático regional, pois acompanha a topografia do Arquipélago, bem como, a caracterização geológica de cada uma das camadas aquíferas, podendo tirar as suas composições mineralógicas e texturais.

Podendo mostrar a distribuição espacial dos dados das perfurações dos dois sistemas aquíferos permitindo a compreensão tanto da magnitude como da evolução temporal hidrogeológica dos aquíferos. Em vista geológica, os dados da perfuração mostraram uma correlação clara dos dois sistemas de aquíferos, pois os dois apresentam o mesmo Bedrock (calcoarenito), e as formações geológicas responsáveis pelos aquíferos são de areias de dunas regionais, onde foram colocados os poços e os furos, como mostra a figura 16.



**Figura 16:** Distribuição espacial dos dois sistemas de aquíferos.

### 5.3. HIDROQUÍMICA

Para além da utilização dos dados hidrogeológicos (os dados dos ensaios de infiltração para obtenção da taxa de Infiltração) e hidroestratigráficos (perfurações) para identificação dos dois sistemas dos aquíferos, sendo os dados insuficientes para a delimitação dos dois sistemas de aquíferos, explorando a hidroquímica local (a qualidade da água) devido a problemática da existência de alto teor de Fe (Ferro) nas águas subterrâneas de um dos dois sistemas de aquíferos locais.

A qualidade da água mostrou uma distinção entre os dois sistemas de aquíferos (Tabela 1), e permitindo a delimitação dos tais sistemas (Figura 19) baseado no enriquecimento do elemento Fe, onde o sistema mais enriquecido em Fe (alto teor de Ferro) foi o aquífero designado por aquífero do Norte, onde o alto teor de Fe, encontra-se localizado da região da Ponta Estone até a região da Ponta Goane (na grande Ilha de Bazaruto). Enquanto, o outro sistema menos enriquecido em Fe (baixo teor de Ferro) designado por sistema de aquífero do Sul, sendo o mesmo limitado a partir da Ponta Goane até o Oceano Índico.

Comparando a qualidade de água (os teores de Fe) e fazendo a correlação com outras ilhas a Sul da Ilha do Bazaruto, obtém-se a extensão do aquífero do Sul partindo da Ponta da Goane até a Ilha Bangué, isso antes da deriva continental e dispersão do Super continente Gondwana, em conjunto com a abertura dos

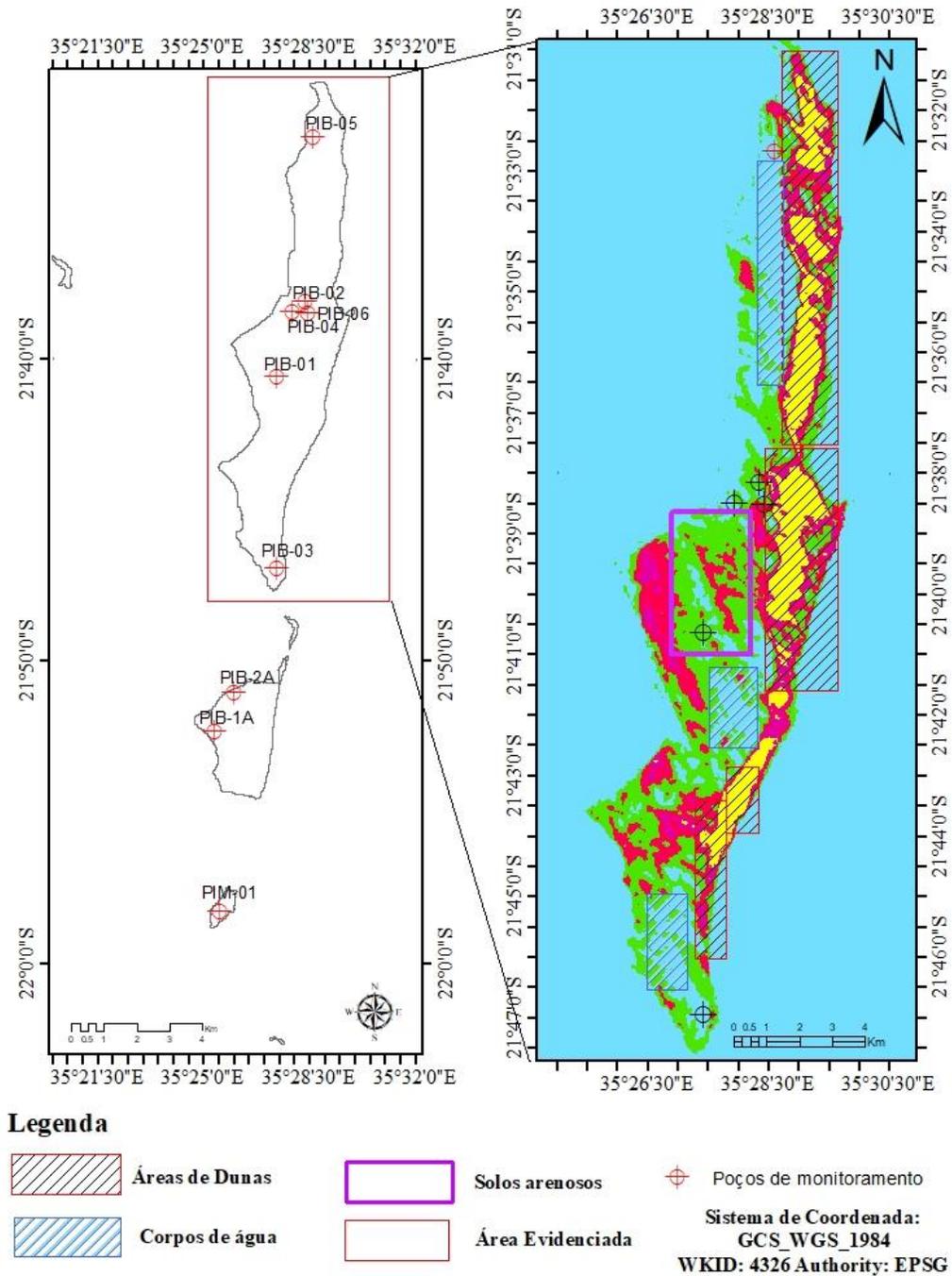
oceanos Índico e Atlântico Sul, pois nesse momento encontra-se afastado, mas no ponto de vista hidrogeológico, as formações geológicas são mesmas que do sistema do aquífero do Sul.

Para a confirmação dos limites dos dois sistemas dos aquíferos, mediu-se a condutividade eléctrica, onde o aquífero que ocorre no Norte mostrou um alto valor da condutividade eléctrica que varia de 90,6 a  $99,5 \times 10^3 \mu\text{s/m}$ , isso devido possivelmente ao alto teores de Fe dissolvidos naquela água contida no aquífero, partindo da região da Ponta Estone até a Ponta Goane, enquanto que o aquífero do Sul, possuía baixos valores da condutividade eléctrica variando de 218 a 246  $\mu\text{s/m}$ , confirmando a presença de um outro sistema de aquífero, menos enriquecido em Fe (Tabela 02).

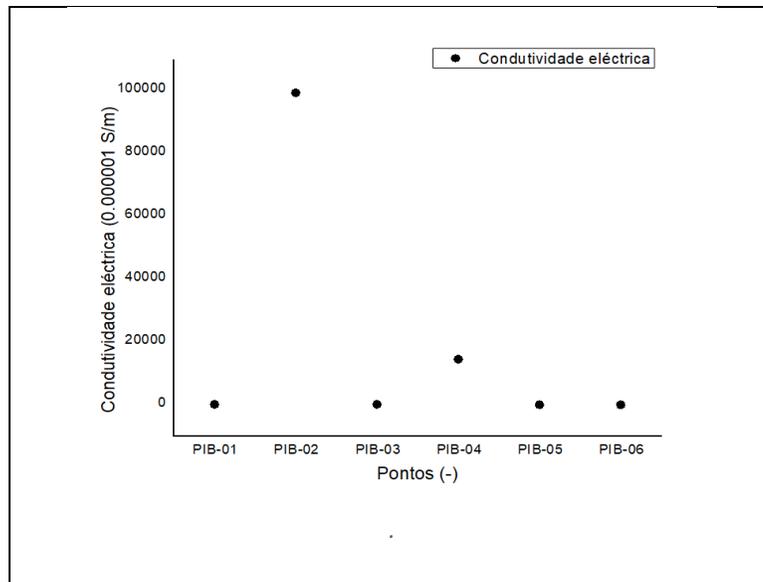
Na tabela a seguir, os pontos PIB-02, PIB-04, PIB-05, e PIB-06 representa condutividade eléctrica do aquífero do Norte, enquanto que PIB-01 e PIB-03 são do aquífero do Sul, como um procedimento de distinção entre os dois sistemas de aquíferos, e delimitação dos mesmos.

**Tabela 02:** Dados da condutividade eléctrica adquiridas pelo condutivímetro no campo.

| <b>Pontos</b> | <b>Condutividade eléctrica<br/>(<math>\mu\text{s/m}</math>)</b> |
|---------------|---|
| <b>PIB-01</b> | 218   |
| <b>PIB-02</b> | $99,5 \times 10^3$  |
| <b>PIB-03</b> | 246   |
| <b>PIB-04</b> | $14,62 \times 10^3$   |
| <b>PIB-05</b> | 144,7   |
| <b>PIB-06</b> | 90,6  |



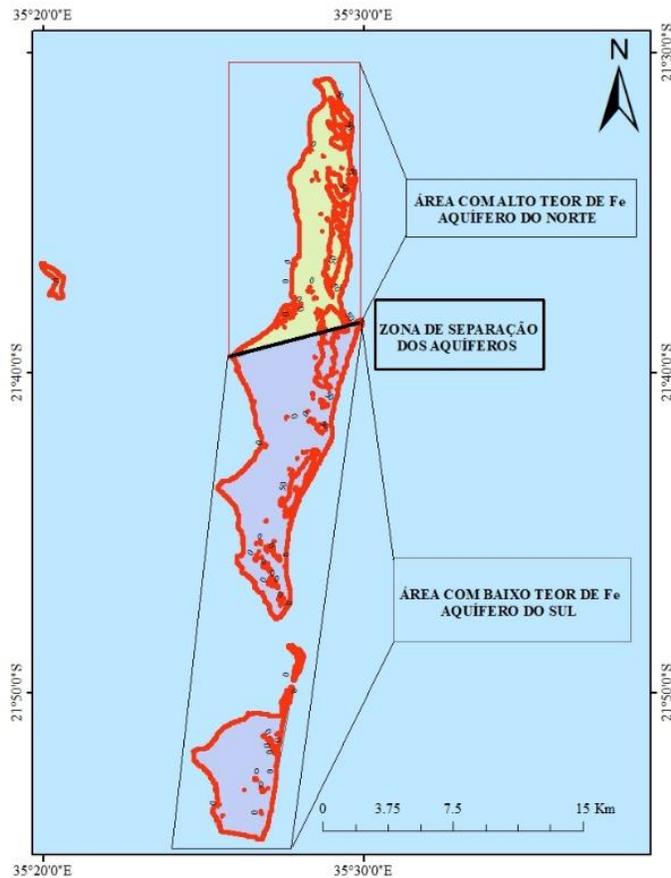
**Figura 17:** Distribuição espacial dos dados da condutividade eléctrica adquiridas nos dois sistemas de aquíferos no Arquipélago (Fonte: Autor)



**Figura 18:** Gráfico da dispersão de dados de condutividade.

Os dados adquiridos revelam uma variação significativa na qualidade da água, refletindo as diferenças entre os dois sistemas de aquíferos estudados. Essa dispersão é especialmente notável nos níveis de sais e ferro dissolvidos, que estão presentes nas águas em função da influência marinha na região.

A proximidade dos aquíferos com o ambiente costeiro intensifica essa influência, resultando em uma maior concentração desses elementos, que pode afetar tanto a qualidade da água quanto os ecossistemas locais, pois a presença de sais, como sódio e cloreto, pode ser decorrente da intrusão salina, um fenômeno comum em áreas costeiras onde a água do mar se mistura com a água subterrânea. Além disso, a concentração de ferro dissolvido pode estar relacionada à oxidação de minerais presentes no solo e nas rochas que compõem os aquíferos. Quando a água que flui através desses materiais encontra condições anaeróbicas, o ferro se dissolve, podendo ser transportado para os corpos hídricos.



**Figura 19:** Mapa da zona de separação dos aquíferos baseado no enriquecimento do elemento Fe (Fonte: Autor).

#### 5.4. GEOFISICA

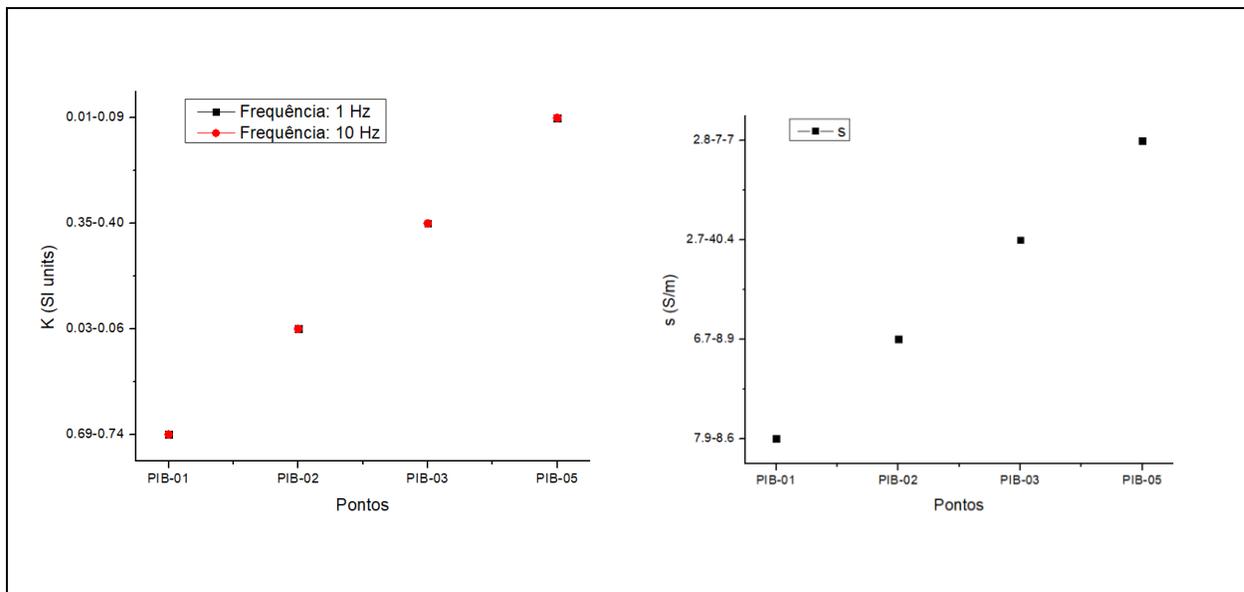
Há conformidade nos resultados de interpretação com base nos dados geofísicos nomeadamente a susceptibilidade magnética (adquirida pelo instrumento KT-20) e condutividade (Tabela 03), pois os mesmos confirmaram a presença de dois sistemas de aquíferos. O aquífero do Norte por possuir alto teor de Fe, a medição da susceptibilidade magnética deu resultados de altos níveis, comprovando a existência de uma oxidação do material geológico, isso ocorre devido à interação entre a água subterrânea e os depósitos de areia rica em minerais de ferro, que promovem a cimentação dos grãos de areia e, conseqüentemente, a formação das dunas.

Por sua vez o aquífero do Sul mostrou outros resultados, mais baixos níveis de susceptibilidade magnética, confirmando a não existência da oxidação do material, conseqüentemente mostra pouca

dissolução do Fe na água, e apresenta menores teores de sais dissolvidos e adequado para o consumo humano (Figura 20 e 21).

**Tabela 03:** Os valores de susceptibilidade magnética (K) e condutividade ( $\sigma$ ).

| Pontos | K (SI units)<br>Frequência:<br>1 Hz | K (SI units)<br>Frequência:<br>10 Hz | $\sigma$ (S/m) |
|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| PIB-01 | 0.69-0.74                           | 0.639-0.736                          | 7.9-8.6        |
| PIB-02 | 0.03-0.06                           | 0.44-0.70                            | 6.7-8.9        |
| PIB-03 | 0.35-0.40                           | 0.49-0.68                            | 2.7-40.4       |
| PIB-05 | 0.01-0.09                           | 0.34-0.52                            | 2.8-7.7        |



**Figura 20 e 21:** Gráficos de dispersão de dados de susceptibilidade magnética e condutividade eléctrica.

Há conformidade nos resultados de interpretação com base nos dados geofísicos nomeadamente a susceptibilidade magnética em diferentes frequências (1 e 10 Hz) e resistividade eléctrica com base nos dados da condutividade eléctrica, e níveis de água subterrânea medido em diversos furos de captação de água nos dois sistemas de aquíferos.

### 5.5. PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Os parâmetros foram designados por estudos prévios (Fetter, 2001; Feitosa et al ,2008, Fagundes, Koetz, Rudel, Santos, & Porto, 2012), e com valores adquiridos hidrogeologicamente no campo (Tabela 04), de acordo com a taxa de infiltração das formações geológicas.

**Tabela 04:** Parâmetros Hidrogeológicos dos dois sistemas de aquíferos.

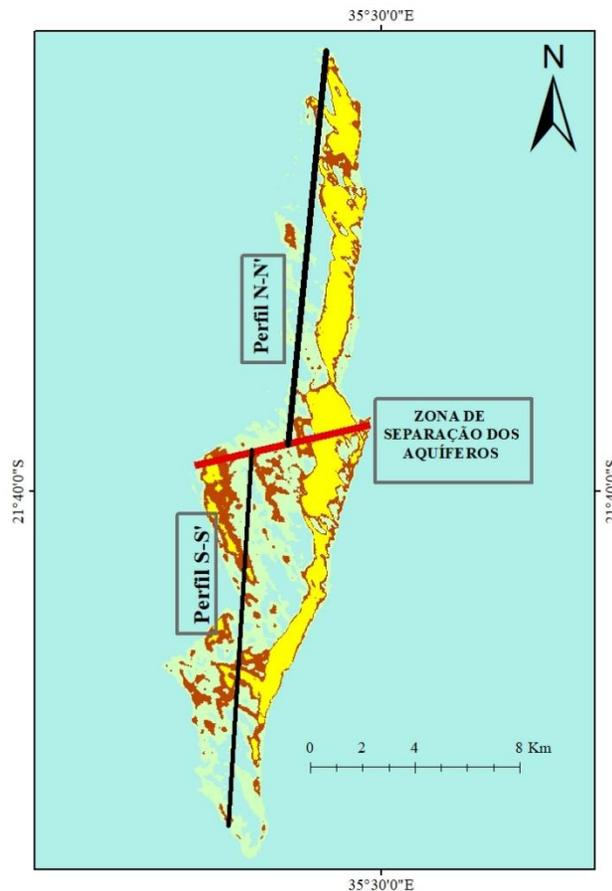
| Tipos De aquíferos | Porosidade (n) | Porosidade efetiva (n <sub>e</sub> ) | Permeabilidade intrínseca (k)                       | Condutividade hidráulica saturada de campo K <sub>sat</sub> (m/h) | Permeabilidade (K) | Vazão (Q) (m <sup>3</sup> /h) | Armazenamento (S) | Transmissividade |
|--------------------|----------------|--------------------------------------|---|---|--------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|
| Aquífero do Norte  | 26-53%         | 1-46%                                | 10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-11</sup> cm <sup>2</sup> | 3.1x10 <sup>-8</sup>  | 35 m/d             | 3-10                          | 25%               | —                |
| Aquífero do Sul    | 26-53%         | 1-46%                                | 10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-11</sup> cm <sup>2</sup> | (5.6-4.6) x10 <sup>-8</sup>                                       | 35 m/d             | 3-10                          | 25%               | —                |

Não existem trabalhos locais específicos sobre o coeficiente de armazenamento dos aquíferos livres da região. No entanto, dados de porosidade efetiva foram atribuídos a esses dois sistemas de aquíferos, do Norte, bem como, aquífero do Sul, atribuindo um valor de 25% para cada um dos sistemas. Com base nesses dados, confirma-se que os aquíferos têm alta capacidade de armazenamento de água e são altamente permeáveis, permitindo que a água flua facilmente através deles.

Os resultados da condutividade hidráulica saturada de campo, mostra que o aquífero do Norte tem maior facilidade de transmitir água, pois os seus valores variam de 4,6 x10<sup>-8</sup> a 5,6 x10<sup>-8</sup> m/h, sendo que o valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando a formação geológica se encontra saturado, o qual influencia todo o processo de utilização dos recursos da água e nos processos de movimento de água. Esse resultado, está directamente relacionado com a taxa de infiltração desse aquífero, pois os poros estão abertos e permitem passagem e retenção de água, isso devido processos de gênese e formação da estrutura da unidade geológica. Enquanto, o aquífero do Sul apresenta um valor menor, igual a 3.1x10<sup>-8</sup> m/h, devido aos seus processos de gênese e formação da estrutura da unidade geológica, confirmando mais uma vez a distinção entre os dois sistemas de aquíferos.

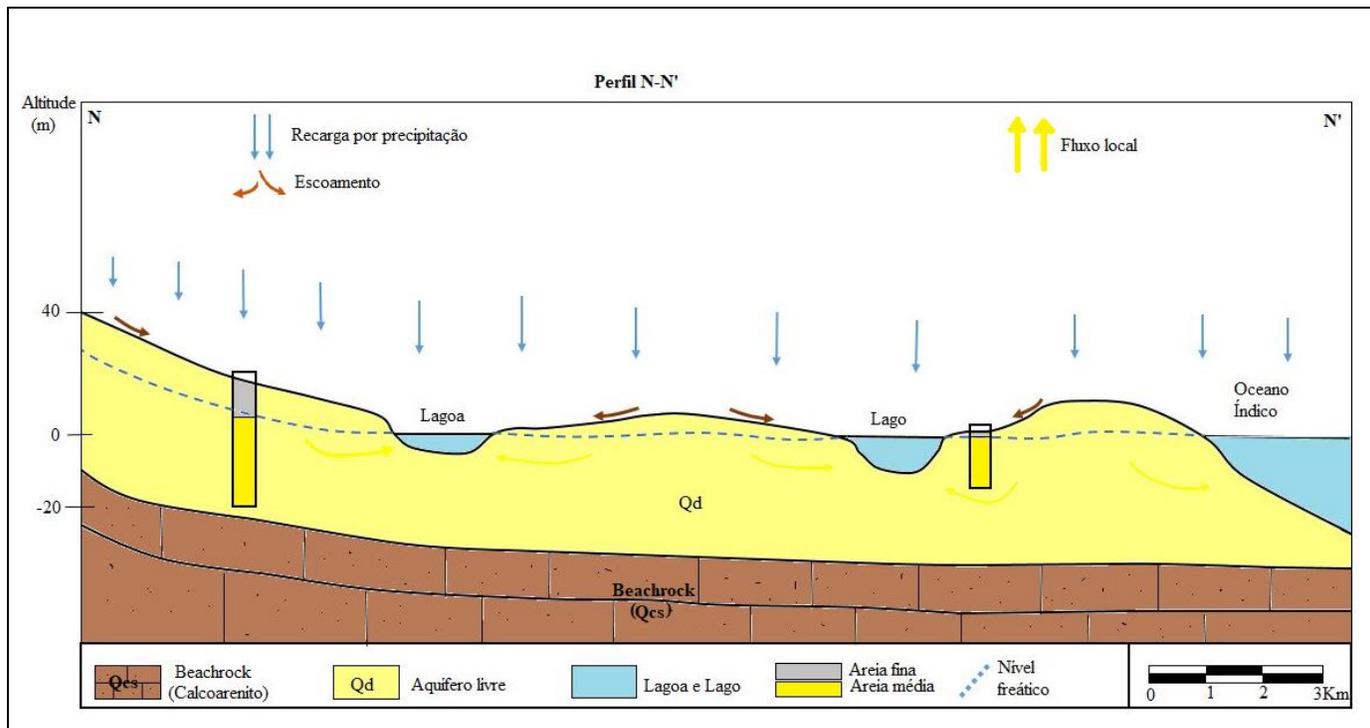
## CAPÍTULO IV: INTERPRETAÇÃO E OS MODELOS RESULTANTES

Na zona de estudo, o MHC foi elaborado em função dos dados hidrogeológicos, hidroquímicos e geofísicos, juntamente com selecção de diferentes perfis, para correlação das informações obtidas, e descrição hidrogeológica detalhada, a partir da construção de 4 perfis, nomeadamente perfil N-N', S-S', S-S1 e S-S2, como mostra as figuras 23,24, 26 e 28.



**Figura 22:** Mapa de perfis dos dois sistemas de aquíferos na Ilha Grande de Bazaruto.

O perfil N-N' atravessa o primeiro sistema de aquífero designado por aquífero do Norte, partindo da Ponta Estone até a zona topograficamente alta com altitudes que varia de 7 a 21 metros da Ponta Goane. Como a recarga desse aquífero dá-se de forma directa por precipitações pluviométricas, sendo que a água da recarga infiltra e percola até a zona saturada e a água que não infiltra, sofre escoamento até as zonas húmidas (zonas de lagos e lagoas). Essas zonas são dominadas pela presença de alto teor de Fe, que causa anomalias na hidroquímica que podem causar inconsistências com o fluxo de água conceptualizados. Esse perfil contém furos de poços de extracção, para análise do comportamento dos níveis piezométricos.



**Figura 23:** Perfil geológico N-N' do sistema de aquífero do Norte na Ilha Grande de Bazaruto.

Os perfis S-S, S-S1, S-S2 atravessam o segundo sistema de aquífero designado por aquífero do Sul, partindo da Ponta Goane até as restantes Ilhas do Arquipélago, localizadas a Sul da Ilha Grande de Bazaruto, embora que actualmente as Ilhas estejam separadas, essas constituem hidrogeologicamente o aquífero do Sul, pois o sistema estava totalmente junto com as restantes Ilhas antes da deriva continental e dispersão do Super continente Gondwana, em conjunto com a abertura dos Oceanos Índico e Atlântico Sul, resultando com o desenvolvimento da Bacia do Sul do Save.

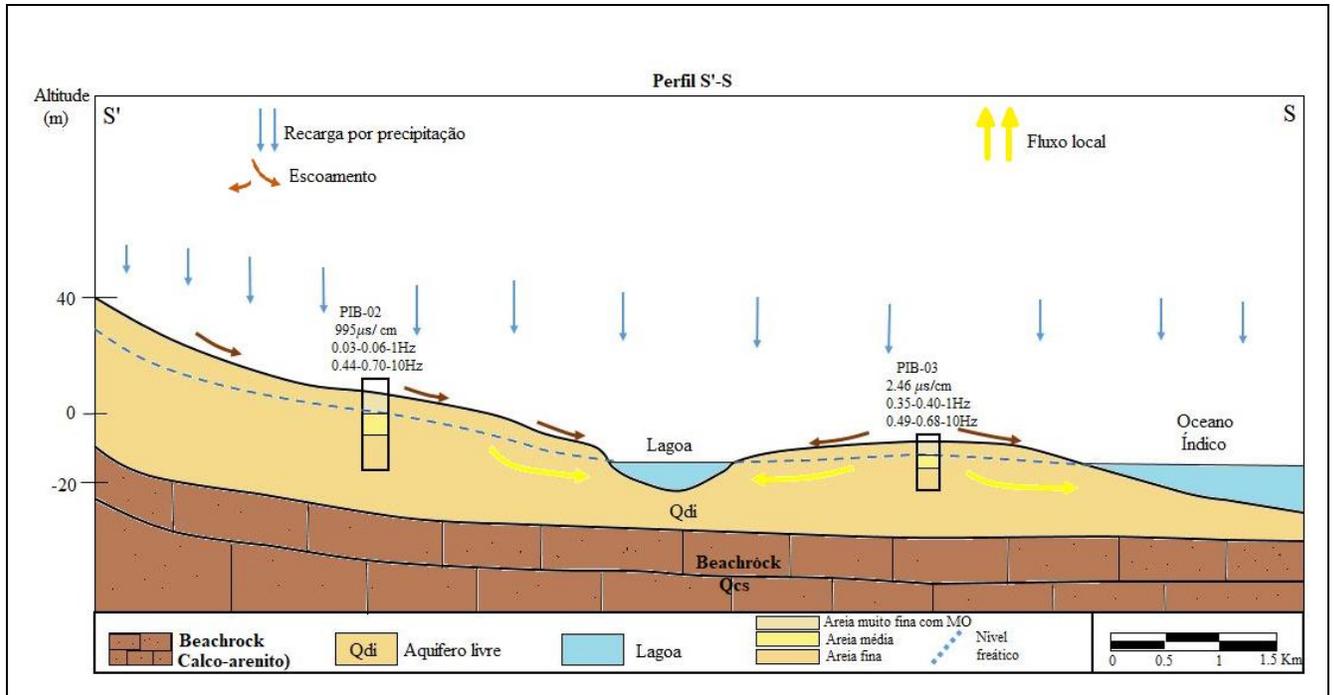


Figura 24: Perfil geológico S-S' do sistema de aquífero do Sul na Ilha Grande de Bazaruto.

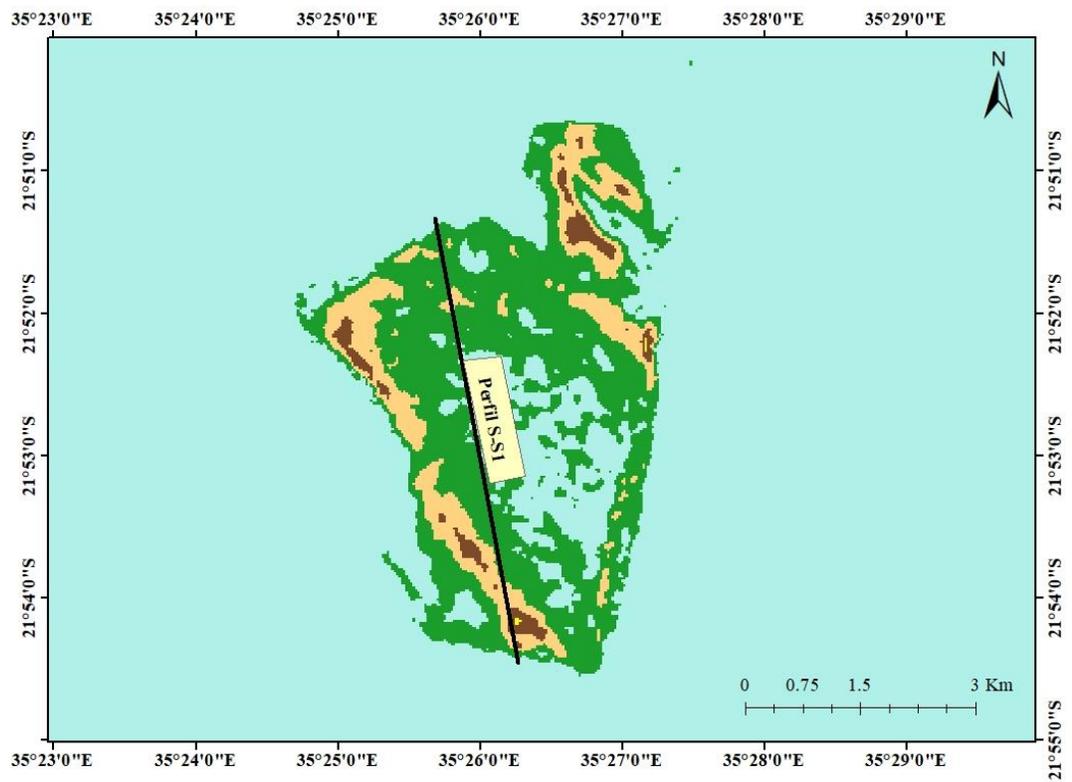
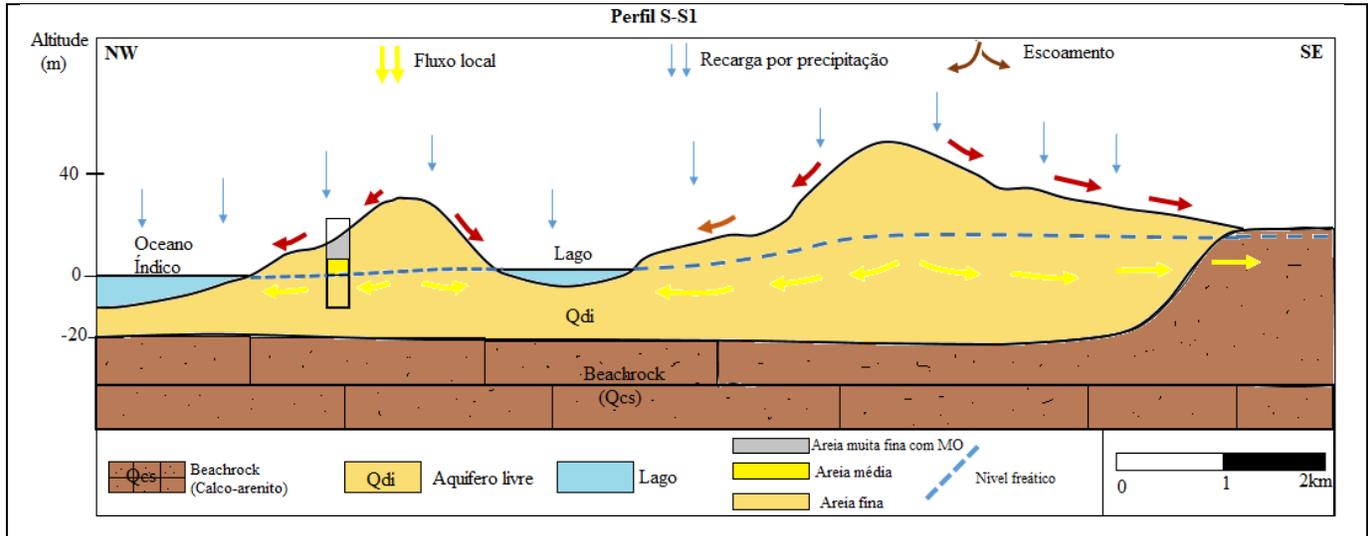
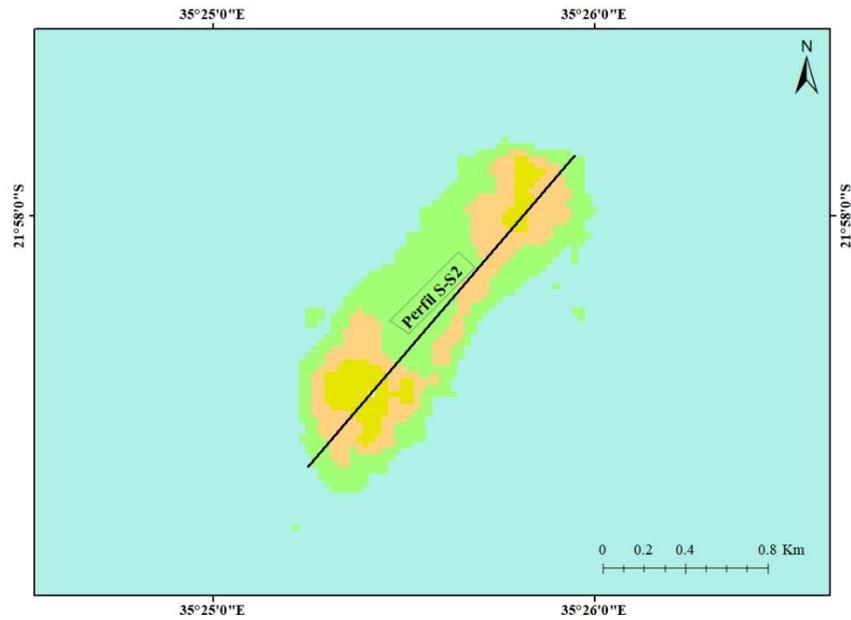


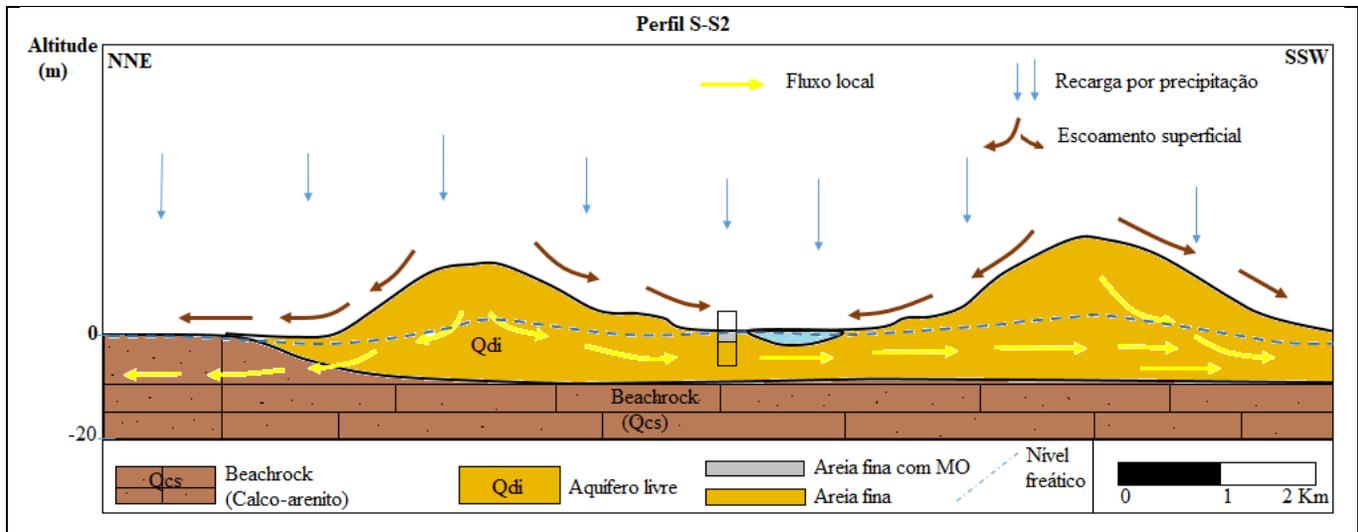
Figura 25: Mapa de perfil da continuação do sistema de aquífero do Sul na Ilha de Benguerra.



**Figura 26:** Perfil geológico S-S1 do sistema de aquífero do Sul na Ilha de Benguerra.



**Figura 27:** Mapa de perfil da continuação do sistema de aquífero do Sul na Ilha de Magaruque.



**Figura 28:** Perfil geológico S-S2 do sistema de aquífero do Sul na Ilha de Magaruque.

Esses modelos representam esquematicamente como funciona a hidrogeologia (entrada e saída) do Arquipélago do Bazaruto. Os dois sistemas de aquífero do Arquipélago apresentam uma complexa arquitectura hidrogeológica, onde a direcção de fluxo de água, segundo Lautze (2009) e Muchanga (2017) indicam que a direcção do fluxo da água subterrânea no Arquipélago de Bazaruto, flui predominantemente de este (E) para oeste (W), seguindo a inclinação geral da superfície freática em direcção ao mar, mas devido as mudanças que vem afectando a região, em termos climáticos e deposicionais (formação e remoção de dunas), identificou-se através de estudos hidrogeológicos preliminares no campo, uma outra direcção do fluxo de água subterrânea no Arquipélago de Bazaruto, com padrão Norte para Sul.

A deposição de materiais com granulometrias diversas resulta na geração de uma anisotropia pronunciada, orientada verticalmente. Esta anisotropia é evidenciada pela formação de diferentes estratos, resultando em variações significativas na permeabilidade em diversas escalas.

Com análise hidrogeológica a escala regional (para os dois sistemas de aquíferos) se pode afirmar que a recarga de cada um dos aquíferos, dá-se em qualquer ponto de cada sistema, e analisando com detalhe, as zonas húmidas (lagos e lagoas) também recarregam esses aquíferos em tempo de estiagem, e em tempo chuvoso, são fontes de descarga local.

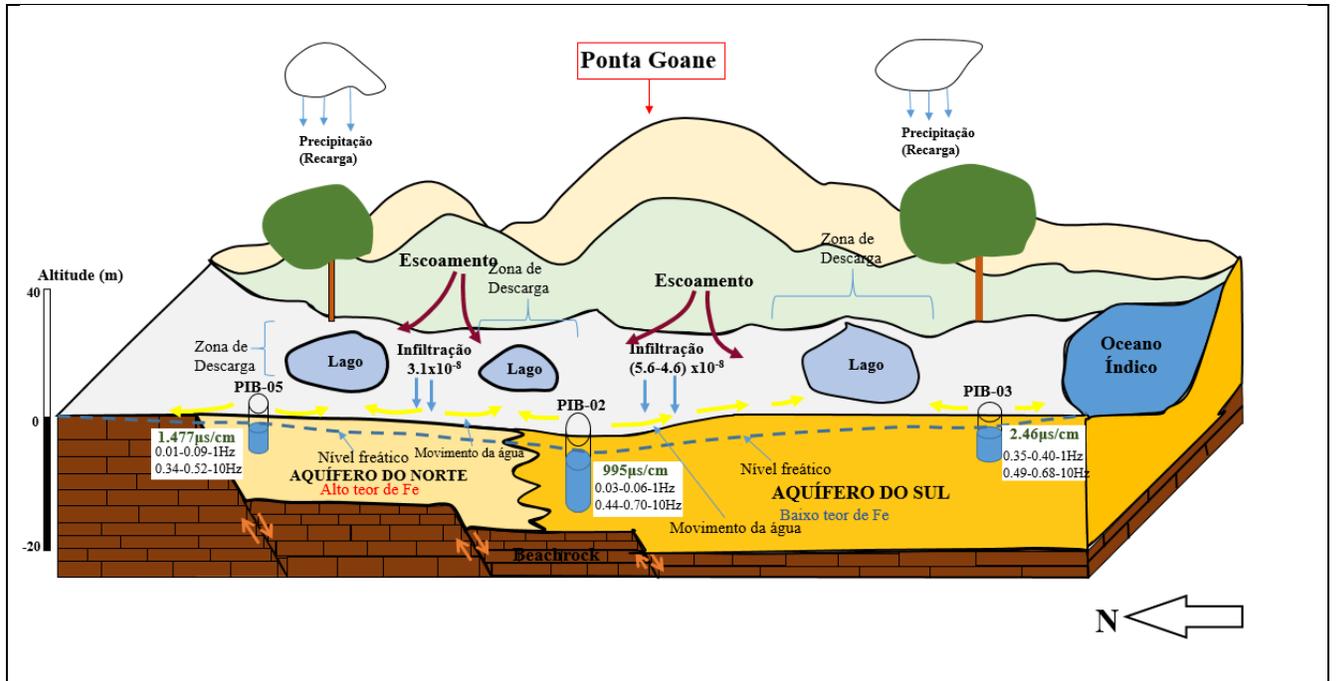


Figura 29: Modelo Hidrogeológico conceptual da Ilha Grande de Bazaruto.

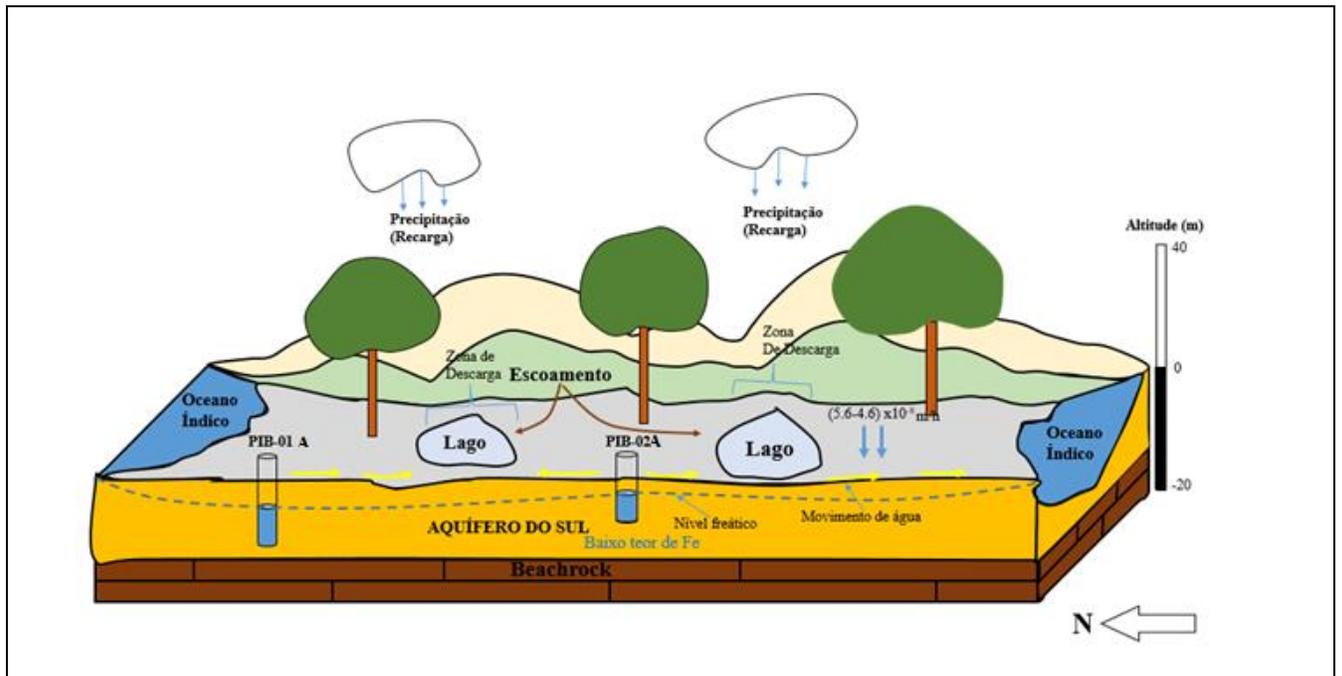
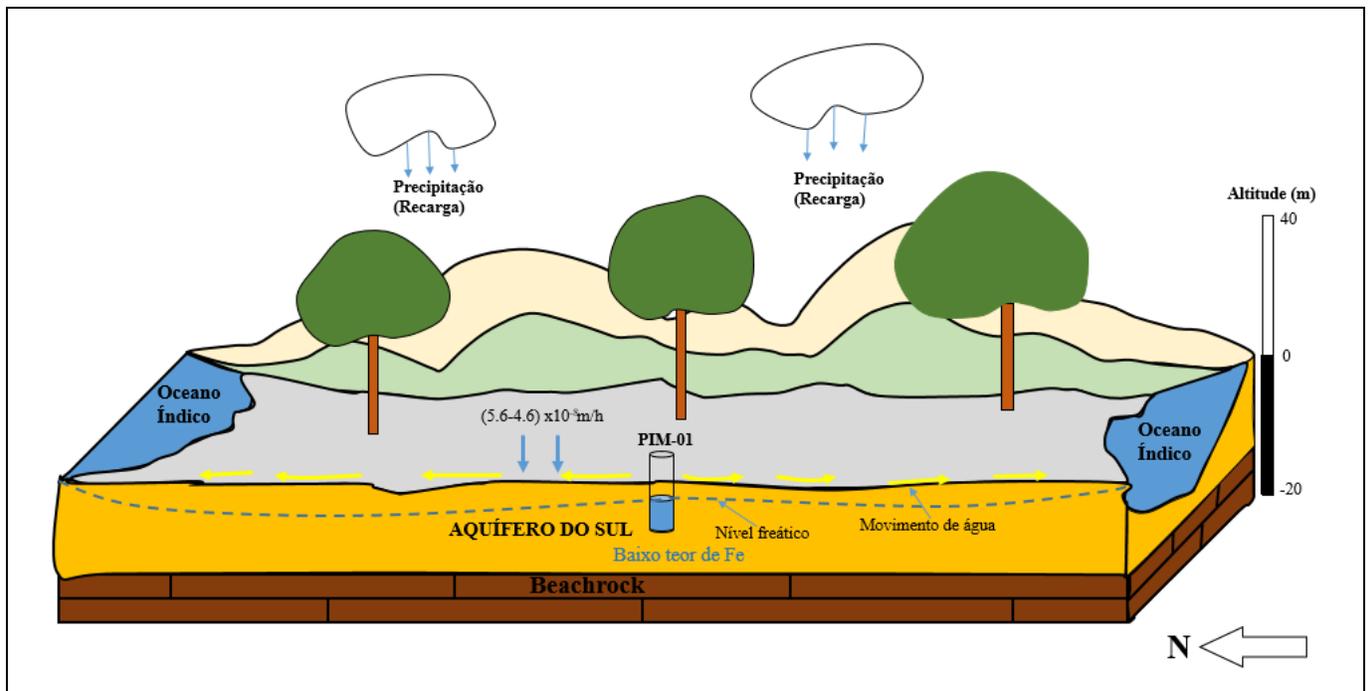


Figura 30: Modelo Hidrogeológico conceptual da Ilha de Benguerra.



**Figura 31:** Modelo Hidrogeológico conceptual da Ilha de Magaruque.

O uso do modelo 3D geológico para explicar resumidamente e esquematicamente todos os processos hidrogeológicos que ocorrem nas Ilhas de Bazaruto, Benguerra, Magaruque (Parte do Arquipélago de Bazaruto), constitui uma ferramenta fundamental para a simplificação de todas as informações adquiridas na zona de estudo. As entradas de água nos dois aquíferos modelados são condicionadas pelo regime de precipitação e tipo de formação geológica presente.

As litologias que permitem a recarga dos dois sistemas de aquíferos, são as formações de areias, devido à sua gênese de formação das Ilhas, pois são Ilhas barreiras ou simplesmente Ilhas dunares, as suas formações são essencialmente porosas e boas em armazenar água. A uma escala local, podemos verificar que a taxa de infiltração do primeiro aquífero era menor, e conseqüentemente que a sua recarga ocorre lentamente, isso devido à gênese da litologia presente, comparativamente com o segundo aquífero. As saídas de água no modelo, têm-se dado por meio de poços e Lagos ou Lagoas, isso condicionando aparentemente os níveis piezométricos, que se mostra diferentes no Arquipélago.

## CAPÍTULO V: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo, visando atender os objetivos propostos neste estudo, serão expostos e analisados os resultados obtidos a partir do Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC). A caracterização das zonas de recarga e descarga revela-se essencial para a gestão e compreensão destas áreas e explicar a possibilidade de conexão da água subterrânea com os corpos de água superficial. Adicionalmente, será abordada a evolução natural da qualidade de água em diferentes unidades geológicas, e finalmente apresentar esquemas de Modelos Hidrogeológicos Conceptuais, a partir de perfis conceptuais que permitem melhor entendimento dos componentes descritos.

O Arquipélago de Bazaruto está localizado dentro de uma formação geológica constituída por sistemas de dunas, que contêm formações do quaternário, como areias e sedimentos, que apresenta uma porosidade primária. Essas formações denominados Qd e Qdi, constituem aquíferos livres, os quais são delimitados em áreas diferentes: O primeiro estende-se desde o Farol da Ilha de Bazaruto até Ponta Goane, o segundo abrange a região de Ponta Goane até Ponta Dundo e as demais Ilhas ao Sul do Arquipélago, que eventualmente estavam juntas antes da fragmentação.

A área em estudo possui uma distribuição estratigráfica caracterizada por estratos horizontais, com variações granulométricas significativas, abrangendo areias finas a grossas. O estrato de maior competência, descrito como unidade intermédia, constituída por material de areia fina a grossa, com características mineralógicas diferentes dos outros estratos, indicando ser a zona saturada dos dois aquíferos. A mineralogia dos dois aquíferos é bastante distinta, evidenciado pela coloração divergente do material geológico encontrado nas perfurações realizadas ao longo do estudo.

Quando observado os dados de hidrogeologia, nota-se que a velocidade de infiltração básica da água no solo em estudo, foi bastante diferente nos aquíferos. Esses dois aquíferos embora possuam o mesmo aspecto textural, os seus resultados de velocidade infiltração básica são diferentes, tendo para o primeiro um valor de  $0,8683 \text{ cm.min}^{-1}$  e o segundo um outro valor diferente de  $0.5550 \text{ cm.min}^{-1}$ , confirmando a distinção dos aquíferos. Segundo Netto et al. (2008), estes solos podem ser classificados como extremamente rápidos, já que o mesmo encontra-se acima dos  $200 \text{ mm.h}^{-1}$ . Neste mesmo sentido, Bernardo et al. (2008) relacionam a textura dos solos com as suas respectivas VIB's, enquadrado como solos de texturas arenosas.

Este modelo apresenta duas direcções de fluxo, uma de N-S e outra de E-W, derivadas da disposição espacial das dunas costeiras. O padrão N-S corresponde ao o aquífero do Sul, enquanto que a orientação E-W corresponde ao aquífero do Norte. A formação Qd pertencente ao Aquífero do Norte apresenta alto teor de ferro devido a dissolução do mesmo material geológico que contém minerais máficos portadores de ferro, nomeadamente Biotite, Pirite, piroxenas e Anfíbolos, que fazem parte da mineralogia das formações sedimentares, provenientes dos processos de erosão das rochas adjacentes, podendo ser transportados por correntes marinhos e depositados em ambientes costeiros. Em contraste, a formação Qdi apresenta teor mais baixo devido à fraca dissolução do material. A recarga das duas unidades aquíferas opera-se principalmente meio de precipitações pluviométricas (chuvas) com diferença entre a precipitação média anual e a evapotranspiração, menos de 612 mm, havendo um défice de humidade negativo.

Os lagos exercem um papel significativo na descarga das águas subterrâneas e na recarga dos aquíferos durante períodos secos, com a água superficial infiltrando-se nos aquíferos com fluxo subterrâneo em direcção ao Oceano Índico. A caracterização hidroquímica da área de estudo é realizada em diferentes pontos, localizados sobre o aquífero Norte e Sul. O aquífero que ocorre no Norte manifesta elevada conductividade eléctrica, variando de 90,6 a  $99,5 \times 10^3 \mu\text{s}/\text{m}$  devido ao alto teor de Fe dissolvido, enquanto o aquífero do Sul revela conductividades mais baixas variando de 218 a 246  $\mu\text{s}/\text{m}$ , resultantes de dissolução limitada do Ferro. A presença de ferro na zona Norte do Arquipélago de Bazaruto pode ser atribuída à composição mineralógica do substrato local, frequentemente caracterizado pela predominância de minerais ferruginosos. Ademais processos pedogenéticos e erosivos actuantes na área podem promover a concentração de partículas de ferro, resultando na sua ocorrência nas dunas.

O presente estudo analisou 4 perfis geológicos, designadamente perfil N-N, S-S', S-S1 e S-S2, em relação aos dois sistemas de aquíferos, com o objectivo de mapear a distribuição granulométrica nos poços perfurados e compreender o comportamento hidrogeológico local. Essa abordagem visa identificar os tipos de materiais geológicos presentes e sua capacidade de armazenamento de quantidades significativas de água.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com resultados alcançados no presente projecto científico, são retiradas as seguintes conclusões:

- O Modelo Hidrogeológico Conceptual da área de estudo revela a presença de dois sistemas de aquíferos livres denominados Qd e Qdi, compostos por areias de granulometria fina com composição química e mineralógica diferentes;
- Ao Norte da Ilha de Bazaruto, o aquífero tem uma espessura inferior a 15 m, limitada pela sua extensão até Ponta Goane, enquanto o aquífero situado ao Sul tem uma espessura superior, excedendo os 15 m mencionados anteriormente, especialmente evidente na área que se estende de Ponta Goane até as Ilhas adjacentes. Além disso, o aquífero que ocorre no Norte manifesta elevada condutividade eléctrica, variando de 90,6 a  $99,5 \times 10^3 \mu\text{s/m}$  devido ao alto teor de Fe dissolvido, enquanto o aquífero do Sul revela condutividades mais baixas variando de 218 a 246  $\mu\text{s/m}$ , resultantes de dissolução limitada do Fe;
- O aquífero do Norte, regista alta taxa de infiltração de  $5 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  devido a sua natureza textural arenosa enquanto o aquífero do Sul, mostra valor distinto de  $4 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ , apesar da semelhança na textura, devido a factores como compactação do solo, humidade inicial do solo, a estrutura do solo e a composição mineral. O MHC revela que o aquífero do Norte demonstra uma maior capacidade de transmitir água, com valores de condutividade hidráulica oscilando entre  $4,6 \times 10^{-8}$  a  $5,6 \times 10^{-8} \text{ m/h}$ , enquanto que o aquífero do Sul apresenta um valor menor, igual a  $3,1 \times 10^{-8} \text{ m/h}$ , devido aos seus processos de génese e formação da estrutura da unidade geológica, confirmando mais uma vez a distinção entre os dois sistemas de aquíferos.
- A recarga das duas unidades aquíferas opera-se principalmente meio de precipitações pluviométricas, com os lagos desempenhando um papel significativo na descarga das águas subterrâneas e na época seca recarregam os aquíferos;
- O fluxo da água no aquífero do Norte, segue um padrão do E-W, associado a dunas internas enquanto o aquífero do Sul exhibe um outro padrão N-S, relacionado a disposição espacial das dunas costeiras;
- Contrariando o entendimento actual, o estudo revela a existência de duas unidades de areias, responsáveis pela formação de aquíferos (Qd, Qdi), e uma representando o substrato rochoso (Qcs), conforme o Modelo Hidrogeológico Conceptual.

À luz das conclusões deste estudo, surgem importantes recomendações para direcções futuras de pesquisa:

- Abertura de furos profundos (mais de 20m) para promover um melhor conhecimento das unidades litológicas.
- Cadastro e actualização das informações dos poços existentes na região.
- Realização de um modelo hidrogeológico numérico para confirmação dos resultados nesse modelo acima.
- Monitoria constante dos níveis de água subterrânea e implementar medidas de gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos;
- Na execução de furos públicos, a obrigatoriedade da entrega de relatórios deve ser exigida, não apenas ao proprietário do terreno, mas também à junta da freguesia onde o terreno está localizado.

## BIBLIOGRAFIA

- (s.d.). Obtido de <http://snirh.pt/junior/agsub/imagens/aquífero.png>
- Al-Aswad, A., & Al-Bassam, A. (1997). Proposed hydrostratigraphic classification and nomenclature: Application to the Palaeozoic in Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*.
- Almeida, L., de, R. L., Rodrigues, A., & Campos, J. (2006). Hidrogeologia do estado de Goiás e Distrito Federal. Série geologia e Mineração nº 1. Goiânia-GO: Secretaria da Indústria e Comércio SIC.
- Ambiental, M. p. (Junho de 2012). Perfil ambiental e Mapeamento do Uso Actual da Terra nos Distritos da Zona Costeira de Moçambique. Província de Inhambane: Impacto.
- Ambiente, M.-M. d. (2007). Águas Subterrâneas- Um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília : DF.
- Anderson, M., & Woessner, W. W. (1992). Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. London: Academic Press, Inc.
- Andrade, J. A. (2019). Balanço hídrico do solo pelo método de Thornthwate-Mather e classificação racional dos climas de Thornthwate . Évora : Universidade de Évora .
- Batista, D. F., & Sousa, F. A. (2015). AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SOBRE CONDIÇÕES DE COBERTURA POR CERRADO E PASTAGEM . *Revista Electrónica do Curso de Geografia*, 9-11.
- Bernabé, A. E. (2006). UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COMO FORMA DE GANHO DE COMPETITIVIDADE E DISPONIBILIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA A POPULAÇÃO. Rio de Janeiro.
- Bernardo, S., Soares, A. A., & Mantovani, E. (2006). Manual de irrigação. Viçosa: 8. Ed. Atual. e Ampl.
- Bianchi, L., & Marques, J. d. (1984). Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos na RMF Fase I – Fatores Condicionantes, Fortaleza – Ceará. AUMEF – SEPLAN/CE, 30.
- Borges, P. F. (2019). Hidrogeologia de ilhas vulcânicas: caso de estudo da ilha Graciosa (Açores). Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Bredehoeft, J. (2005). The conceptualization model problem - surprise. *Hydrogeol J.*, 37-46.
- Cândido, E. G. (2018). Modelagem Hidrogeologica Aplicada à análise de transporte de contaminantes: Estudo prospectivo da propagação de contaminação em aquífero livre poroso. Belo Horizonte.
- Carvalho, V. E. (2013). Modelagem hidrogeologica de uma sub-bacia hidrográfica da Zona de Minas Gerais. Minas Gerais-Brasil.
- Cavalcanti, M. (2002). A modelagem matemática associada ao sistema de informação geográfica como instrumento de previsão no estudo do impacto hidrogeologico de reservatórios. São Paulo: Tese (Doutoramento em Recursos Minerais e Hidrogeologia)-Universidade de São Paulo .
- Cleary, R. (1989). Águas Subterrâneas . Princeton Groundwater Inc.
- Cutrim, A. (2021). Método de avaliação de vulnerabilidade natural, antrópica e total de aquífero Van.

- Everett, B., Elst, R. v., & Schleyer, M. (2008). A Natural History of the Bazaruto Archipelago, Mozambique . South Africa: Oceanographic Research Institute.
- Fagundes, E. A., Koetz, M., Rudel, N., Santos, S. d., & Porto, R. (2012). DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO E VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA PELO MÉTODO DE INFILTRÔMETRO DE ANEL EM SOLO DE CERRADONO MUNICÍPIO DE RONDONÓPOLIS-MT. Rondonópolis – Brasil: Universidade Federal do Mato Grosso.
- Feitosa, F. A., Filho, J. M., Feitosa, E. C., & Demetrio, J. G. (2008). HIDROGEOLOGIA: CONCEITOS E APLICAÇÕES . Rio de Janeiro : CPRM.
- Feitosa, F. A., Filho, J. M., Feitosa, E. C., & Demetrio, J. G. (2008). HIDROGEOLOGIA: CONCEITOS E APLICAÇÕES . Rio de Janeiro: CPRM.
- Feitosa, F., & Filho, J. (2000). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações . Fortaleza: 2º Edição. CPRM/REFO,LABHIDRO-UFPE.
- Fetter, C. (2001). Applied hydrogeology. United States of America: Prentice Hall.
- Fetter, C. (2001). Applied Hydrogeology. Prentice Hall.
- Filho, V. J. (2018). Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquíferos barreiras: Estudo de Caso em Benevides-PA. Belém .
- Fiori, J. P. (2010). Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados. Brasília : Universidade de Brasília .
- Fitts, C. (2002). Groundwater SCIENCE. Academic Press.
- Franke, O., Reilly, T., & Bennett, G. (1987). Definition of boundary and initial conditions in the analysis of saturated ground-water flow systems - an introduction. Techniques of Water-Resources Investigations of the U. S. Geological Survey. Virgínia, USA: Applications of Hydraulics, Books 3: Chapter B5.
- freemeteo. (25 de Dezembro de 2022). Obtido de mz.freemeteo.com: <https://mz.freemeteo.com/clima/Bazaruto-/longterm/monthly/?gid=9035025&mn=1&language=portuguesebr&country=mozambique>
- Gomes, R. M. (2020). Modelo Hidrogeologico conceitual e Analise da Favobibilidade Hidrogeologica do aquífero Carstico na Região Urbano de Sete Lagoas. Ouro Preto.
- Group, F. I. (1998).
- Healy, R., & Cook, P. (2002). Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology, 91-109.
- Heath, R. (1983). Hidrologia básica de água subterrânea. United States: Geological Survey Water Supply Paper 2220.
- J, P. D., & Smith, G. J. (2009). Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology. Academic Press.

- Kruseman, G., & Ridder, N. (2000). Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Amsterdam, Holanda: Second Edition, ILRI.
- Lautze, N. C. (2009). Hydrogeochemistry of the Bazaruto coastal aquifer, Mozambique. *Hydrogeology Journal*. 235-1249.
- Ledesma, P. A. (2016). RELAÇÃO DO ESCOAMENTO DE BASE COM A FISIOGRAFIA E A HIDROGEOLOGIA EM RIO EFLUENTE: RIO GRAVATAÍ/RS. Porto Alegre: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.
- Lopes, D. F. (2017). Modelação da Concentração de Poluentes Agrícolas em Aquífero. Lisboa: Universidade de Lisboa.
- Lousada, S. A., & Camacho, R. F. (2018). Hidrologia, Recursos Hídricos e Ambiente: aulas teóricas. Universidade da Madeira.
- Lousada, S. A., & Camacho, R. F. (2018). Hidrologia, Recursos Hídricos e Ambiente: aulas teóricas. Madeira: Universidade da Madeira.
- Manzione, R. (2015). Águas subterrâneas: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. São Paulo: Jundiáí .
- Manzione, R., Tanikawa, D., & Soldera, B. C. (Fevereiro de 2014). Relação entre a resposta espectral da vegetação em diferentes cultivos e níveis freáticos em área de recarga do sistema aquífero Guarani. *Águas subterrâneas*, 28.
- Mesquita, M. d., & Moares, S. O. (2004). A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. Santa Maria: Ciência Rural.
- Muchanga, P. T. (2017). Geochemical and isotopic assessment of groundwater resources in the Bazaruto Archipelago, Mozambique. *Journal of African Earth Sciences*, 73-83.
- Poehls, D., & Smith, G. (2009). *Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology*. Academic Press.
- Poehls, D., & Smith, G. (2009). *Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology*. Elsevier, Amsterdam.
- Rêbello, L. P., Sênvelo, A., & Brito, P. (s.d.). Geologia da Ilha de Bazaruto: sua importância para a correcta gestão territorial .
- Rebêlo, L., Sênvano, A., Millisse, D., & Brito, P. (2017). A geologia da ilha de Bazaruto- Carta geológica à escala 1:25000. Maputo: Direcção Nacional de Geologia e Energia.
- Rogers, A., & Giacconi, F. (2008). Marine biodiversity in the Bazaruto Archipelago. *Journal of Marine Biology*.
- Santarosa, L. V., & Manzione, R. L. (2017). Modelo Hidrogeológico Conceitual da Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB) em área do Sistema Aquífero Bauru (SAB). *Águas Subterrâneas*, 404-412.
- Santos, L. C. (2019). Estudo sobre a instrumentação de barragens de terra e rejeitos. Uberlândia : Universidade Federal de Uberlândia .

- Scanlon, B., Hearly, R., & Cook, P. (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 18-39.
- Silva, A. (2008). Aspectos meteorológicos e balanço hídrico em um aterro resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro : Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Silva, J. G., Calcavante, I. N., & Lopes, C. R. (s.d.). ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS COSTEIROS - PORÇÃO LESTE DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, CEARÁ. Ceará.
- Souza, R. T. (2010). Aspectos Fundamentais à compreensão da hidrogeologia costeira em uma área de Pontal do Sul-PR. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.
- Vargas, T., Martinez, J., & Tobon, C. (2012). Conceptual Models in: Hydrogeology, Methodology and Results In: Hydrogeology Methodology and Results In: Hydrogeolog.A Global Perspective. Croacia: INTECH.
- Wendland, E. (2003). Modelos matemáticos e métodos numéricos em águas subterrâneas . São Carlos, SP: Universidade de São Paulo.

# Apêndice

**Tabela 05:** Informação dos pontos de amostragem e sua localização.

| Nome do ponto | Coordenadas Geográficas |              | Tipo de ponto | Prof. (m) | N.E (m) |
|---------------|-------------------------|--------------|---------------|-----------|---------|
|               | Latitude: S             | Longitude: E |               |           |         |
| PIB-01        | 21° 40' 37"             | 35° 27' 26"  | PT            | 3,34      | 2,00    |
| PIB-02        | 21° 38' 28"             | 35° 27' 57"  | PT            | 16,00     | 7,5     |
| PIB-03        | 21° 46' 57"             | 35° 27' 25"  | PT            | 10,00     | 1,00    |
| PIB-04        | 21° 38' 31"             | 35° 27' 26"  | AP            | -         | -       |
| PIB-05        | 21° 32' 41"             | 35° 28' 36"  | PT            | 2,36      | 1,15    |
| PIB-06        | 21° 38' 08"             | 35° 28' 21"  | AP            | -         | -       |
| PIB-1A        | 21° 52' 28"             | 35° 25' 29"  | Furo          | 10,00     | 6,68    |
| PIB-2A        | 21° 51' 13"             | 35° 25' 34"  | Furo          | 18,00     | 11,7    |
| PIM-01        | 21° 58' 12"             | 35° 25' 24"  | Furo          | 10,00     | 8,00    |

**Tabela 06:** Dados dos piezômetros.

| Piezômetro | Diâmetro (mm) | Instalado (m) | N.A (m) |
|------------|---------------|---------------|---------|
| PIB-01     | 26            | 3,24          | 2,73    |
| PIB-02     | 26            | 10,00         | 7,50    |
| PIB-03     | 26            | 8,50          | 1,00    |
| PIB-05     | 26            | 1,80          | 1,15    |
| PIB-1A     | 26            | 8,50          | 6,68    |
| PIB-2A     | 26            | 15,00         | 11,70   |
| PIM-01     | 26            | 9,00          | 8,50    |

**Tabela 07:** Determinação da infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração (VI) pelo método do infiltrômetro de anel no **PIB-01 (Ponto da Ilha do Bazaruto-01)**.

| Tempo (s)    |    | Régua (cm) |           | Infiltração    |             | Tempo Acumulad o (T) | Inf. Acum. (I) | X = Log T      | Y = Log I     | XY           | X <sup>2</sup> |
|--------------|----|------------|-----------|----------------|-------------|----------------------|----------------|----------------|---------------|--------------|----------------|
| Acumulado    | DT | Leitura    | Diferença | Acumulada (cm) | VI (cm/min) |                      |                |                |               |              |                |
| 0            | 0  | 11.0       |           |                |             | 0                    |                |                |               |              |                |
| 5            | 5  | 10.5       | 0.5       | 1.0102         | 5.1446      | 5                    | 1.0102         | 0.6989         | 0.0044        | 0.003        | 0.488          |
| 10           | 5  | 10.0       | 0.5       | 1.3557         | 3.4521      | 10                   | 1.3557         | 1.0000         | 0.1322        | 0.132        | 1.000          |
| 15           | 5  | 9.8        | 0.2       | 1.6102         | 2.7335      | 15                   | 1.6102         | 1.1761         | 0.2069        | 0.243        | 1.383          |
| 20           | 5  | 9.5        | 0.3       | 1.8193         | 2.3164      | 20                   | 1.8193         | 1.3010         | 0.2599        | 0.338        | 1.692          |
| 25           | 5  | 9.1        | 0.4       | 2.0000         | 2.0371      | 25                   | 2.0000         | 1.3979         | 0.3010        | 0.420        | 1.954          |
| 30           | 5  | 9.0        | 0.1       | 2.1609         | 1.8342      | 30                   | 2.1609         | 1.4771         | 0.3346        | 0.494        | 2.181          |
| 35           | 5  | 8.6        | 0.4       | 2.3070         | 1.6785      | 35                   | 2.3070         | 1.5441         | 0.3630        | 0.561        | 2.384          |
| 40           | 5  | 8.3        | 0.3       | 2.4415         | 1.5543      | 40                   | 2.4415         | 1.6021         | 0.3877        | 0.621        | 2.566          |
| 45           | 5  | 8.1        | 0.2       | 2.5667         | 1.4524      | 45                   | 2.5667         | 1.6532         | 0.4094        | 0.676        | 2.733          |
| 50           | 5  | 7.9        | 0.2       | 2.6841         | 1.3669      | 50                   | 2.6841         | 1.6990         | 0.4288        | 0.728        | 2.886          |
| 55           | 5  | 7.5        | 0.4       | 2.7949         | 1.2940      | 55                   | 2.7949         | 1.7403         | 0.4464        | 0.777        | 3.029          |
| 60           | 5  | 7.0        | 0.5       | 2.9000         | 1.2308      | 60                   | 2.9000         | 1.7781         | 0.4624        | 0.822        | 3.162          |
| 65           | 5  | 6.8        | 0.2       | 3.0002         | 1.1753      | 65                   | 3.0002         | 1.8129         | 0.4772        | 0.865        | 3.286          |
| 70           | 5  | 6.5        | 0.3       | 3.0961         | 1.1263      | 70                   | 3.0961         | 1.8451         | 0.4908        | 0.906        | 3.404          |
| 75           | 5  | 6.1        | 0.4       | 3.1881         | 1.0824      | 75                   | 3.1881         | 1.8750         | 0.5035        | 0.944        | 3.516          |
| 80           | 5  | 5.7        | 0.4       | 3.2766         | 1.0429      | 80                   | 3.2766         | 1.9031         | 0.5154        | 0.980        | 3.622          |
| 85           | 5  | 5.5        | 0.2       | 3.3620         | 1.0072      | 85                   | 3.3620         | 1.9294         | 0.5266        | 1.016        | 3.722          |
| 90           | 5  | 5.0        | 0.5       | 3.4445         | 0.9746      | 90                   | 3.4445         | 1.9542         | 0.5371        | 1.049        | 3.819          |
| 95           | 5  | 4.8        | 0.2       | 3.5245         | 0.9447      | 95                   | 3.5245         | 1.9777         | 0.5471        | 1.082        | 3.911          |
| 100          | 5  | 4.5        | 0.3       | 3.6021         | 0.9172      | 100                  | 3.6021         | 2.0000         | 0.5566        | 1.113        | 4.000          |
| 105          | 5  | 4.0        | 0.5       | 3.6774         | 0.8918      | 105                  | 3.6774         | 2.0212         | 0.5655        | 1.143        | 4.085          |
| 110          | 5  | 3.0        | 1.0       | 3.7507         | 0.8683      | 110                  | 3.7507         | 2.0413         | 0.5741        | 1.172        | 4.167          |
| <b>TOTAL</b> |    |            |           |                |             |                      | <b>59.5727</b> | <b>36.4277</b> | <b>9.0306</b> | <b>16.09</b> | <b>63.00</b>   |
| <b>MÉDIA</b> |    |            |           |                |             |                      | <b>2.70785</b> | <b>1.6558</b>  | <b>0.4105</b> | <b>0.731</b> | <b>2.861</b>   |

Inicialmente observou-se uma velocidade de infiltração de 5 cm.min<sup>-1</sup> (300 cm.h<sup>-1</sup>) e gradativamente este valor foi diminuindo lentamente no decorrer do tempo, de forma que após 1 minuto e 50 segundos alcançou um valor constante de 0,8683 cm.min<sup>-1</sup> (52 cm.h<sup>-1</sup>) , sendo então este o valor denominado de VIB (Velocidade de Infiltração Básica do solo).

**Tabelas 08:** Classificação dos solos de acordo com a velocidade de infiltração básica:

| TEXTURA DO SOLO         | VIB em mm/h |
|-------------------------|-------------|
| Muito Arenosa           | > 250       |
| Arenosa                 | 25 a 250    |
| Franco-arenosa          | 13 a 76     |
| Franco-arenosa-argilosa | 5 a 20      |
| Franco-argilosa         | 2,5 a 15    |

| SOLO                   | VIB em cm/h |
|------------------------|-------------|
| Solo de VIB muito alta | > 3,0       |
| Solo de VIB alta       | 1,5-3,0     |
| Solo de VIB média      | 0,5-1,5     |
| Solo de VIB baixa      | <0,5        |

**Tabela 09:** Determinação da infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração (VI) pelo método do infiltrômetro de anel no PIB-02 (Ponto da Ilha do Bazaruto-02).

| Tempo (s)    |    | Régua (cm) |           | Infiltração     |             | Tempo Acumulado (T) | Inf. Acum. (I) | X = Log T     | Y = Log I     | XY          | X <sup>2</sup> |
|--------------|----|------------|-----------|-----------------|-------------|---------------------|----------------|---------------|---------------|-------------|----------------|
| Acumulado    | DT | Leitura    | Diferença | Acumula da (cm) | VI (cm/min) |                     |                |               |               |             |                |
| 0            | 0  | 16.5       |           |                 |             | 0                   |                |               |               |             |                |
| 5            | 5  | 16.0       | 0.5       | 0.8089          | 3.7267      | 5                   | 0.8089         | 0.6989        | -0.0921       | -0.06       | 0.488          |
| 10           | 5  | 15.5       | 0.5       | 1.0556          | 2.4314      | 10                  | 1.0556         | 1.0000        | 0.0235        | 0.023       | 1.000          |
| 15           | 5  | 15.1       | 0.4       | 1.2334          | 1.8939      | 15                  | 1.2334         | 1.1761        | 0.0911        | 0.107       | 1.383          |
| 20           | 5  | 15.0       | 0.1       | 1.3774          | 1.5863      | 20                  | 1.3774         | 1.3010        | 0.1391        | 0.181       | 1.692          |
| 25           | 5  | 14.8       | 0.2       | 1.5006          | 1.3856      | 25                  | 1.5006         | 1.3979        | 0.1763        | 0.246       | 1.954          |
| 30           | 5  | 14.6       | 0.2       | 1.6094          | 1.2357      | 30                  | 1.6094         | 1.4771        | 0.2067        | 0.305       | 2.181          |
| 35           | 5  | 14.5       | 0.1       | 1.7075          | 1.1237      | 35                  | 1.7075         | 1.5441        | 0.2324        | 0.358       | 2.384          |
| 40           | 5  | 14.4       | 0.1       | 1.7973          | 1.0350      | 40                  | 1.7973         | 1.6021        | 0.2546        | 0.407       | 2.566          |
| 45           | 5  | 14.0       | 0.4       | 1.8804          | 0.9625      | 45                  | 1.8804         | 1.6532        | 0.2743        | 0.453       | 2.733          |
| 50           | 5  | 13.9       | 0.1       | 1.9580          | 0.9020      | 50                  | 1.9580         | 1.6990        | 0.2918        | 0.496       | 2.886          |
| 55           | 5  | 13.0       | 0.9       | 2.0310          | 0.8506      | 55                  | 2.0310         | 1.7403        | 0.3077        | 0.535       | 3.029          |
| 60           | 5  | 12.6       | 0.4       | 2.1000          | 0.8062      | 60                  | 2.1000         | 1.7781        | 0.3222        | 0.573       | 3.162          |
| 65           | 5  | 12.0       | 0.6       | 2.1655          | 0.7674      | 65                  | 2.1655         | 1.8129        | 0.3356        | 0.608       | 3.286          |
| 70           | 5  | 11.5       | 0.5       | 2.2280          | 0.7331      | 70                  | 2.2280         | 1.8451        | 0.3479        | 0.641       | 3.404          |
| 75           | 5  | 11.0       | 0.5       | 2.2878          | 0.7026      | 75                  | 2.2878         | 1.8750        | 0.3594        | 0.674       | 3.516          |
| 80           | 5  | 10.5       | 0.5       | 2.3452          | 0.6752      | 80                  | 2.3452         | 1.9031        | 0.3702        | 0.705       | 3.622          |
| 85           | 5  | 10.1       | 0.4       | 2.4004          | 0.6505      | 85                  | 2.4004         | 1.9294        | 0.3803        | 0.734       | 3.722          |
| 90           | 5  | 9.5        | 0.6       | 2.4537          | 0.6280      | 90                  | 2.4537         | 1.9542        | 0.3898        | 0.762       | 3.819          |
| 95           | 5  | 9.0        | 0.5       | 2.5052          | 0.6074      | 95                  | 2.5052         | 1.9777        | 0.3988        | 0.789       | 3.911          |
| 100          | 5  | 8.5        | 0.5       | 2.5550          | 0.5885      | 100                 | 2.5550         | 2.0000        | 0.4074        | 0.814       | 4.000          |
| 105          | 5  | 8.0        | 0.5       | 2.6033          | 0.5710      | 105                 | 2.6033         | 2.0212        | 0.4155        | 0.840       | 4.085          |
| 110          | 5  | 7.4        | 0.6       | 2.6502          | 0.5550      | 110                 | 2.6502         | 2.0413        | 0.4233        | 0.864       | 4.167          |
| <b>TOTAL</b> |    |            |           |                 |             |                     | <b>36.4277</b> | <b>6.0558</b> | <b>11.055</b> | <b>62.9</b> | <b>63.00</b>   |
| <b>MÉDIA</b> |    |            |           |                 |             |                     | <b>1.6558</b>  | <b>0.2752</b> | <b>0.5025</b> | <b>2.8</b>  | <b>2.86</b>    |

Nesse ponto da Ilha de Bazaruto, observou-se uma velocidade de infiltração de aproximadamente 4 cm.min<sup>-1</sup> (240 cm.h<sup>-1</sup>) no início e gradativamente este valor foi diminuindo lentamente no decorrer do tempo, de forma que após 1 minuto e 50 segundos alcançou um valor constante de 0.5550 cm.min<sup>-1</sup>, sendo então este o valor denominado de VIB (Velocidade de Infiltração Básica do solo).

**Tabelas 10:** Classificação dos solos de acordo com a velocidade de infiltração básica:

| TEXTURA DO SOLO         | VIB em mm/h |
|-------------------------|-------------|
| Muito Arenoso           | >250        |
| Arenosa                 | 25 a 250    |
| Franco-arenosa          | 13 a 76     |
| Franco-arenosa-argilosa | 5 a 20      |
| Franco-argilosa         | 2,5 a 15    |

| SOLO                   | VIB em cm/h |
|------------------------|-------------|
| Solo de VIB muito alta | > 3,0       |
| Solo de VIB alta       | 1,5-3,0     |
| Solo de VIB média      | 0,5-1,5     |
| Solo de VIB baixa      | <0,5        |

**Tabela 11:** Determinação da infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração (VI) pelo método do infiltrômetro de anel no PIB-02A (Ponto da Ilha de Benguerra-2A).

| Tempo (s)    |    | Régua (cm) |           | Infiltração    |             | Tempo Acumulad o (T) | Inf. Acum. (I) | X = Log T      | Y = Log I     | XY          | X <sup>2</sup> |
|--------------|----|------------|-----------|----------------|-------------|----------------------|----------------|----------------|---------------|-------------|----------------|
| Acumulado    | DT | Leitura    | Diferença | Acumulada (cm) | VI (cm/min) |                      |                |                |               |             |                |
| 0            | 0  | 20.5       |           |                |             | 0                    |                |                |               |             |                |
| 5            | 5  | 20.7       | 0.2       | 0.5955         | 4.1257      | 5                    | 0.5955         | 0.6989         | -0.2251       | -0.16       | 0.488          |
| 10           | 5  | 20.9       | 0.2       | 0.8885         | 3.0780      | 10                   | 0.8885         | 1.0000         | -0.0513       | -0.05       | 1.000          |
| 15           | 5  | 21.1       | 0.2       | 1.1229         | 2.5932      | 15                   | 1.1229         | 1.1761         | 0.0503        | 0.059       | 1.383          |
| 20           | 5  | 21.5       | 0.4       | 1.3258         | 2.2963      | 20                   | 1.3258         | 1.3010         | 0.1225        | 0.159       | 1.692          |
| 25           | 5  | 22.0       | 0.5       | 1.5081         | 2.0896      | 25                   | 1.5081         | 1.3979         | 0.1784        | 0.249       | 1.954          |
| 30           | 5  | 22.2       | 0.2       | 1.6755         | 1.9345      | 30                   | 1.6755         | 1.4771         | 0.2241        | 0.331       | 2.181          |
| 35           | 5  | 22.4       | 0.2       | 1.8314         | 1.8127      | 35                   | 1.8314         | 1.5441         | 0.2628        | 0.406       | 2.384          |
| 40           | 5  | 22.6       | 0.2       | 1.9782         | 1.7132      | 40                   | 1.9782         | 1.6021         | 0.2963        | 0.475       | 2.566          |
| 45           | 5  | 23.0       | 0.4       | 2.1174         | 1.6299      | 45                   | 2.1174         | 1.6532         | 0.3258        | 0.539       | 2.733          |
| 50           | 5  | 23.1       | 0.1       | 2.2502         | 1.5590      | 50                   | 2.2502         | 1.6990         | 0.3522        | 0.598       | 2.886          |
| 55           | 5  | 23.4       | 0.3       | 2.3775         | 1.4974      | 55                   | 2.3775         | 1.7403         | 0.3761        | 0.655       | 3.029          |
| 60           | 5  | 23.6       | 0.2       | 2.5000         | 1.4434      | 60                   | 2.5000         | 1.7781         | 0.3979        | 0.708       | 3.162          |
| 65           | 5  | 23.8       | 0.2       | 2.6182         | 1.3954      | 65                   | 2.6182         | 1.8129         | 0.4180        | 0.758       | 3.286          |
| 70           | 5  | 24.1       | 0.3       | 2.7327         | 1.3523      | 70                   | 2.7327         | 1.8451         | 0.4366        | 0.806       | 3.404          |
| 75           | 5  | 24.6       | 0.5       | 2.8437         | 1.3135      | 75                   | 2.8437         | 1.8750         | 0.4539        | 0.851       | 3.516          |
| 80           | 5  | 25.0       | 0.4       | 2.9517         | 1.2781      | 80                   | 2.9517         | 1.9031         | 0.4701        | 0.895       | 3.622          |
| 85           | 5  | 25.5       | 0.5       | 3.0569         | 1.2458      | 85                   | 3.0569         | 1.9294         | 0.4853        | 0.936       | 3.722          |
| 90           | 5  | 26.0       | 0.5       | 3.1594         | 1.2161      | 90                   | 3.1594         | 1.9542         | 0.4996        | 0.976       | 3.819          |
| 95           | 5  | 27.0       | 1.0       | 3.2596         | 1.1886      | 95                   | 3.2596         | 1.9777         | 0.5132        | 1.014       | 3.911          |
| 100          | 5  | 27.7       | 0.7       | 3.3576         | 1.1631      | 100                  | 3.3576         | 2.0000         | 0.5260        | 1.502       | 4.000          |
| <b>TOTAL</b> |    |            |           |                |             |                      | <b>44.1508</b> | <b>32.3652</b> | <b>6.1127</b> | <b>11.2</b> | <b>63.0</b>    |
| <b>MÉDIA</b> |    |            |           |                |             |                      | <b>2.2075</b>  | <b>1.6183</b>  | <b>0.3056</b> | <b>0.56</b> | <b>3.15</b>    |

Já na Ilha de Benguerra, inicialmente observou-se uma velocidade de infiltração de  $4 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $240 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ ) e gradativamente este valor foi diminuindo lentamente no decorrer do tempo, de forma que após 1 minuto e 40 segundos alcançou um valor constante de  $1,1631 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ , sendo então este o valor denominado de VIB (Velocidade de Infiltração Básica do solo).

**Tabelas 12:** Classificação dos solos de acordo com a velocidade de infiltração básica:

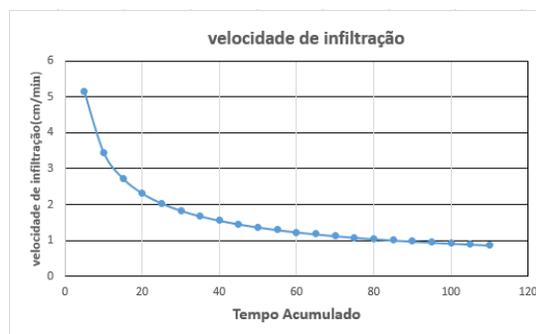
| TEXTURA DO SOLO         | VIB em mm/h |
|-------------------------|-------------|
| Muito Arenoso           | >250        |
| Arenosa                 | 25 a 250    |
| Franco-arenosa          | 13 a 76     |
| Franco-arenosa-argilosa | 5 a 20      |
| Franco-argilosa         | 2,5 a 15    |

| SOLO                   | VIB em cm/h |
|------------------------|-------------|
| Solo de VIB muito alta | > 3,0       |
| Solo de VIB alta       | 1,5-3,0     |
| Solo de VIB média      | 0,5-1,5     |
| Solo de VIB baixa      | <0,5        |

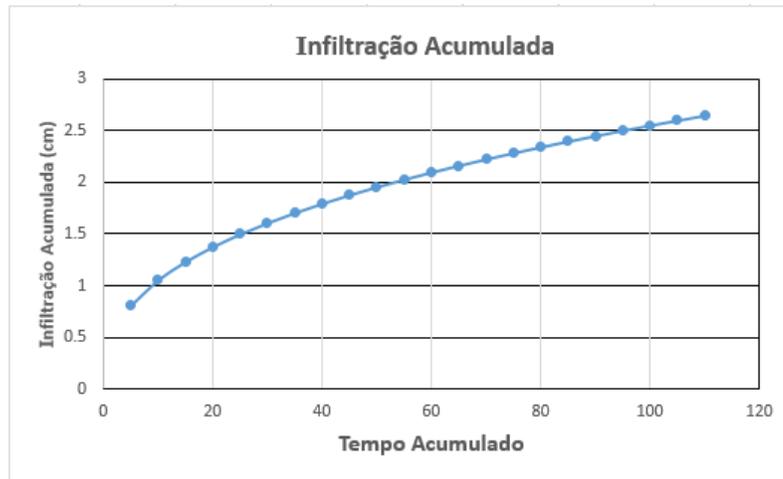
## GRÁFICOS



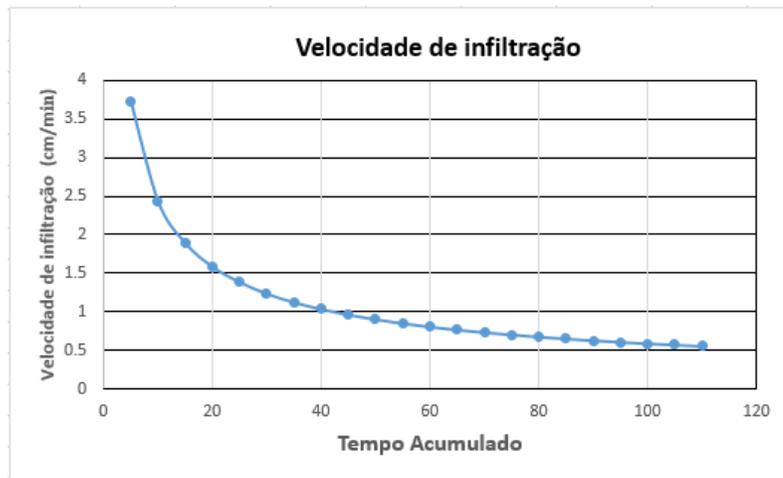
**Figura 32:** Infiltração acumulada (cm) no PIB-01 (Ponto da Ilha do Bazaruto-01). Fonte: dados de pesquisa.



**Figura 33:** Velocidade de infiltração da água no solo (cm/min) no PIB-01 (Ponto da Ilha do Bazaruto-01). Fonte: dados de pesquisa.



**Figura 34:** Infiltração acumulada (cm) no PIB-02 (Ponto da Ilha do Bazaruto-02). Fonte: dados de pesquisa



**Figura 35:** Velocidade de infiltração da água no solo (cm/min) no PIB-02 (Ponto da Ilha do Bazaruto-02). Fonte: dados de pesquisa.

# Anexo

## AQUISIÇÃO DE DADOS

Para se testar a capacidade de infiltração do solo ou ensaios de infiltração, foi utilizado: um infiltrômetro de anel (método de anéis concêntricos), cuja a metodologia foi descrita anteriormente.



**Figura 36:** Método de anéis concêntricos usados no teste da capacidade de infiltração. Os dados foram colectados manualmente, de várias formas como por um medidor de nível com sensor eléctrico e alarme (Figura), e em forma de trado manual (Figura).

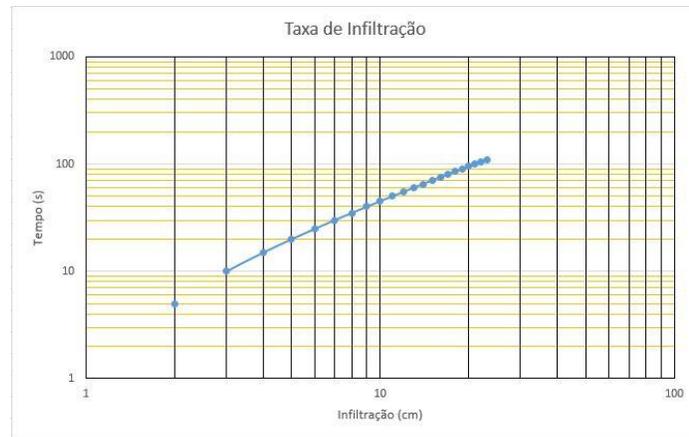


**Figura 37:** A.Sensor de nível; B. Trado manual;

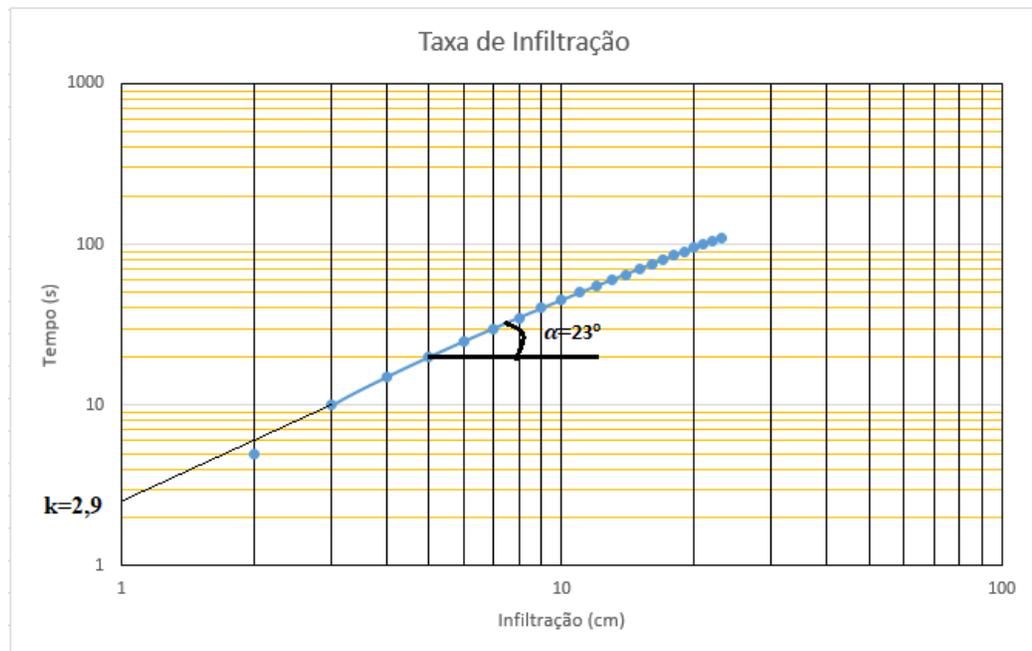
**Tabela 13:** Dados retirados no campo pelo método infiltrômetro de anel para determinação da taxa de infiltração daquele solo no **PIB-01**.

| <b>Tempo (s)</b> | <b>Infiltração (cm)</b> |
|------------------|-------------------------|
| <b>0</b>         | <b>11.0</b>             |
| <b>5</b>         | <b>10.5</b>             |
| <b>10</b>        | <b>10.0</b>             |
| <b>15</b>        | <b>9.8</b>              |
| <b>20</b>        | <b>9.5</b>              |
| <b>25</b>        | <b>9.1</b>              |
| <b>30</b>        | <b>9.0</b>              |
| <b>35</b>        | <b>8.6</b>              |
| <b>40</b>        | <b>8.3</b>              |
| <b>45</b>        | <b>8.1</b>              |
| <b>50</b>        | <b>7.9</b>              |
| <b>55</b>        | <b>7.5</b>              |
| <b>60</b>        | <b>7.0</b>              |
| <b>65</b>        | <b>6.8</b>              |
| <b>70</b>        | <b>6.5</b>              |
| <b>75</b>        | <b>6.1</b>              |
| <b>80</b>        | <b>5.7</b>              |
| <b>85</b>        | <b>5.5</b>              |
| <b>90</b>        | <b>5.0</b>              |
| <b>95</b>        | <b>4.8</b>              |
| <b>100</b>       | <b>4.5</b>              |
| <b>105</b>       | <b>4.0</b>              |
| <b>110</b>       | <b>3.0</b>              |

Para a determinação das constantes dependentes do solo,  $a$  (declividade) e  $k$  (constante dependente do próprio solo), utilizou-se o método gráfico (Papel log-log).



**Figura 38:** Método gráfico para determinação dos coeficientes a e k, onde plota-se os dados I (infiltração) e T (tempo) e traça-se uma recta de melhor ajuste dos pontos.



**Figura 39:** Determinação dos coeficientes a (declividade) e k (constante do solo), usaremos a seguinte abordagem.

$a = \text{tg}\alpha = \text{tg}(23^\circ) = 0,4244 \rightarrow$  o valor da declividade

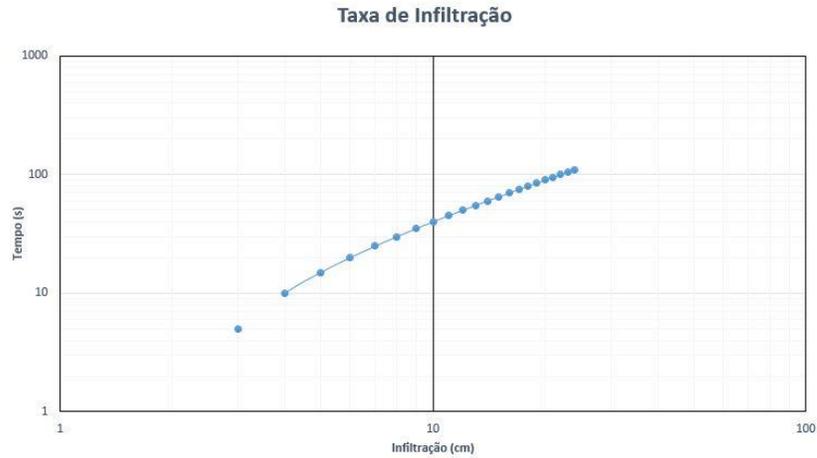
$k = 2,9 \rightarrow$  A constante do próprio solo.

**Equação Potencial (Kostiakov - 1932):**  $I = k \cdot T^a = 2,9 \cdot 1,833^{0,4244} = 3.75$  cm (Infiltração Acumulada).

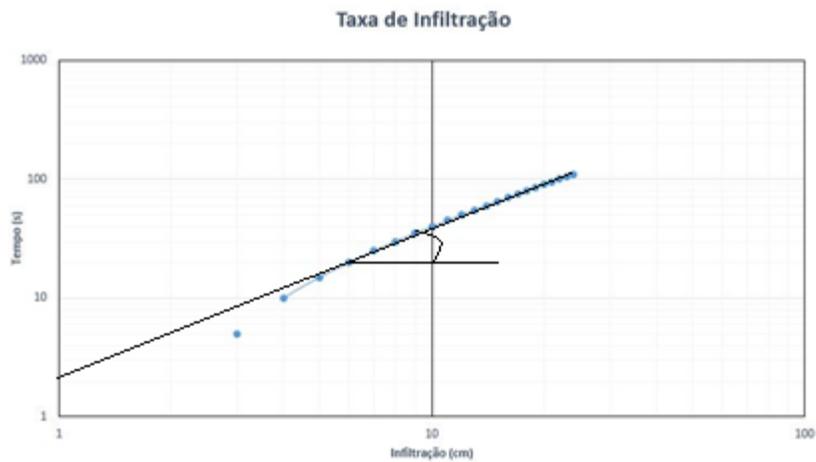
**Tabela 14:** Dados retirados no campo pelo método infiltrômetro de anel para determinação da taxa de infiltração daquele solo no PIB-02.

| <b>Tempo (s)</b> | <b>Infiltração (cm)</b> |
|------------------|-------------------------|
| <b>0</b>         | <b>16.5</b>             |
| <b>5</b>         | <b>16.0</b>             |
| <b>10</b>        | <b>15.5</b>             |
| <b>15</b>        | <b>15.1</b>             |
| <b>20</b>        | <b>15.0</b>             |
| <b>25</b>        | <b>14.8</b>             |
| <b>30</b>        | <b>14.6</b>             |
| <b>35</b>        | <b>14.5</b>             |
| <b>40</b>        | <b>14.4</b>             |
| <b>45</b>        | <b>14.0</b>             |
| <b>50</b>        | <b>13.9</b>             |
| <b>55</b>        | <b>13.0</b>             |
| <b>60</b>        | <b>12.6</b>             |
| <b>65</b>        | <b>12.0</b>             |
| <b>70</b>        | <b>11.5</b>             |
| <b>75</b>        | <b>11.0</b>             |
| <b>80</b>        | <b>10.5</b>             |
| <b>85</b>        | <b>10.1</b>             |
| <b>90</b>        | <b>9.5</b>              |
| <b>95</b>        | <b>9.0</b>              |
| <b>100</b>       | <b>8.5</b>              |
| <b>105</b>       | <b>8.0</b>              |
| <b>110</b>       | <b>7.4</b>              |

Para a determinação das constantes dependentes do solo, **a** (declividade) e **k** (constante dependente do próprio solo), utilizou-se o método gráfico (Papel log-log).



**Figura 40:** Método gráfico para determinação dos coeficientes a e k, onde plota-se os dados I (infiltração) e T (tempo) e traça-se uma recta de melhor ajuste dos pontos, sem favorecer nenhum ponto.



**Figura 41:** Determinação dos coeficientes a (declividade) e k (constante do solo), usaremos a seguinte abordagem.

$a = \text{tg}\alpha = \text{tg}(21^\circ) = 0,3839 \rightarrow$  o valor da declividade

$k = 2,1 \rightarrow$  A constante do próprio solo.

**Equação Potencial (Kostiakov - 1932):**  $I = k \cdot T^a = 2,1 \cdot 1,8333^{0,3839} = 2.7 \text{ cm}$  (Infiltração Acumulada).

**Tabela 15:** Dados retirados no campo pelo método infiltrômetro de anel para determinação da taxa de infiltração daquele solo no **PIB-2A**.

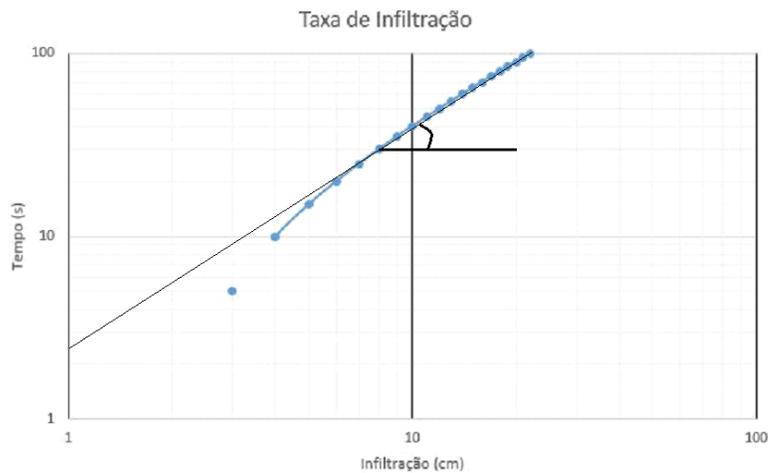
| <b>Tempo (s)</b> | <b>Infiltração (cm)</b> |
|------------------|-------------------------|
| <b>0</b>         | <b>20.5</b>             |
| <b>5</b>         | <b>20.7</b>             |
| <b>10</b>        | <b>20.9</b>             |
| <b>15</b>        | <b>21.1</b>             |
| <b>20</b>        | <b>21.5</b>             |
| <b>25</b>        | <b>22.0</b>             |
| <b>30</b>        | <b>22.2</b>             |
| <b>35</b>        | <b>22.4</b>             |
| <b>40</b>        | <b>22.6</b>             |
| <b>45</b>        | <b>23.0</b>             |
| <b>50</b>        | <b>23.1</b>             |
| <b>55</b>        | <b>23.4</b>             |
| <b>60</b>        | <b>23.6</b>             |
| <b>65</b>        | <b>23.8</b>             |
| <b>70</b>        | <b>24.1</b>             |
| <b>75</b>        | <b>24.6</b>             |
| <b>80</b>        | <b>25.0</b>             |
| <b>85</b>        | <b>25.5</b>             |
| <b>90</b>        | <b>26.0</b>             |
| <b>95</b>        | <b>27.0</b>             |
| <b>100</b>       | <b>27.7</b>             |

Para a determinação das constantes dependentes do solo, **a** (declividade) e **k** (constante dependente do próprio solo), utilizou-se o método gráfico (Papel log-log).



**Figura 42:** Método gráfico para determinação dos coeficientes a e k, onde plota-se os dados I (infiltração) e T (tempo) e traça-se uma recta de melhor ajuste dos pontos.

Determinação dos coeficientes a (declividade) e k (constante do solo), usaremos a mesma abordagem que nos pontos anteriores:



**Figura 43:** Determinação dos coeficientes a (declividade) e k (constante do solo), usaremos a mesma abordagem que nos pontos anteriores.

$a = \text{tg}\alpha = \text{tg}(30^\circ) = 0,577350 \rightarrow$  o valor da declividade

$k = 2,5 \rightarrow$  A constante do próprio solo.

**Equação Potencial (Kostiakov - 1932):**  $I = k \cdot T^a = 2,5 \cdot 1,6667^{0,577350} = 3,35 \text{ cm}$  (Infiltração Acumulada).

### Poços de monitoramento

Os poços de monitoramento, quanto à localização foi feita do seguinte modo:

**PIB-01-** Instalado num ponto distante da perturbação populacional ou qualquer actividade que possa influenciar negativamente na obtenção dos dados, sendo que o poço encontra-se localizado no centro de Poços já existentes, com distancias variando entre 9 a 15 m entre si. A vegetação se faz abundar na zona de modo a verificar a contribuição para processo de Evapotranspiração.

**PIB-02-** Instalado devido a dificuldade de abertura de um novo poço de monitoramento e bem como a fraca produtividade do mesmo para fins desejáveis. Poço implantado encontra-se a 71 m do poço aberto na direcção Leste, tendo perturbações (vulnerável), por se tratar de poços de abastecimento de água populacional, mas não prejudicando a nossa análise de dados.

**PIB-03-** Instalado dentro de uma bomba de abastecimento de água, com um defeito, por isso não tem sido utilizado pela população, e aproveitando do mesmo para o nosso monitoramento.

**PIB-04-** Esse ponto teve utilidade na medição da condutividade hidráulica, para compreender a influência da salinidade nos nossos poços.

**PIB-05-** Implantado numa região onde os níveis de água se encontra elevados e próximo de uma área agrícola e de actividades artesanais, bem como nas proximidades das dunas, são importantes na captação da àquela água local.

**PIB-06-** Esse ponto teve utilidade na medição da condutividade hidráulica.

**PIB-1A-** Instalado dentro de uma bomba de abastecimento de água;

**PIB-2A-** Em igualdade com o ponto anterior, esse foi implantado dentro de uma bomba de abastecimento de água;

**PIM-01-** Instalado dentro de uma bomba de abastecimento de água, com certa importância para as actividades diárias da população;



**Figura 44:** Fotos dos Pontos de amostragem: A.PIB-01; B.PIB-02; C.PIB-03 (Fonte: Google Earth) ; D. PIB-04; E.PIB-1A ; F-PIB-2 A;

Para o revestimento de cada poço ( poços já existentes), foi instalado um tubo de PVC de 50 mm, que equivale a 2 polegadas de diâmetro, no qual foram feitas rachaduras, de sua base até mais ou menos 10 cm de altura, para entrada de água, constituindo uma ponteira filtrante. Essas rachaduras, foram feitas com objectivo de permitir a entrada de água, evitando a entrada do solo na base do poço do monitoramento e na boca foi adicionado uma tampa para que a passagem da água se dê somente pelas rachaduras.



**Figura 45:** Tubo de PVC o: A. Filtro adaptado; B.Tampa;