



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE
TRABALHO DE LICENCIATURA

**MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NAS
TERRAS HÚMIDAS DE MACANETA**

AUTORA:

Mazive, Juliana Stela Sérgio

Supervisor:

Professor Doutor Dinis Juízo Eng.^o

Co-superviosores:

Prof. Dr. Clemêncio Nhantumbo Eng.^o

Lic. Dominic Joaquim, Eng.^o

Lic. Michaque Dosse, Eng.^o

Maputo, Junho de 2023

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE
TRABALHO DE LICENCIATURA

MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NAS TERRAS HÚMIDAS DE MACANETA

Relatório submetido ao
Departamento de Engenharia
Química, Faculdade de Engenharia,
Universidade Eduardo Mondlane,
como requisito parcial para a
obtenção do grau de licenciado em
Engenharia do Ambiente.

AUTORA:

Mazive, Juliana Stela Sérgio

SUPERVISOR:

Professor Doutor Dinis Juízo Eng.º

Maputo, Junho de 2023



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA _____

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante finalista **Juliana Stela Sérgio Mazive** entregou no dia ____/____/2023 as ____ cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura com referência: _____ intitulado:

Mapeamento e quantificação da água subterrânea nas terras húmidas de Macaneta.

Maputo, ____ de _____ de 2023

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Juliana Stela Sérgio Mazive, declaro por minha honra, que o presente relatório académico foi elaborado por mim própria. Não se recorreu a quaisquer outras fontes para além das indicadas, e todos conceitos usados, se encontram adequadamente identificados e citados em conformidade com as convenções normais do regulamento de culminação de cursos de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Junho de 2023

A Autora

Juliana Stela Sérgio Mazive

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Julieta Nicolau Mazive e Sérgio Sebastião Mazive.

A minha amiga, irmã, companheira Joaquina Magaia (em memória).

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me guiado para que pudesse realizar o presente relatório em meio a todas dificuldades.

Agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional e por acreditarem em mim sempre, pela disponibilidade em assistir meu progresso acadêmico.

Agradeço aos meus irmãos, Hélder Mazive, Silvia Mazive, Laura Tivane e Melanie Mazive pelo companheirismo e por estarem ao meu lado sempre.

Agradeço aos meus amigos, Denilson Semo, Teresa Taibo, Fátima Chichava, Carmindo Cossa, Milton Maleiane, Felizarda Romão, Júlio Pinto, José Xavier, Felismina Munguambe, Antonio Manjate pelo apoio incondicional.

Agradeço ao meu companheiro Eduardo Cumbane pelo apoio, amor, compreensão, carinho e apoio incondicional no meu percurso acadêmico.

Agradeço também aos meus supervisores, Professor Dinis Juízo, Prof Clêmcio Nhantumbo, eng Dominic Joaquim e eng Michaque Dosse, pela paciência, contribuição, encorajamento e apoio durante todo processo de elaboração do presente relatório.

Por fim sou grata aos meus colegas de turma, em especial, Jannet Gwambe, Nádia Arcanjo, Gelito Muqueio e Hélio Nhantumbo pelo apoio, conhecimento partilhado e companheirismo ao longo do curso.

EPÍGRAFE

*“Tudo parece impossível
Até que seja feito”
Por Nelson Mandela*

RESUMO

As terras húmidas ocupam cerca de 892.166 hectares em Moçambique e disponibilizam uma série de serviços ecossistémicos, tais como, o desenvolvimento da agricultura que é condicionada pela disponibilidade de água e nutrientes. Na maioria das vezes a água das terras húmidas provem rios quando passam de planícies e/ou da ressurgência da água subterrânea. A retenção de nutrientes é facilitada pelas baixas velocidades de escoamento e vegetação típica das terras húmidas sendo que a variação progressiva nas características agroecológicas aliada a variação do caudal do rio e de descarga das dunas e a superexploração dos recursos hídricos devido ao aumento populacional vêm contribuindo para salinização de áreas destinadas ao desenvolvimento agrícola nas terras húmidas de Macaneta na baixa do Rio Incomati. Já existe alguns estudos que avaliam como o caudal afecta a salinização da baixa do rio Incomati, contudo, estudos sobre a ressurgência da água subterrânea são limitados.

O presente estudo foi realizado no Distrito de Marracuene, Província de Maputo, Moçambique, com o objectivo de estimar o fluxo de água subterrânea para suportar estudos sobre a contribuição da ressurgência para a disponibilidade de água doce nas terras húmidas de Macaneta. Para a quantificação da água subterrânea foi aplicada a metodologia de modelação numérica, e a realização de ensaios de infiltração *in situ* para a zona não saturada e *slugtest* para a zona saturada para a determinação da condutividade hidráulica. Os dados obtidos foram tratados aplicando as equações de Hvorslev e de Bouwer e Rice para a determinação da condutividade hidráulica. A quantificação da água foi feita através da lei de Darcy e por fim, foi elaborado um mapa do fluxo de água subterrânea. As condutividades hidráulicas determinadas pelos métodos de Hvorslev, e Bouwer e Rice estão na ordem de 10^{-6} e 10^{-5} , respectivamente. O caudal de descarga da água subterrânea estimado é de $3.378 \text{ m}^3/\text{h}$ quando se usa a condutividade hidráulica obtida pelo método de Hvorslev e $3.669 \text{ m}^3/\text{h}$ quando se usa a condutividade hidráulica obtida pelo método de Bouwer e Rice, sendo que a inclinação do terreno assim como a composição litológica da área têm influência no caudal de descarga da duna.

Palavras chave: Água subterrânea, *slug test*, disponibilidade.

ABSTRACT

Wetlands occupy approximately 892,166 hectares in Mozambique and provide a series of ecosystem services, such as the development of agriculture, which is conditioned by the availability of water and nutrients. Most of the time wetland water comes from rivers when they pass from plains and/or from groundwater upwelling. The retention of nutrients is facilitated by the low flow speeds and vegetation typical of wetlands, and the progressive variation in agroecological characteristics combined with the variation in river flow and dune discharge and the overexploitation of water resources due to population growth have contributed to salinization of areas intended for agricultural development in the Macaneta wetlands on the lower Incomati River. There are already some studies that evaluate how the flow affects the salinization of the lower Incomati river, however, studies on groundwater upwelling are limited.

The present study was carried out in Marracuene District, Maputo Province, Mozambique, with the aim of estimating groundwater flow to support studies on the contribution of upwelling to freshwater availability in the Macaneta wetlands. For the quantification of groundwater, numerical modeling methodology was applied, and in situ infiltration tests were carried out for the unsaturated zone and slug test for the saturated zone to determine the hydraulic conductivity. The data obtained were treated by applying the Hvorslev and Bouwer and Rice equations to determine the hydraulic conductivity. The quantification of water was done through Darcy's law and finally, a groundwater flow map was prepared. The hydraulic conductivities determined by the methods of Hvorslev, and Bouwer and Rice are in the order of 10^{-6} and 10^{-5} respectively. The estimated groundwater discharge flow is $3,378 \text{ m}^3/\text{h}$ when using the hydraulic conductivity obtained by the Hvorslev method and $3,669 \text{ m}^3/\text{h}$ when using the hydraulic conductivity obtained by the Bouwer and Rice method, and the slope of the land as well as the lithological composition of the area influence the discharge flow of the dune.

Keywords: Groundwater, slug test, availability.

Índice

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iv
Lista de siglas e abreviaturas.....	viii
Lista de figuras.....	ix
Lista de tabelas	x
1. Introdução.....	1
1.1. Objectivos	2
1.1.1. Objectivo Geral.....	2
1.1.2. Objectivos Específicos.....	2
1.2. Metodologia.....	3
2. Revisão bibliográfica.....	5
2.1. Distribuição da água	5
2.2. Escoamento Subterrâneo	6
2.2.1. Aquíferos.....	6
2.3. Factores que influenciam na quantidade de água subterrânea.....	8
2.3.1. Geologia	8
2.3.2. Recarga de água subterrânea	9
2.3.3. Infiltração.....	9
2.3.4. Cobertura vegetal e uso e cobertura do solo.....	10
2.3.5. Topografia	11
2.3.6. Precipitação.....	11
2.3.7. Porosidade	11
2.3.8. Permeabilidade.....	12
3. Área de estudo.....	15
3.1. Descrição geral da área de estudo.....	15
3.1.1. Localização geográfica.....	15
3.1.2. Clima.....	16
3.1.3. Vegetação	16
3.1.4. Características hidrológicas	16
3.1.5. Geologia.....	17
3.2. Enquadramento da área de estudo.....	17
3.2.1. Identificação dos pontos para a realização dos ensaios de permeabilidade	

4. Materiais e métodos.....	19
5. Resultados e discussões	28
5.1. Método de Hvorslev.....	28
5.2. Método de Bouwer & Rice	29
5.3. Ensaio de infiltração	30
5.4. Métodos de Hvorslev Vs Bouwer & Rice Vs ensaios de infiltração	31
5.5. Estimativa do fluxo de água subterrânea	32
5.6. Direcção do fluxo de água subterrânea	34
6. Conclusões	37
Recomendações	37
Referências bibliográficas	39
ANEXOS	42

Lista de siglas e abreviaturas

Cm	Centímetros
cm/s	Centímetros por segundo
DEM	<i>Digital elevation Model</i> (Modelo de elevação digital)
DNA	Direcção Nacional de Águas
K	Condutividade hidráulica ou constante de permeabilidade
Kv	Condutividade hidráulica vertical
Km ²	Quilómetro quadrado
L	Litro
M	Metros
mm	Milímetros
m ³	Metro cúbico
m ³ /h	Metro cubico por hora
NA	Nível de água
S	Segundos

Lista de figuras

Figura 1: Distribuição de água no planeta fonte: Queiroz, 2012.	5
Figura 2: Ciclo hidrológico, fonte: Queiroz, 2012.	6
Figura 3: infiltração e recarga da água subterrânea, fonte: Teixeira et al., 2000. ...	10
Figura 4: perfil esquemático do slug test (onde “rw” é o raio de perfuração do poço, “re” é o revestimento do poço, “b” é a espessura do aquífero). Fonte: Fioril (2010).	13
Figura 5: Esquema do método dos anéis concêntricos para ensaios de infiltração. Q = volume de água inserido, ho = distância do nível de água inicial à superfície do terreno, l= secção cravada no solo e hf = distância do nível de água final à superfície do terreno, Fonte: Fiori, 2010.....	14
Figura 6: Mapa da localização geográfica da área de estudo	15
Figura 7: Mapa da localização das dunas	18
Figura 8: Mapa da localização da área onde foram realizados os ensaios. P1, P2, P3, P4, e P5 são os pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração e os slugtests.	20
Figura 9: geometria e símbolos para um slug test, Fonte: Fetter (2001).....	21
Figura 10: Parâmetros A, B e C em função da razão Le/rw.	22
Figura 11: Geometria do poço para interpretação usando o método de Hvorslev ...	23
Figura 12: Modelo de elevação da área de estudo, fonte: https://ers.cr.usgs.gov/ ..	26
Figura 13: elevação do terreno.	27
Figura 14: Representação dos contornos da área de estudo.....	27
Figura 15: Mapa do fluxo de água subterrânea.....	35

Lista de tabelas

Tabela 1: Classificação dos aquíferos.....	7
Tabela 2: valores da condutividade hidráulica para o método de Hvorslev.....	28
Tabela 3: Valores de condutividade hidráulica para o método de Bouwer e Rice.....	29
Tabela 4: valores da condutividade hidráulica para os ensaios de infiltração	30
Tabela 5: Comparação dos valores de condutividade hidráulica para os diferentes métodos	31
Tabela 6: Serviços ecossistêmicos em Macaneta.....	33

1. Introdução

Para um determinado ecossistema suportar determinada quantidade e diversidade de formas de vida, é necessário que haja certa quantidade de água. Uma vez que as principais fontes de água para manutenção do ecossistema e suprimento de necessidades humanas são os rios (água superficial) e aquíferos (água subterrânea), é de suma importância sua boa gestão. Os aquíferos, em particular, são considerados como uma fonte importante de água devido ao seu surpreendente volume de armazenamento, redução de possibilidade de contaminação e evaporação.

No entanto, a disponibilidade de água propícia ao uso proveniente de rios e aquíferos vem reduzindo nos últimos tempos devido a factores ligados à superexploração e mudanças na precipitação, como pode se verificar em alguns dos principais aquíferos no mundo, como por exemplo o aquífero de Guarani no Brasil, e os aquíferos dispostos ao longo do Médio Oriente que se encontram sob estresse hídrico, e com o fenómeno da intrusão salina cada vez mais notório (Gomes e Pereira, 2015; Barros, 2003).

Problemas como a redução de quantidades de água subterrânea para alimentar os ecossistemas assim como para suprir com as necessidades básicas da comunidade em Macaneta, e também a salinização de áreas que anteriormente eram destinadas para o cultivo de arroz e hortícolas, têm sido reportados pelas comunidades desde o princípio dos anos 90 e estão cada vez mais notórios (Barros, 2003). Por outro lado, há zonas dentro das terras húmidas que não são muito afectadas pelo aumento de salinidade, mesmo que não estejam significativamente distantes do rio e tal se atribuiu à existência de aquíferos (em dunas) com pequenas nascentes e que contribuem para a produção local.

No contexto das terras húmidas de Macaneta, estes motivos para a preservação parcial dos seus serviços são conjecturas e inferências sem conclusões verificáveis pela falta de estudos quantitativos. Desta forma, para poder contribuir para a quantificação das fontes de água para as terras húmidas de Macaneta, este estudo propõe quantificar o caudal de descarga das dunas costeiras.

1.1. Objectivos

1.1.1. Objectivo Geral

O principal objectivo do presente trabalho é estimar o fluxo de água subterrânea para suportar estudos sobre a contribuição da ressurgência para a disponibilidade de água doce nas terras húmidas de Macaneta.

1.1.2. Objectivos Específicos

Como forma de alcançar o objectivo geral foram traçados os seguintes objectivos específicos:

- Determinar a condutividade hidráulica através de ensaios *slugtests* e ensaios de infiltração *in situ*;
- Determinar o fluxo de água subterrânea usando a Lei de Darcy;
- Representar as linhas de fluxo de água subterrânea nas terras húmidas de Macaneta;

1.2. Metodologia

Como forma de alcançar os objectivos traçados, o presente relatório desintegrou-se em quatro partes, onde deu-se início a uma pesquisa aplicada e explicativa afim de identificar, caracterizar e mapear os locais e contribuição de água subterrânea em Macaneta. A área de estudo compreenderá a bacia do rio Incomati, sendo assim propõe-se:

Revisão bibliográfica

A **Revisão Bibliográfica** Consistiu, fundamentalmente, na consulta de manuais, revistas científicas, dissertações que falam da quantificação da água doce proveniente das dunas.

Trabalho de campo

O **Trabalho de Campo**, consistiu na recolha de dados e de informações, e permitiu a realização de testes de infiltração *in situ* (método dos anéis concêntricos) e *slugtests*, afim colher dados que permitam determinar a condutividade hidráulica (K).

Elaboração de mapas

A **Elaboração de mapas** deu-se com o auxílio do software do *ArcGIs* representou-se os pontos em que foram colhidos os dados e mapeou-se as fontes de água subterrânea em Macaneta, fez-se a aplicação do mesmo software para a elaboração do mapa que indica o sentido de fluxo de água subterrânea nas terras húmidas de Macaneta.

Análise e sistematização

A **Análise e Sistematização** da informação, deu-se através da determinação da condutividade hidráulica através dos métodos de Hvorslev e Bouwer & Rice com o auxílio dados exportados do transdutor de pressão (*diver*) para *Excel*, culminando assim na quantificação dos fluxos de água subterrânea proveniente das dunas localizadas ao longo da bacia do rio Incomati com o auxílio da equação que rege a Lei de *Darcy*.

Limitações

A elaboração do presente relatório se deparou com limitações como, a falta de dados referentes a área de estudo, facto que condicionou a elaboração do mapa de disponibilidade de água subterrânea, assim como o défice de trado manual com maior comprimento condicionou a execução dos ensaios de infiltração e slug test in situ na duna interior afim de avaliar a contribuição da mesma para a disponibilidade de água subterrânea.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Distribuição da água

A água é parte integral do planeta Terra, e é o recurso natural mais importante, participa e dinamiza todos os ciclos ecológicos (Tundisi, 2003). Segundo Queiroz (2012), a presença da água em nosso planeta é um dos elementos essenciais para a existência da vida humana e das outras formas de vida que nos acompanham aqui.

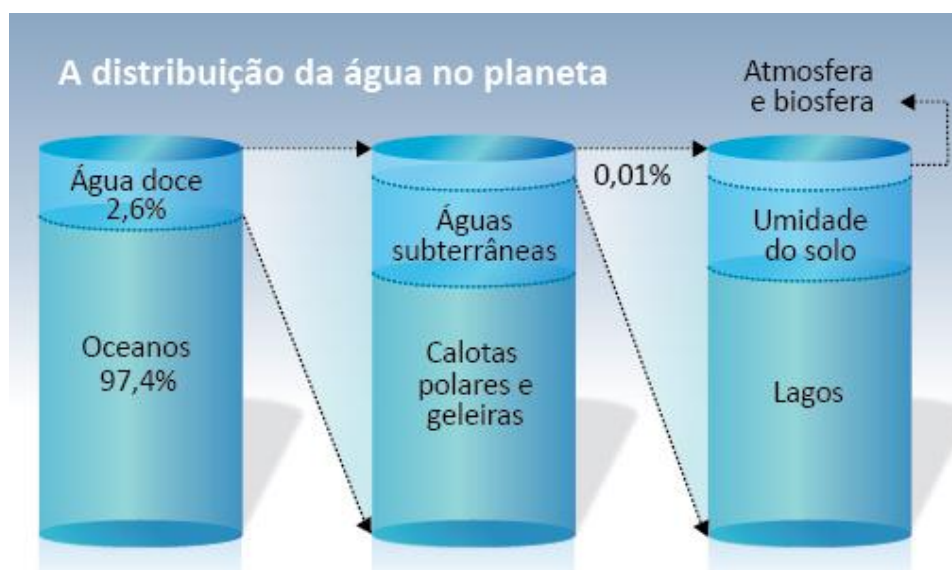


Figura 1: Distribuição de água no planeta fonte: Queiroz, 2012.

A água está principalmente localizada nos oceanos, que ocupam, aproximadamente 350 milhões de quilômetros quadrados, o que corresponde a dois terços da superfície. A partir dos oceanos, a água, numa movimentação contínua, se espalha para toda superfície do planeta, passando pela atmosfera formando um processo que viabiliza essa eterna movimentação da água na Terra que é denominado ciclo hidrológico (Queiroz, 2012).

Este movimento permanente deve-se ao Sol que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera, e à gravidade, que faz com que a água condensada caia em forma de precipitação e que uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos através do escoamento superficial ou se infiltre nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas gerando assim o escoamento subterrâneo (Trece, 2003; Fritzen e Binda, 2011).

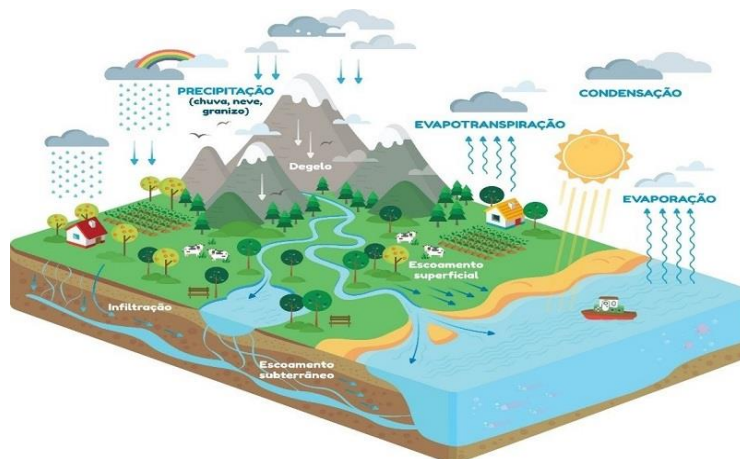


Figura 2: Ciclo hidrológico, fonte: Queiroz, 2012.

2.2. Escoamento Subterrâneo

O escoamento subterrâneo é a componente do ciclo hidrológico que infiltra nos solos através do excesso de precipitação pluviométrica, formando aquíferos que são reserva estratégica, pois minimizam os problemas de falta de água na bacia, sobretudo em época de estiagem (Conicelli, 2014). A entrada, o armazenamento e a circulação de água no solo são processos fundamentais, pois estes são co-responsáveis pelo equilíbrio de vários tipos de ambientes aquáticos, como rios, lagos, áreas húmidas naturais, regiões costeiras, assim como para recarregar os sistemas aquíferos que são o maior recurso de água doce da Terra, o que a torna uma fonte importante para o consumo humano e para o desenvolvimento global de uma região (Suganthi et al., 2013).

Cabral (1985), ressalta que convém lembrar que nem toda água disponível no subsolo pode ser aproveitada devido ao elevado custo de exploração de algumas formações aquíferas ou a dificuldades técnicas causadas por baixa permeabilidade do material poroso e ainda elevadas profundidades, que tornam inviável o seu aproveitamento.

2.2.1. Aquíferos

Aquíferos são formações geológicas que contêm água e permitem que a mesma se movimente em condições naturais e em quantidades significativas sendo que estes

são responsáveis por absorver e produzir quantidades de água subterrânea para poços e nascentes, e também por alimentar rios, lagos, áreas costeiras e zonas húmidas (Vaugh, 2015). Os aquíferos basicamente podem ser classificados de acordo com a sua permeabilidade e porosidade.

Fetter (2001), em seu livro *Applied hydrogeology* descreve e caracteriza os aquíferos de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 1: Classificação dos aquíferos

Classificação		Características
Permeabilidade	Confinado	As camadas porosas superior e inferior são limitadas por camadas impermeáveis.
	Não confinado ou livre	A camada superior ao aquífero é permeável.
Porosidade	Porosos	A água circula através de poros, as formações podem ser detríticas (ex. areias limpas), por vezes consolidadas por um cimento (ex. arenitos).
	Fraturados	A água circula através de fraturas ou pequenas fissuras. As formações podem ser granitos.
	Cársicos	A água circula em condutas que resultam do alargamento de diáclases por dissolução. As formações são os diversos tipos de calcários.

Os aquíferos são nos dias de hoje uma importante fonte de abastecimento urbano, industrial e agrícola. No entanto, estes recursos podem ser afectados, por um lado por problemas relacionados com a sua superexploração, e por outro, por problemas relacionados com a contaminação da água captada. A superexploração está relacionada com os volumes de extração, geralmente elevados, que não sendo compensados pela recarga natural do aquífero, provocam o rebaixamento acentuado do nível piezométrico a nível local e regional. A contaminação dos sistemas aquíferos relaciona-se frequentemente com as fontes de poluição de origem diversa. Sob o ponto de vista mundial, existem 37 aquíferos de grande importância mundial, sendo que 21 deles encontram-se sob condição de *stress*

hídrico, ou seja, com extração de água superior à recarga, sendo que 13 deles apresentam condições consideradas muito críticas (Diamantino, 2005; Gomes e Perreira, 2020).

De acordo com o Boletim da República (2018), a situação dos recursos hídricos subterrâneos em Moçambique não difere da situação global. Apesar de a disponibilidade média da água doce renovável situar-se muito acima dos níveis do chamado stress hídrico, a sua distribuição no espaço e no tempo não é equitativa. Há regiões mais ricas e regiões menos ricas e a maior parte da precipitação e escoamentos ocorre num espaço limitado do ano, mas ainda, a forte dependência de escoamentos gerados fora das fronteiras nacionais torna a situação de algumas regiões muito preocupantes, sendo que a zona sul apresenta a situação mais crítica.

2.3. Factores que influenciam na quantidade de água subterrânea

De acordo com Cabral (1985), os factores que influenciam na quantidade de água subterrânea são a geologia local, a recarga ou continuidade da infiltração a porosidade, a permeabilidade das formações, o movimento da água dentro da região entre os locais de recarga e pontos de descarga.

2.3.1. Geologia

O armazenamento de água depende de factores geológicos, processos que produzem vazios capazes de absorver, transmitir, armazenar e produzir água, sendo que a geologia frequentemente determina a quantidade de água que infiltra abaixo da zona de saturação devido a diversidade de matérias, que variam de rochas até sedimentos inconsolidados, onde rochas porosas podem reter mais água do que rochas densas, por exemplo uma área coberta com rochas vulcânicas que são leves e porosas podem reter um aquífero mais cheio em comparação com uma área coberta com granito ou mármore e solos e/ou sedimentos de ecossistemas com vegetação, florestas e pântanos, têm maiores capacidades para interceptar e absorver a água de recarga (Vaughn, 2015).

Em um sistema sob o domínio de solos ou substratos não consolidados, por exemplo, a recarga tende a ocorrer de forma mais distribuída, nas áreas de

topografia suave, favoráveis à infiltração e à percolação da água até a zona saturada. Em sistemas hidrogeológicos confinados, recarga tende a ser mais localizada, predominante nas áreas de solos rasos e nas bordas expostas dos aquíferos, geralmente localizadas nas encostas e divisores de água (Santos, 2012).

2.3.2. Recarga de água subterrânea

A recarga natural de águas subterrâneas ocorre quando a água da precipitação e do derretimento da neve infiltra no solo, percolando através da zona insaturada e atingindo as áreas saturadas da subsuperfície. Por sua vez, a recarga é provavelmente um dos parâmetros mais importantes no planejamento e gestão de água subterrânea, sendo este um processo hidrológico chave para a manutenção das reservas hídricas subterrâneas e superficiais, e responsável tanto pelo reabastecimento de aquíferos, quanto pela disponibilidade de água em fontes de superfície durante períodos de estiagem (Vaughn, 2015; Lapeña *et al.*, 2018; Santos, 2012).

A recarga do aquífero varia normalmente em resposta aos efeitos climáticos sazonais e de longo prazo. A resposta de um aquífero a uma mudança na taxa de recarga traduz-se por um aumento ou diminuição no gradiente hidráulico através de uma mudança nos níveis piezométricos, o que por sua vez se traduz numa alteração do armazenamento subterrâneo (Diamantino, 2005).

2.3.3. Infiltração

Uma vez atingindo o solo, dois caminhos podem ser seguidos pela água. O primeiro é a infiltração que depende principalmente das características do material de cobertura da superfície e o segundo é a água de infiltração guiada pela força de gravidade que tende a preencher os vazios no subsolo, seguindo em profundidade, onde abastece o corpo de água subterrânea, sendo esta responsável por medir a capacidade útil de armazenamento (Teixeira *et al.*, 2000).

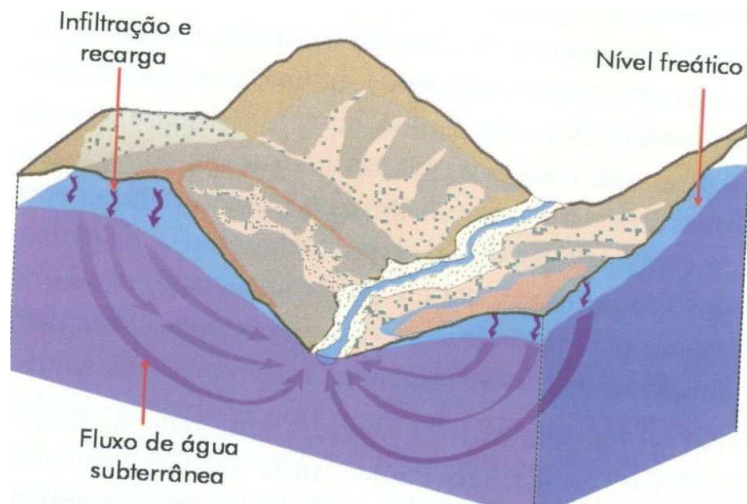


Figura 3: infiltração e recarga da água subterrânea, fonte: Teixeira et al., 2000.

A infiltração é favorecida pela presença de materiais porosos e permeáveis, como solos e sedimentos arenosos. Rochas expostas muito fraturadas ou porosas também permitem a infiltração de águas superficiais. Por outro lado, materiais argilosos e rochas cristalinas, pouco fraturadas, por exemplo, corpos ígneos plutônicos e rochas metamórficas como granitos, são desfavoráveis à infiltração. Espessas coberturas de solo (ou material inconsolidado) exercem um importante papel no controle da infiltração, retendo temporariamente parte da água de infiltração que posteriormente é liberada lentamente (Diamantino, 2005).

2.3.4. Cobertura vegetal e uso e cobertura do solo

Em áreas vegetadas as raízes abrem caminho para a água descendente no solo. A cobertura florestal também exerce importante função no retardamento de parte da água que atinge o solo, através da interceptação, sendo o excesso lentamente liberado para a superfície do solo por gotejamento. Por outro lado, nos ambientes densamente florestados, cerca de 1/3 da precipitação interceptada sofre evaporação antes de atingir o solo.

O avanço da urbanização e a devastação da vegetação influenciam significativamente a quantidade de água infiltrada e adensamento populacionais e zonas de intenso uso agropecuário. Nas áreas urbanas, as construções e pavimentação impedem a infiltração, causando efeitos catastróficos devido ao aumento do escoamento superficial e redução na recarga da água subterrânea (Santos, 2012).

2.3.5. Topografia

De modo geral declives acentuados favorecem o escoamento superficial direto, diminuindo a infiltração, afectando a recarga e por sua a disponibilidade de água nos corpos hídricos subterrâneos. Superfícies suavemente onduladas permitem o escoamento superficial menos veloz, aumentando a possibilidade de infiltração. Nas áreas rurais, a disponibilidade de água subterrânea reduz devido a redução da infiltração, que por sua vez sofre redução pelo desmatamento em geral, pela exposição de vertentes através de plantações, e pela compactação dos solos causada pelo pisoteamento de animais, como em extensivas áreas de criação de gado (Barros, 2003).

2.3.6. Precipitação

O modo como o total da precipitação é distribuído ao longo do ano é um fator decisivo no volume de recarga da água subterrânea, em qualquer tipo de terreno. Chuvas regularmente distribuídas ao longo do tempo promovem uma infiltração maior pois, desta maneira, a velocidade de infiltração acompanha o volume precipitação. Ao contrário, chuvas torrenciais favorecem o escoamento superficial direto, pois a taxa de infiltração é inferior ao grande volume de água precipitada em curto intervalo de tempo (Barros, 2003).

2.3.7. Porosidade

A porosidade expressa a relação entre o volume de vazios, ocupados por ar ou água e o volume total. Este conceito não expressa a quantidade total de água que um aquífero pode fornecer uma vez que parte deste volume será retido pela atração das moléculas, por tensão superficial e capilaridade (Paula, 2015).

De acordo com Manoel Filho (2008), em meio poroso pode ocorrer poros isolados e não interconectados, este tipo de porosidade não permite a fluência de água livremente, contudo não interfere no seu armazenamento. Dos materiais geralmente encontrados na natureza, o cascalho e a areia apresentam menores porosidades, enquanto que a argila e a silte apresentam maiores porosidades.

Uma bacia com solos predominantemente arenosos permitirá maior infiltração e percolação, e menor disponibilidade para o escoamento superficial, relativamente a uma bacia com solos silte-argilosos. Porém, a primeira terá um menor volume de água retida por capilaridade, o qual pode ser eventualmente utilizado para evapotranspiração (Naghetini, 2012).

2.3.8. Permeabilidade

O principal fator que determina a disponibilidade de água subterrânea não é a quantidade de água que os materiais armazenam, mas a sua capacidade em permitir o fluxo de água através dos poros, sendo que esta propriedade dos materiais conduzirem água é chamada de permeabilidade. Por sua vez a permeabilidade encontra-se directamente ligada a lei de Darcy que estabelece a proporcionalidade direta entre a velocidade do fluxo em meio poroso e o gradiente hidráulico. Desta forma, a transmissão de água do aquífero depende do tamanho e do arranjo das partículas, conforme a simulação de Darcy na passagem da água por uma coluna de areia saturada (Teixeira *et al.*, 2000; Lourencetti, 2013). São comumente realizados ensaios de campo assim como laboratoriais com a finalidade de determinar a constante de permeabilidade (K), ensaios estes denominados ensaios de permeabilidade.

2.3.8.1. Ensaio de permeabilidade

Ensaio de permeabilidade são frequentemente realizados com a finalidade de se determinar a condutividade hidráulica de aquíferos. Ele representa o grau de facilidade com a qual a água escoar no meio. Os ensaios de permeabilidade em solos/sedimentos podem ser classificados conforme o nível constante ou variável (Souza, 2010). No presente trabalho foram realizados ensaios a nível constante por meio dos ensaios *slugtests* e ensaios de infiltração.

- **Slugtests**

O ensaio conhecido como *slugtest* é um ensaio de permeabilidade, realizado em nível variável (zona saturada), em que é aplicada uma carga ou descarga através da introdução ou remoção súbita de um volume dentro do poço, de forma que o nível de água seja elevado ou rebaixado instantaneamente. O resultado do monitoramento da posição do nível da água (NA) é uma curva de rebaixamento ou recuperação do NA com o tempo. Desta curva são extraídos os parâmetros que, juntamente com as características geométricas do poço, fornecem o valor de condutividade (Oliva *et al.*, 2005).

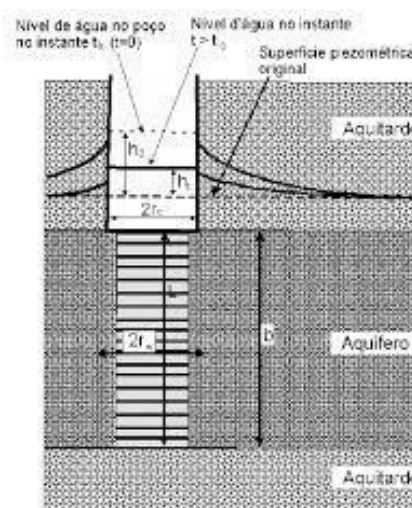


Figura 4: perfil esquemático do slug test (onde “ r_w ” é o raio de perfuração do poço, “ r_e ” é o revestimento do poço, “ b ” é a espessura do aquífero). Fonte: Fioril (2010).

Este ensaio é responsável por fornecer informações relacionadas com o fluxo de água subterrânea, facto que foi analisado por Arruda (2018), que determinou a condutividade hidráulica a partir do *slugtest*, tendo comparado os resultados através de diferentes meios, tendo este detetado altos valores para a condutividade hidráulica reforçando a existência de boas condições de fluxo subterrâneo no aquífero que é composto predominantemente por sedimentos arenosos. Estes ensaios tendem a apresentar altos valores de condutividades hidráulica para sedimentos arenosos, facto que foi constatado por Lubbe et al (2022), no seu artigo, onde aplicou a metodologia dos *slugtests* para estimar o potencial hidráulico dos aquíferos da África do Sul, tendo estes concluído que os *slugtests* são por sua vez

vantajosos por estes requerem um pequeno volume para serem realizados, e apresentam resultados a tempo sem interferir na geologia do local de estudo.

- **Ensaio de infiltração**

Estes ensaios têm como objectivo a determinação dos valores da condutividade hidráulica vertical na superfície e em profundidades crescentes (até 260 cm) na zona insaturada, através da aplicação do método de anéis concêntricos (Fiori, 2010). Segundo Brandão et al (2009), esse método consiste de dois anéis que são posicionados de forma concêntrica no solo onde o anel interno deve apresentar diâmetro menor e o externo maior, sendo ambos com alturas iguais pré-determinadas, os anéis são cravados verticalmente no solo deixando-se uma borda livre, o anel externo tem como finalidade reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada no anel interno, assim a água do anel interno infiltra no perfil do solo em direcção predominantemente vertical o que evita a sobrestimativa da taxa de infiltração.

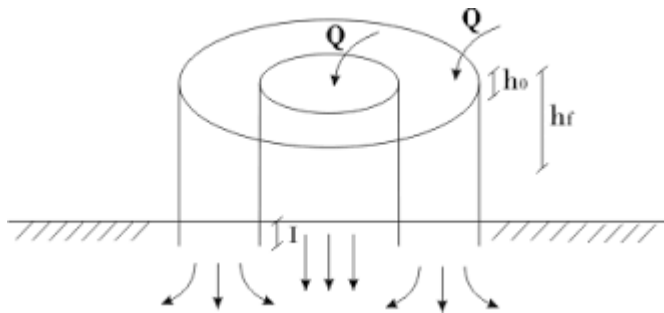


Figura 5: Esquema do método dos anéis concêntricos para ensaios de infiltração. Q = volume de água inserido, h_0 = distância do nível de água inicial à superfície do terreno, l = secção cravada no solo e h_f = distância do nível de água final à superfície do terreno, **Fonte:** Fiori, 2010

3. Área de estudo

3.1. Descrição geral da área de estudo

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo, referindo informações do ponto de vista geológico, geográfico e hidrogeológico do sistema de aquíferos na bacia do rio Incomáti.

3.1.1. Localização geográfica

O rio Incomáti localiza-se a norte da província de Maputo e atravessa o distrito de Marracuene, que situa a latitude de $25^{\circ} 41' 20''$ Sul e longitude de $32^{\circ} 40' 30''$. O Incomati é um rio transfronteiriço semiárido, partilhado por três países: Suazilândia, África do Sul e Moçambique e localiza-se na parte sudeste do continente africano e sua bacia cobre uma área de cerca de 46.700 km², onde 2.500 km² são ocupados pela Suazilândia, 28.600 km² pela República da África do Sul e 15.600 km² são por ocupados por Moçambique (Okello *et al.*, 2014; LeMarie *et al.*, 2006; Vaz e Zaag, 2003).

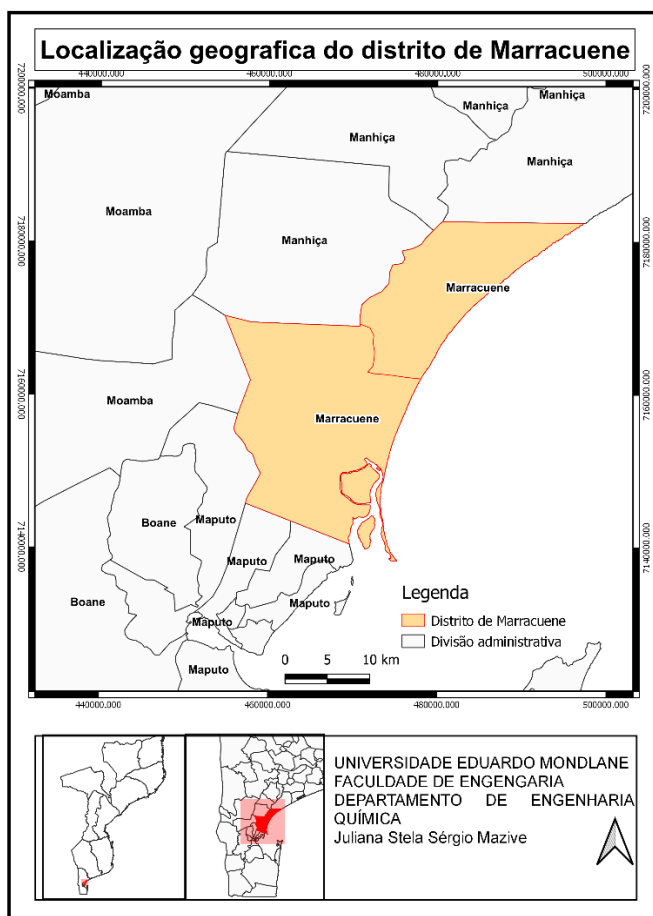


Figura 6: Mapa da localização geográfica da área de estudo

3.1.2. Clima

Toda a bacia do rio Incomáti encontra-se numa região de chuvas de verão (Outubro-Março), com precipitação média anual de cerca de 740 mm por ano que geralmente aumenta de leste para oeste. A evaporação potencial média anual para a bacia como um todo é de cerca de 1.900 mm por ano, que geralmente diminui de leste para oeste. Como consequência, o défice entre a precipitação e a evaporação potencial aumentam de oeste para leste, tornando a irrigação mais importante para a produção agrícola para o leste (Vaz e Zaag, 2003).

3.1.3. Vegetação

A bacia é caracterizada por uma grande variedade de tipos de vegetação natural que varia entre arbustos e florestas tropicais e diferentes tipos de savana, sendo esta susceptível ao alto aproveitamento agrícola devido a elevada percentagem de matéria orgânica, facto que propicia o plantio de diversas culturas como a banana, batata-doce, arroz, mandioca, milho e feijão. Na área de dunas a vegetação é de constituída em especial por gramíneas e ciperáceas e do tipo savana, caracterizado por relva, arbustos e algumas árvores, para além desse tipo de vegetação, podem também encontrar-se plantações de mangueiras e cajueiros (Vaz e Zaag, 2003; Barros, 2003).

3.1.4. Características hidrológicas

De acordo com Joint Incomati Basin Study (JIBS, 2001), o escoamento líquido da bacia do rio Incomáti é de 3.587m³ por ano, sendo que o valor total de água estimado para o consumo foi de cerca de 1.800m³ por ano, incluindo o uso para o consumo de plantações florestais. O rio Incomati é de regime permanente, embora frequentemente não tenha corrente superficial no período de estiagem. Durante esse período, o caudal superficial é garantido pela lagoa Chuali (próximo de Xinavane) e principalmente pelo fluxo subterrâneo das dunas interiores conferindo-lhe o regime perante até à foz (Houngwane e Antonio, 2016; Barros, 2003).

3.1.5. Geologia

A geologia da bacia é caracterizada por sedimentos, vulcões, graníticos e rochas dolomíticas e depósitos quaternários e recentes (Vaz e Zaag, 2003).

De acordo com Tauacale *et al* (2017) citado em Houngwane e Antonio (2016), as principais feições geológicas são uma planície aluvial que se estende ao longo do rio, sendo a zona costeira dominada pelas dunas costeiras amareladas ou avermelhadas e pelas planícies arenosas interiores das formações mais recentes do quaternário. Existem consideráveis fontes de água subterrânea, com uma taxa de recarga de 29-150 m³ por ano na planície costeira e nas areias eólicas. A planície aluvial da bacia é constituída por areia fina, silite e depósitos argilosos de origem eólica (Barros, 2003).

3.2. Enquadramento da área de estudo

De acordo com a Carta Hidrogeológica de Moçambique (DNA, 1987), a área de estudo compreende coberturas arenosas de origem eólica (dunas), que são constituídas por areias de grão médio a fino, pouco argilosas, ocupam a faixa ao longo da costa, mais o menos continua, de largura variável.

O rio Incomáti pertence à faixa das planícies costeiras que ocupam a faixa litoral e oriental do país. As dunas costeiras dispostas ao longo do litoral, são constituídas por areias móveis de grão médio a fino de cor branco-amarelada, consoante o aumento relativo de calcário, localmente rico em minerais pesados (ilminite, magnetite, granada e rutilio). A altitude varia de 5 a 12 m acima do nível médio do mar e apresenta alguns indícios de consolidação em várias partes da costa, devido à infiltração de água e fenómenos subsequentes de dissolução e precipitação química dos materiais (Barros, 2003).

A água das dunas pode passar lentamente para o mar, mas grande parte se infiltra através do nível semi-permeável, criando um lençol de água doce por baixo do mesmo com maior extensão e espessura do que o existente nas dunas. A água das dunas é captada através de poços de pequenas profundidades, mas grande parte da exploração é feita abaixo do nível semi-permeável através de furos. A exploração provoca a contracção do volume de água doce do aquífero profundo (Barros, 2003).

3.2.1. Identificação dos pontos para a realização dos ensaios de permeabilidade

A bacia do rio Incomati dispõe dunas costeiras assim como dunas interiores, entretanto para esta pesquisa foi selecionada a duna costeira, para avaliar a contribuição da mesma para as zonas húmidas responsáveis por produzir diversas culturas. Ao longo da duna selecionada, verificou-se que determinada região era usada para produção de arroz e, ao longo do tempo verificou-se redução da capacidade de produção destas áreas húmidas devido a salinização, e consequentemente surgido a necessidade de mudança da zona de produção. Acredita-se que um dos motivos para a mudança de salinidade foi a redução do caudal da duna (superficial e subterrâneo) e a elevada taxa de captação.

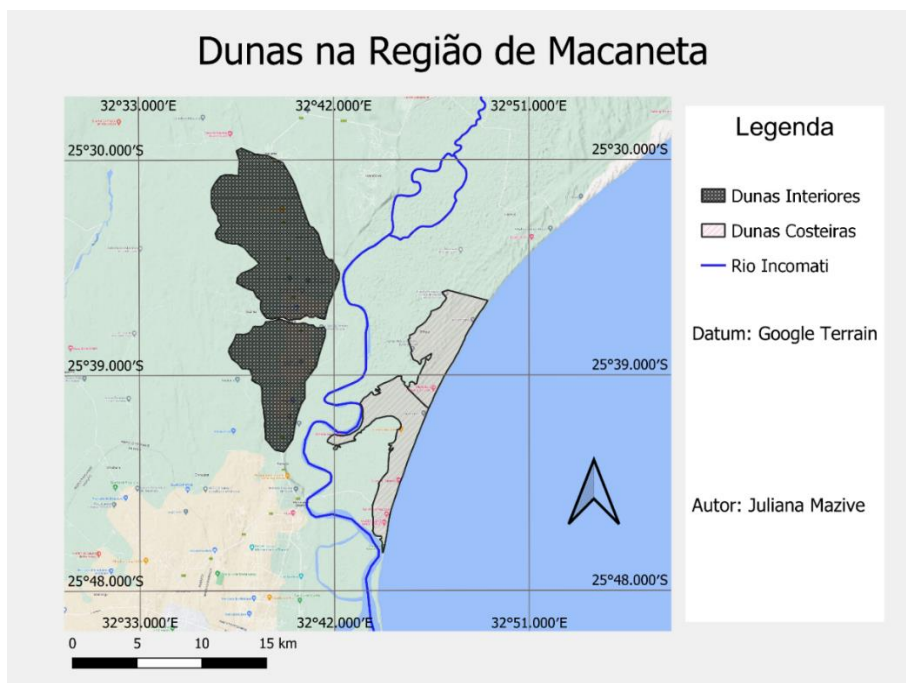


Figura 7: Mapa da localização das dunas

4. Materiais e métodos

4.1. Materiais

O trabalho de campo foi desenvolvido com recurso a seguintes materiais:

- Tubo PVC;
- Cabo resistente;
- Transdutor de pressão (Diver);
- Aparelho para medição de nível (sonda eléctrica);
- Infiltrômetro de anéis concêntricos e seu kit (martelo e escala).
- Trado manual;
- Planilhas para anotação dos dados de campo;
- Recipientes para armazenar água com capacidade de 20l (Bidões).
- Cronómetro.

4.2. Métodos

A realização do presente relatório consistiu primeiramente na revisão bibliográfica baseada em uma pesquisa aplicada e explicativa afim de identificar, caracterizar e mapear os locais e contribuição de água subterrânea em Macaneta, posteriormente deu-se o trabalho de campo que consistiu na realização dos *slugtests* e por fim a análise e interpretação dos dados.

a) Trabalho de Campo

O trabalho de campo consistiu na realização de ensaios de permeabilidade denominados *slugtests* para a zona saturada e ensaios de infiltração para a zona insaturada, como forma de determinar os valores da condutividade hidráulica horizontal e vertical. Para a execução dos ensaios de permeabilidade, assim como os ensaios de infiltração foram selecionados 5 pontos ao longo da duna, através do software *ArcGIS*, e de seguida foi feita uma confirmação por meio de visita de campo aos locais anteriormente selecionados. Posteriormente foram perfurados 15 furos divididos em grupo de 3 para cada local, distantes 30m um do outro para os ensaios de permeabilidade, e foram realizados ensaios de infiltração nos pontos em que efectivamente foram realizados os *slugtests* (procedimentos no anexo A).

A localização dos pontos é descrita na figura abaixo:

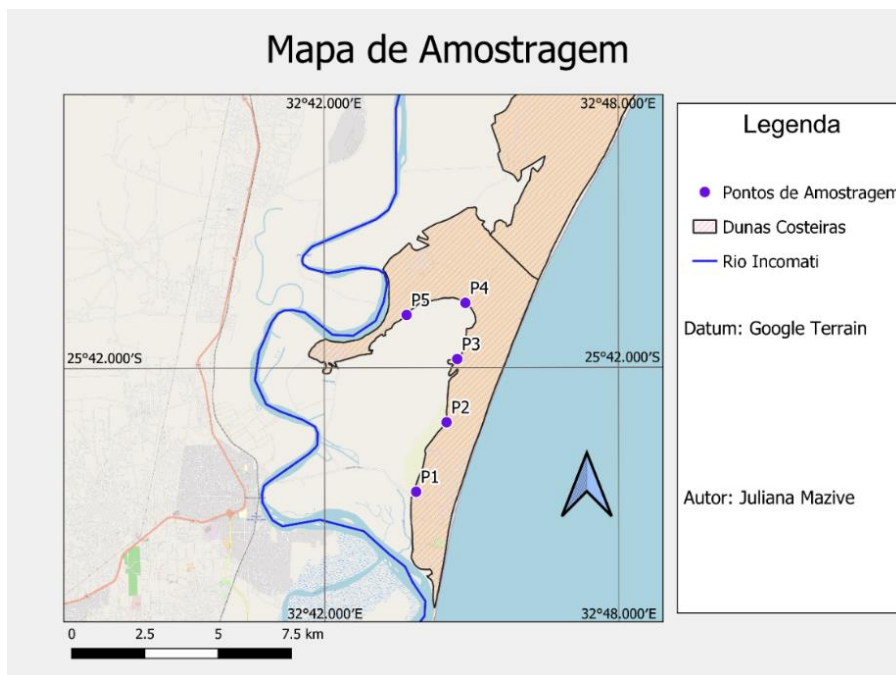


Figura 8: Mapa da localização da área onde foram realizados os ensaios. P1, P2, P3, P4, e P5 são os pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração e os slugtests.

a) Interpretação de dados

Para a análise dos dados do *slugtest*, considerando o tipo de resposta para recuperação do nível de água, bem como para o tipo de aquífero, livre, utilizaram-se métodos de Bouwer & Rice e Hvorslev para determinar a condutividade hidráulica no meio saturado e soluções analíticas e gráficas para determinar a condutividade hidráulica no meio insaturado.

- **Método de Bouwer & Rice**

De acordo com Fetter (2001), este método foi originalmente desenvolvido para aquíferos livres, mas pode ser utilizado em aquíferos confinados se o topo da seção filtrante do poço estiver a uma boa distância abaixo da base da camada confinante. O método possui duas principais condições, que são, os efeitos dos mecanismos de armazenamento elástico podem ser negligenciados e que o nível do lençol freático não muda, conseqüentemente a espessura saturada também não muda durante o teste. Para a determinação da condutividade hidráulica através do método de

Bouwer & Rice, faz-se a aplicação da seguinte equação (os cálculos encontram-se no anexo D-5):

$$K = \frac{r_e^2 \ln(R_e/R)}{2Le} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_0}{H_t}\right) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

K – Condutividade hidráulica (cm/s);

Re – Distância radial efectiva em que a carga é dissipada (cm);

Le – Comprimento do filtro ou intervalo por onde a água se infiltra (cm);

re – Raio do revestimento (cm);

R – Raio do poço (cm);

Ho – Rebaixamento no tempo t = 0 (cm);

Ht – Rebaixamento no tempo t = t (cm);

T – Tempo decorrido após H = 0 (s);

A seguinte figura ilustra algumas variáveis relacionadas com *slugtest*:

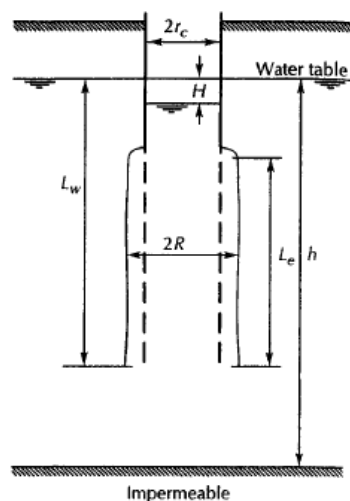


Figura 9: geometria e símbolos para um slug test, Fonte: Fetter (2001).

A distância efectiva sobre a qual a carga é dissipada, Re, também é a distância característica a partir do qual o poço no qual o valor médio de K está sendo medido.

Entretanto não há como saber o valor do parâmetro Re para um determinado poço. Bouwer & Rice apresentaram um método para estimar a relação adimensional (Re/r_w) encontrada na equação principal do método (Fetter, 2001).

Para avaliar Re , expressa em termos de $\ln(Re/r_w)$, Fetter (2001), apresenta as seguintes equações para poços parcialmente e totalmente penetrantes:

Para poços parcialmente penetrantes

$$\ln(R_e/r_w) = \left[\frac{1,1}{\ln(L_w/r_w)} + \frac{A + B \ln\left[\frac{h - L_w}{r_w}\right]}{L_e/r_w} \right] - 1 \quad \text{(Equação 2)}$$

Para poços totalmente penetrantes

$$\ln(R_e/r_w) = \left[\frac{1,1}{\ln(L_w/r_w)} + \frac{C}{(L_e/r_w)} \right] - 1 \quad \text{(Equação 3)}$$

A, B e C são coeficientes adimensionais em função de Le/r_w , utilizando o ábaco da seguinte figura:

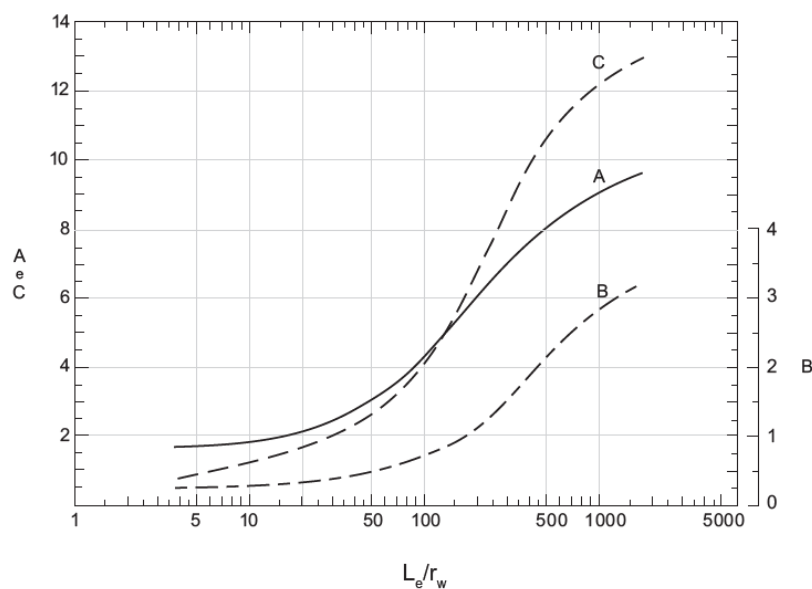


Figura 10: Parâmetros A, B e C em função da razão Le/r_w .

- **Método de Hvorslev**

A determinação da condutividade hidráulica pelo método de *Hvorslev* é obtida através da seguinte fórmula (os cálculos encontram-se no anexo D-6):

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e/R)}{2L_e T_o} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

K- Condutividade hidráulica (cm/s);

r- Raio do revestimento (cm);

R- Raio do poço (cm);

L_e - Comprimento do filtro (cm);

T_o - Tempo que leva para o nível de água cair a 37% da posição inicial (s).

Segundo Weight (2008), esse é provavelmente o método mais rápido e simples a ser aplicado para determinar a condutividade hidráulica, sendo este método restrito para aquíferos livres ou confinados e regido pelas seguintes suposições:

- 1- O aquífero é homogêneo e de espessura uniforme;
- 2- O aquífero tem extensão infinita;
- 3- O fluxo é constante;
- 4- O piezômetro é totalmente ou parcialmente penetrante.

A figura 11 mostra algumas variáveis relacionadas ao *slug test*, para a determinação da condutividade hidráulica através do método de Hvorslev:

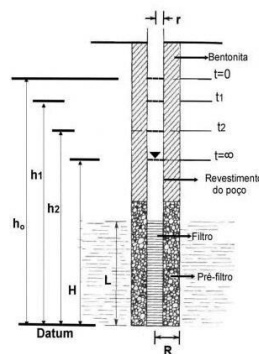


Figura 11: Geometria do poço para interpretação usando o método de Hvorslev

O método, envolve:

1. A determinação da relação H_t/H_o para vários instantes de tempo t depois que o ensaio inicia;
2. Fazer o gráfico semilogarítmico a relação H_t/H_o versus tempo t decorrido desde o início do ensaio, sendo H_t/H_o em escala logarítmica, representada no eixo das ordenadas e t , no eixo das ordenadas.
3. Obter no eixo do tempo, o valor correspondente a 0.37 do valor da relação H_t/H_o , correspondente ao tempo de resposta básico, denominado T_o .
4. Substituir o valor do tempo de resposta básico (T_o) obtido na equação do método em questão, para calcular a condutividade hidráulica.

- **Ensaio de infiltração**

Foram construídos gráficos da altura em função do tempo (anexo B-1) para a obtenção do coeficiente da recta de cada ensaio e de seguida multiplicado o valor por 1,45 para obtenção da condutividade hidráulica da zona não saturada. Como forma de comparação foi aplicada também a seguinte solução analítica para a obter a condutividade vertical (os cálculos da encontram-se no anexo D-7):

$$K_v = U \times \frac{I}{\Delta t} \times \ln\left(\frac{h_o}{h}\right) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$U \rightarrow$ factor de conversão de mm/min para m/s = 1/60000

$\Delta t \rightarrow$ tempo de duração do ensaio (min);

$h_o \rightarrow$ carga hidráulica inicial (mm);

$h \rightarrow$ carga hidráulica final (mm);

$I \rightarrow$ profundidade cravada no solo (mm).

- **Aplicação da Lei de Darcy para quantificação da água subterrânea**

A quantificação da água subterrânea presente na duna costeira na bacia do rio Incomati deu-se por meio da aplicação da lei de Darcy¹, mediante a seguinte sequência:

- 1- Após o cálculo da condutividade hidráulica através dos métodos de Hvorslev, Bouwer & Rice e equações de ensaios de infiltração, calculou-se a média dos valores obtidos para os diferentes métodos de modo a serem usados como valores representativos. Os cálculos e os ajustes das retas dos gráficos obtidos a partir da aplicação dos métodos foram feitos com auxílio do software Microsoft Excel (anexo B-3).
- 2- Determinou-se o gradiente hidráulico (dh/dx) e respectiva espessura do aquífero (anexo D);
- 3- Calculou-se o caudal unitário para cada ponto através da seguinte equação: (no anexo D-1):

$$q = -K.H.i \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde: q → caudal unitário (m^2/s);

K → coeficiente de proporcionalidade, chamado de coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica (m/s);

i → gradiente hidráulico (adimensional);

H → espessura do aquífero (m);

Com a equação acima foi possível calcular o caudal unitário para cada ponto onde foi realizado o ensaio e de seguida com o auxílio da equação número 7, foi possível calcular o fluxo total.

$$Q = B.q \quad \text{(Equação 7)}$$

¹ O sinal negativo na equação de Darcy serve para indicar a direção do fluxo

Onde, o B é o comprimento do aquífero, estimado através do software *ArcGis* e o Q corresponde ao fluxo total (m^3/s);

b) Elaboração do mapa do fluxo de água subterrânea

Para a elaboração do mapa que indica o fluxo de água subterrânea fez-se a aplicação do software *ArcGis*, combinando o DEM (modelo digital de elevação), com os contornos extraídos no *ArcGis*, indicando a direcção do fluxo. O DEM da área de estudo foi extraído no site da USGS através do link <https://ers.cr.usgs.gov/>, tendo sendo possível obter a imagem do tipo *raster* com uma resolução de 12,5 pixels.



Figura 12: Modelo de elevação da área de estudo, fonte: <https://ers.cr.usgs.gov/>

Foi inserida a imagem no *ArcGis* e de seguida alterada sua interface, categorizando essa através de diferentes colorações que representam a diferentes elevações do terreno, partindo da cor azul que representa menor elevação do terreno até a cores como o amarelo que representa maior elevação do terreno.

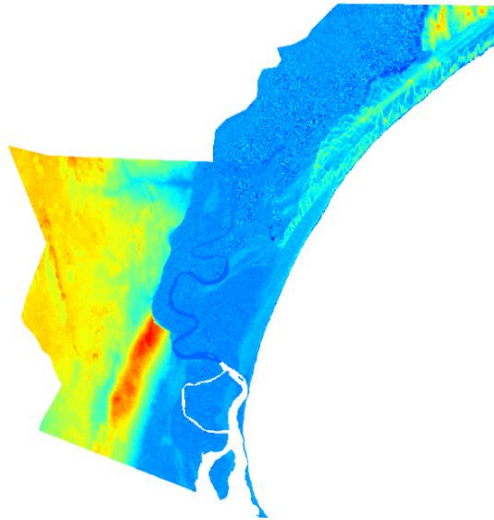


Figura 13: elevação do terreno.

Por sua vez foram representados os contornos que representam, neste caso, as linhas equipotenciais, tendo assim gerado a seguinte figura 14. Essas linhas representam os contornos do lençol freático, ou seja, a água subterrânea flui da elevação mais alta para a mais baixa na direção da mudança máxima de elevação apresentando linhas perpendiculares às linhas retas que conectam os incrementos de elevação indicando a direção que a água subterrânea flui (Oborie e Nwankwoala, 2017).

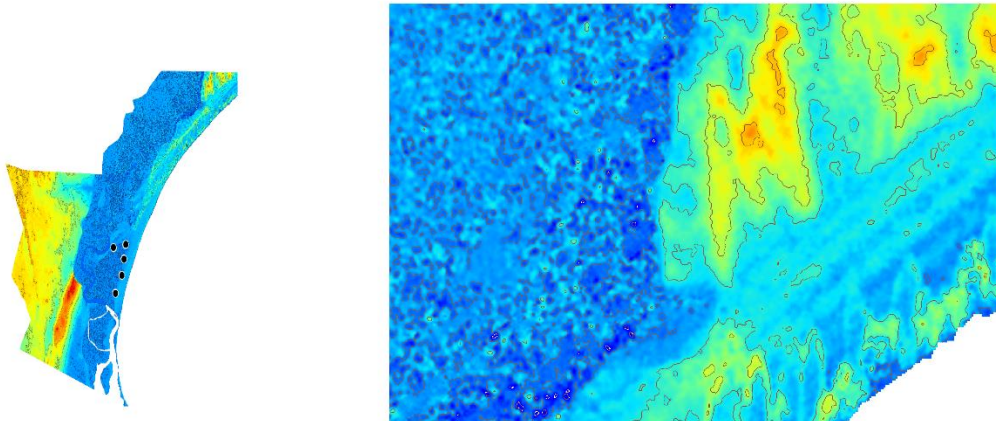


Figura 14: Representação dos contornos da área de estudo.

5. Resultados e discussões

Para a aplicação da lei de Darcy, foi necessário primeiramente calcular a condutividade hidráulica, através dos três métodos propostos, nomeadamente o método de Hvorslev e Bouwer & Rice, que são aplicados para o cálculo da condutividade hidráulica em zonas saturadas e as equações de infiltração para determinar a condutividade hidráulica vertical em zonas não saturadas.

5.1. Método de Hvorslev

Os gráficos gerados pelos dados obtidos foram necessários para determinar os valores do tempo que leva para o nível de água cair a 37% da posição inicial para o método de Hvorslev e determinar os valores do rebaixamento ao decorrer do tempo encontram-se no anexo B-3.

Os valores de condutividade obtidos através do método são listados na seguinte tabela:

Tabela 2: valores da condutividade hidráulica para o método de Hvorslev

Condutividade hidráulica (K) (m/s)		
Pontos	Método de Hvorslev	Magnitude
P2F2	$1,341 \times 10^{-6}$	Moderada
P3F1	$1,718 \times 10^{-6}$	Moderada
P4F2	$1,031 \times 10^{-6}$	Moderada
P5F2	$1,202 \times 10^{-6}$	Moderada
\bar{K}	$1,323 \times 10^{-6}$	Moderada

Estes valores de condutividade são característicos para a geologia de solos arenosos, o que pode ser confirmado pela Carta Hidrogeológica de Moçambique. A partir dos resultados obtidos através do método de Hvorslev, pode-se observar que o valor de condutividade hidráulica do solo variou de 1.202×10^{-6} m/s a 1.341×10^{-6} m/s, sendo que a média foi $1,323 \times 10^{-6}$ m/s, sendo por sua vez categorizada como moderada, facto que demonstra a capacidade média de circulação de água entre os solos ao longo da duna em estudo.

Os valores da condutividade são influenciados pelas propriedades do meio, como a porosidade que se encontra no intervalo de 25 a 50% para areias médias a finas. Esta propriedade influencia de forma directa os valores de condutividade devido ao facto de este ser responsável por definir a relação do volume ocupado por fluidos (ar e água) e o volume total do solo, contribuindo para a distribuição, disponibilidade e movimentação da água no solo.

5.2. Método de Bouwer & Rice

Os valores obtidos através do método estão listados na tabela abaixo:

Tabela 3: Valores de condutividade hidráulica para o método de Bouwer e Rice

Condutividade hidráulica (K) (m/s)		
Pontos	Método de Bouwer & Rice	Magnitude
P2F2	$1,244 \times 10^{-5}$	Alta
P3F1	$9,289 \times 10^{-6}$	Moderada
P4F2	$1,210 \times 10^{-5}$	Alta
P5F2	$1,227 \times 10^{-5}$	Alta
\bar{K}	$1,152 \times 10^{-5}$	Alta

A caracterização dos valores de K de acordo com a magnitude é considerada alta de acordo com a classificação apresentada por Fiori (2010), a partir das estimativas dos valores de K percebeu-se na área de estudo que existe uma similaridade do tipo de solo ou substrato geológico para os pontos P2F2, P4F2 e P5F2 tendo se observado para o P3F1 o valor da condutividade hidráulica é menor devido a ligeira diferença no substrato geológico e por este se encontrar distante do rio em relação aos demais pontos que apresentaram maiores valores para a condutividade hidráulica.

Os valores encontrados através desse método demonstram a compatibilidade entre os valores estabelecidos pelos fundamentos teóricos e os ensaios realizados na área de estudo, sendo esses caracterizados como sedimentos inconsolidados de granulação predominante fina e média possuem condutividade hidráulica variando entre $9,289 \times 10^{-6}$ m/s à $1,244 \times 10^{-5}$ m/s, e com uma média de $1,152 \times 10^{-5}$ m/s.

5.3. Ensaio de infiltração

Os valores obtidos pelo ensaio de infiltração assim ilustrados na tabela número 4.

Tabela 4: valores da condutividade hidráulica para os ensaios de infiltração

Pontos	Condutividade hidráulica Kv (m/s)		Magnitude
	Método analítico	Método gráfico	
P2F2	$1,356 \times 10^{-4}$	$5,120 \times 10^{-4}$	Alta
P3F1	$6,079 \times 10^{-5}$	$5,381 \times 10^{-4}$	Alta
P4F2	$7,310 \times 10^{-5}$	$1,997 \times 10^{-3}$	Alta
P5F2	$5,432 \times 10^{-5}$	$4,362 \times 10^{-4}$	Alta
\bar{K}	$8,095 \times 10^{-5}$	$8,708 \times 10^{-4}$	Alta

Ao analisar os valores da condutividade hidráulica, observa-se uma maior uniformidade nos valores obtidos pelo método gráfico quando comparado com os valores obtidos através do método analítico, facto este que pode ser explicado pela precisão fornecida pelo método gráfico.

Para o método analítico verifica-se uma similaridade entre os valores nos pontos P3F1, P4F2 e P5F2, sendo por sua vez notável menores taxas de infiltração em relação aos outros pontos, demonstrando que a área de estudo pertence a um sistema caracterizado areias médias a finas. Fiori (2010), ressalta que por se tratar de solos com estruturação granular os ensaios de infiltração em solos naturais mostraram resultados de condutividade na ordem de grandeza de 10^{-4} a 10^{-7} m/s.

Os dois métodos têm os seus valores classificados com alta capacidade de circular da água apesar da zona não saturada geralmente não dispor de tal capacidade, mas os valores podem ser explicados através do tempo de umedecimento do solo antes do início dos ensaios, situação que pode contribuir para provocar alterações do valor de K (Barbosa, 2009).

De acordo com Betim (2013), em meios não saturados, a condutividade hidráulica varia proporcionalmente com a humidade do solo, assim o grau de saturação é um factor com influência relevante sobre os valores de K.

5.4. Métodos de Hvorslev Vs Bouwer & Rice Vs ensaios de infiltração

Os resultados da condutividade obtidos tanto para a zona saturada assim como para a zona não saturada através dos métodos supracitados foram organizados de acordo com a seguinte tabela.

Tabela 5: Comparação dos valores de condutividade hidráulica para os diferentes métodos

Pontos	Condutividade hidráulica (m/s)			
	Método de Hvorslev	Método de Bouwer & Rice	Ensaio de infiltração	
			Método analítico	Método gráfico
P2F3	$1,341 \times 10^{-6}$	$1,244 \times 10^{-5}$	$1,356 \times 10^{-4}$	$5,120 \times 10^{-4}$
P3F1	$1,718 \times 10^{-6}$	$9,289 \times 10^{-6}$	$6,079 \times 10^{-5}$	$5,381 \times 10^{-4}$
P4F2	$1,031 \times 10^{-6}$	$1,210 \times 10^{-5}$	$7,310 \times 10^{-5}$	$1,997 \times 10^{-3}$
P5F2	$1,202 \times 10^{-6}$	$1,227 \times 10^{-5}$	$5,432 \times 10^{-5}$	$4,362 \times 10^{-4}$
\bar{K}	$1,323 \times 10^{-6}$	$1,152 \times 10^{-5}$	$8,095 \times 10^{-5}$	$8,708 \times 10^{-4}$

Os resultados do *slugtest* tratados por meio dos métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice são comparados com os resultados obtidos pelo ensaio de infiltração sendo que a comparação directa dos valores da condutividade hidráulica, pelos métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice (zona saturada), e ensaios de infiltração (zona não saturada), não é possível, pois tratam-se de ensaios realizados em diferentes zonas de saturação, onde o comportamento hidrodinâmico é distinto. Entretanto ambos valores de condutividade hidráulica vertical assim como horizontal foram aplicados na equação de Darcy para a quantificação da água subterrânea.

Com os dados obtidos nos ensaios, verifica-se maior homogeneidade nos valores gerados pelo método de Hvorslev, onde os valores de K, de modo geral, apresentam a mesma ordem de grandeza 10^{-6} , Weight, 2008 citado em Arruda, 2018 destaca que na hidráulica de aquíferos, um método pode apresentar um valor maior ou menor que o outro, no entanto, devem produzir tendências semelhantes. Para o método de Bouwer e Rice, verifica-se uma variação nos valores obtidos, tendo registado menor valor de K para o P3F1 facto que pode ser explicado pelas mínimas diferenças identificadas na litologia dos solos, mesmo que sendo muito

próximo da área onde foram realizados os outros ensaios (cerca de 2km de distância), o P3F1 é caracterizado por um grau de saturação menor, menor porosidade e a uma distância maior do rio em comparação com outros pontos que se encontram próximos ao rio e com maior permeabilidade, Ferraz *et al.*, 2015 constataram que quanto maior a permeabilidade do material geológico, maior será o valor da condutividade hidráulica (Ferraz *et al.*, 2015).

Ao analisar os valores da condutividade hidráulica para as duas zonas constatou-se que os valores da condutividade hidráulica vertical são maiores em relação aos valores da condutividade hidráulica horizontal, sendo que segundo alguns autores concluem que o comum é deparar-se com a relação inversa, entretanto Fernandes *et al.*, (1983) observaram que dependendo que os valores da condutividade vertical podem ser maiores ou menores dependendo da profundidade do local onde são realizados os ensaios, isso porque a humidade a base de volume encontra-se directamente relacionada com o meio poroso e a condutividade hidráulica.

Comparando os valores obtidos para os métodos referentes a zona saturada, constatou-se que o método de Hvorslev apresentou menores valores para a condutividade hidráulica em todos os ensaios, conforme a tabela 5. Isso pode ser explicado pelo facto de que esse método não leva em consideração a geometria do aquífero, e assume-se que o aquífero tem uma espessura infinita e o valor da espessura saturada não é considerado (Arruda, 2018).

5.5. Estimativa do fluxo de água subterrânea

A água presente no aquífero ao longo da duna, é importante, pois serve como base para manter o equilíbrio do ecossistema, assim como sendo fonte de água doce para zona de Macaneta. Não existem estudos prévios detalhados sobre a quantificação de água das dunas na área de estudo, a referência mais próxima é o mapa hidrogeológico de Moçambique que dá o intervalo do volume de água nos aquíferos e classifica seu rendimento por via desse intervalo. Após a quantificação da água disponível na duna costeira na bacia do rio Incomáti, determinou-se que seus caudais são $3.378 \text{ m}^3/\text{h}$ para a média dos valores da condutividade hidráulica do método de Hvorslev, $3.669 \text{ m}^3/\text{h}$ para a média dos valores da condutividade hidráulica para o método de Bouwer & Rice, $5.560 \text{ m}^3/\text{h}$ para a média da

condutividade hidráulica vertical obtida através dos ensaios de infiltração, sendo o caudal de descarga da duna costeira identificada para o desenvolvimento do presente relatório.

De acordo com a carta hidrológica (DNA, 1987), o valor obtido dos caudais classifica o aquífero em questão como um aquífero intergranular, contínuo geralmente não consolidado, produtivo ($Q=3-10\text{ m}^3/h$), sendo caracterizado por areias médias a finas, por vezes muito finas de origem eólica e/ou marinha, e com uma permeabilidade média ou variável. O volume de água disponível na duna, é responsável para abastecer a água para o consumo da população, assim como para manter a biodiversidade e é também por sua vez utilizada para a irrigação de plantações que se encontram ao longo do rio, propriamente referenciando as plantações de arroz, cana de açúcar, bananas, batata doce dentre outras culturas que se encontram ao longo do rio, assim como os serviços ecossistêmicos.

Segundo Chirima (2022), a área de estudo dispõe de diversos serviços ecossistêmicos que são beneficiados tanto pela água dos rios assim como pela água presente nas dunas, tal como ilustrado na tabela número 6 colocar o número da tabela.

Tabela 6: Serviços ecossistêmicos em Macaneta

	GRUPO	SUB-GRUPO
SERVIÇOS ECOSSISTÉMICOS	Provisão	Água fresca
		Cultivo agrícolas
		Alimentação humana (peixe)
		Materiais de construção
		Combustível lenhoso
	Cultural	Recreação e ecoturismo
	Regulação	Proteção contra inundações
		Controle de erosão
		Fertilidade do solo
	Suporte	Função de berçário
Biodiversidade		

A quantidade da água disponível é afectada diretamente pela quantidade de água que precipita e que recarrega o aquífero, assim como pelas taxas de captações da mesma. Quando as taxas de captações são maiores em relação as taxas de recarga os níveis de água baixam continuamente, resultando na maioria das vezes na intrusão da água salgada nos aquíferos. Este fenómeno natural consiste no avanço da interface água doce-salgada provocando a infiltração de água salgada nos aquíferos, este acontecimento pode inviabilizar o uso dos recursos hídricos subterrâneos para abastecimento humano, agrícola e industrial (Góis, 2015). E tem se intensificado no mundo e nas terras húmidas de Macaneta.

A título de exemplo, Júnior et al, (2000), constataram que nos aquíferos existentes na região oceânica de Niterói existem problemas relacionados aos aquíferos, devido a redução dos seus caudais decorrentes da exploração intensa que visa suprir a demanda da população para o consumo, resultando assim na salinização do mesmo, assim como alguns dos aquíferos em Incomati sofrem com este fenómeno, tanto que foi identificada uma área que era beneficiada pela água dos aquíferos para a produção de quantidades significativas de arroz e que actualmente encontra-se já não se produz arroz devido a intrusão de água salgada no aquífero disposto na duna.

Os resultados dos caudais revelaram que se a situação de exploração massiva dos aquíferos continuar sem o seu devido controle, a expansão da zona que sofre com a intrusão salina irá aumentar. Cossa (2001), determinou que o caudal fluvial mínimo necessário para que a água salgada não alcance as zonas demarcadas para o cultivo é de 254 m³/s. Estes estudos são de extrema importância se tomarmos em linha de conta que pode permitir gerir racionalmente os caudais ao nível local, afim de minimizar a intrusão salina no rio Incomati.

5.6. Direcção do fluxo de água subterrânea

O fluxo natural das águas subterrâneas é geralmente de áreas de recarga em elevações mais altas para áreas de descargas em elevações mais baixas, e perpendicular às linhas de contorno potenciométricas e da superfície terrestre (Vaugh, 2015). O fluxo da água quantificada, apresenta linhas de fluxo que convergem em direcção do aquífero para o rio, como ilustrado na figura 15, por sua

vez existe uma parcela da água que diverge tomando a direcção do aquífero para o mar, assegurando assim que a interface da água salgada não avance para o aquífero. Importa ressaltar que em casos em que se verifica a entrada da cunha para o aquífero ilustra claramente a redução do caudal do aquífero responsável por assegurar o equilíbrio entres essas duas interfaces.

A água subterrânea se move ao longo de um caminho de fluxo perpendicular às linhas equipotenciais e a direcção do movimento é das linhas de maior valor para as linhas de menor valor (ou seja, maior para menor elevação ou pressão). Os caminhos do fluxo de água subterrânea são mostrados por setas em gráficos de superfície equipotencial apontando na direcção do fluxo de água subterrânea. A água subterrânea geralmente flui para lagos, rios, mares, lagoas e poços (Oborie e Nwankwoala, 2017).

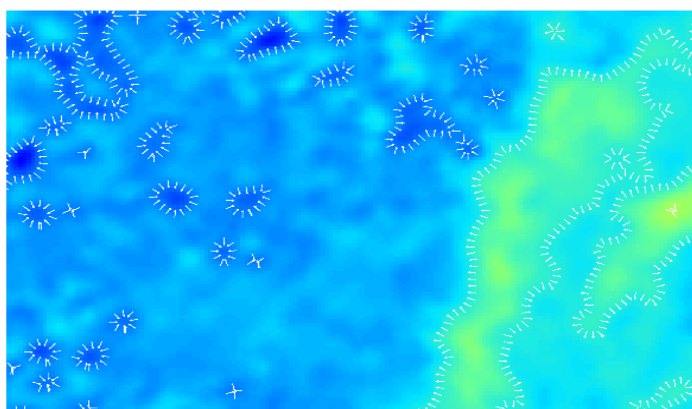
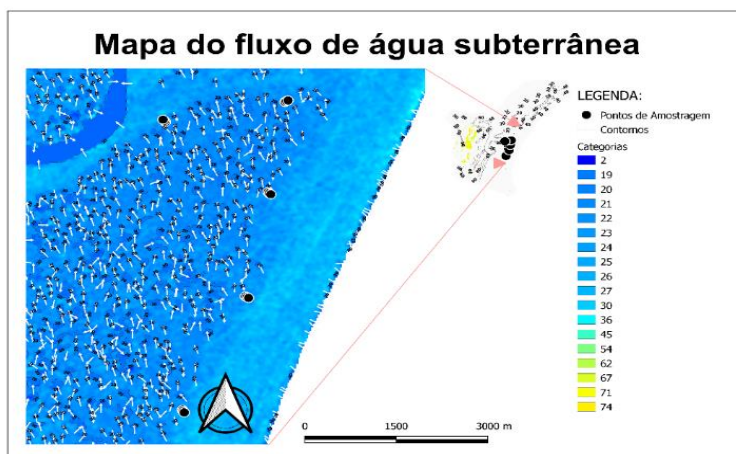


Figura 15: Mapa do fluxo de água subterrânea

Uma das vantagens da representação das linhas de fluxo de água subterrânea é que estas permitem a previsão de cenários possíveis, como por exemplo a mudança da direcção do fluxo e a entrada da cunha salgada para o aquífero, assim como a indicação da direcção do fluxo que água segue.

De acordo com Oborie e Nwankwoala (2017), as principais forças que afectam o movimento e a direcção das águas subterrâneas são a gravidade e pressão externa. A gravidade está relacionada com a inclinação natural dos sedimentos que compõe o aquífero, e a pressão externa está relacionada com as mudanças na pressão causadas por poços de bombeamento que alteram as direcções naturais do fluxo de águas subterrâneas.

6. Conclusões

O sistema dunas de Macaneta é caracterizado como arenito fino a média, com pequena quantidade de solo arenoso. O comportamento da condutividade hidráulica nas diferentes zonas apresenta um ligeiro contraste para os diferentes métodos, encontrando-se na ordem de 10^{-6} e 10^{-5} para os pelos métodos de Hvorslev e Bouwer e Rice (Zona saturada) e 10^{-3} à 10^{-5} para os ensaios de infiltração respectivamente, sendo que o contraste nos valores da condutividade para ambas zonas é decorrente da variação da humidade ao longo do perfil do solo onde foram realizados os ensaios, assim como nas características do substrato geológico. Os resultados obtidos no *slugtest*, somados a avaliação dos ensaios de infiltração e às características geológicas da zona saturada assim como da zona insaturada, levam a considerar que os dados tratados por meio do método de Bouwer e Rice indicam os valores de condutividade mais próximos do esperados para os meios estudados.

A principal função do caudal estimado é de garantir o abastecimento de água doce para as terras húmidas de Macaneta, caudais estes que foram estimados em $3.378 \text{ m}^3/h$ usando a condutividade hidráulica de Hvorslev e $3.699 \text{ m}^3/h$, usando os valores de condutividade hidráulica de Bouwer e Rice, entretanto, esta quantificação pode servir de base para avaliar a contribuição da ressurgência da água das dunas para o funcionamento das terras húmidas de Macaneta.

A representação das linhas do fluxo de água subterrânea, ilustram que a água subterrânea converge tomando a direcção de aquífero para o mar, podendo contribuir significativamente para alimentar as necessidades ecossistémicas das terras húmidas de Macaneta. Contudo, é preciso avaliar o efeito combinado da água de ressurgência e superficial.

Recomendações

Para futuros trabalhos, recomenda-se que:

- Avaliar a contribuição da água das dunas para o funcionamento do ecossistema das terras húmidas de Macaneta que pressupõe uma análise combinada da ressurgência e escoamento superficial.
- Avaliar a importância do caudal de ressurgência para os ecossistemas presentes na região em estudo;

- Avaliar a contribuição dos níveis de recarga para a quantidade de água subterrânea na zona em questão;
- Estimar as quantidades das taxas de captações para a disponibilidade de água subterrânea.

Referências bibliográficas

- Arruda, I. S. (2018). *Determinação da condutividade hidráulica no aquífero aluvial do Rio Sucuru através do ensaio slug test*. Campina Grande.
- Barbosa, I. N., Carvalho, A. M., Miguel, G. F., & Carneiro, C. D. (2020). Conhecer para conservar aquíferos: como torná-los visíveis? *Terrae Didatica*, 16, 1-12.
- Barros, S. M. (2003). *Modelação da Intrusão Salina na Península da Macaneta*. Porto.
- Betim, L. S. (2013). *Caracterização da condutividade hidráulica dos solos e estudo da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da Sub-bacia do córrego Palmital - Viçosa/MG*. Minas Gerais.
- Cabral, J. J. (1985). *Intrusão salina em aquíferos costeiros: uma análise pelo método de elementos de contornos*. Rio de Janeiro.
- Campos, L. A., & Menezes, M. A. (1982). Pesquisa e aproveitamento de água subterrânea para abastecimento urbano nas dunas costeiras do Ceará. Salvador: 2º Congresso brasileiro de águas subterrâneas.
- Campos, H. C. (Junho de 2004). Águas subterrâneas na Bacia do Paraná. 19(37), pp. 47 - 65.
- Castro, K. Q., & Gonçalves, J. A. (2022). Quantificação do potencial hídrico subterrâneo do baixo curso do rio Piracicaba (MG): Interação das águas subterrâneas e superficiais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(01), 1881 - 1901.
- Chambel, A. (2016). Águas subterrâneas: a importância de um recurso escondido. (39-56).
- Cleary, R. W. (2017). *Águas subterrâneas*. Florida.
- Conicelli, B. P. (2014). *Gestão das águas subterrâneas na Bacia hidrográfica do Alto Tietê*. São Paulo.
- Diamantino, C. (2005). Metodologias de recarga artificial de aquíferos .
- Dora, A. S. (2013). *Quantificação de reservas renováveis de água subterrânea em bacias hidrográficas a partir de séries históricas de vazão: uma ferramenta para a gestão de bacias*. Porto Alegre.
- Ferraz, F. D., Mlyashiro, N. J., Riyis, M. T., & Cunha, R. C. (2015). Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo: infiltração em sonfagens e slug test em poços de monitoramento. 10(1).
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology*. New Jersey.
- Fiori, J. P. (2010). *Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados*. Brasília.

- Groundwater potential zonation by Remote Sensing and GIS techniques and its relation to the Groundwater level in the Coastal part of the Arani and Koratalai River Basin, Southern India. (Dezembro de 2013). *Earth Sciences research journal* , 17(2), pp. 87-95.
- Hipolito, J. R., & Vaz, Á. C. (2011). *HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS*. Lisboa: ISTPRESS Tecnico .
- Hoguane, A. M., & Antonio, M. H. (2016). The Hydrodynamics of the Incomati Estuary - An Alternative Approach to Estimate the Minimum Environmental Flow.
- Iritani, M. A., & Ezaki, S. (2008). *As águas subterrâneas do estado de São Paulo*. São Paulo.
- JIBS. (2001). *Joint Inkomatti Basin Study Phase 2; Consultec in association with BKS Acres, final Draft*.
- Júnior, G. C., Lowsby, M. G., Alves, M. d., Ferrucio, P. L., Monteiro, A. C., & Almeida, R. R. (2000). A problemática da intrusão marinha nos aquíferos costeiros do leste Fluminense: Um estudo de caso - a região oceanica de Niterói.
- Lapeña, B. P., Saimone, F., & Juízo, D. (2018). Mapping groundwater availability and adequacy in the lower Zambezi River basin.
- LeMarie, M., Zaag, P. v., Menting, G., Baquete, E., & Schotanus, D. (2006). The use of remote sensing for monitoring environmental indicators: The case of the Incomati estuary, Mozambique. 31, 857 - 863.
- Lourencetti, J. (2013). *Avaliação espaço-temporal da disponibilidade hídrica subterrânea do Município de São José do Rio Preto*. São Paulo.
- Naghattini, M. (2012). *Introdução à Hidrologia Aplicada*. Belo Horizonte.
- Oborie, E., & Nwankwoala, H. O. (Setembro de 2017). Determination of groundwater flow direction in Yenagoa, Bayelsa State, Nigeria. *Journal of Scientific Achievements*, 2(9), 23 - 27.
- Paula, T. L. (2015). *Comportamento hidráulico de aquíferos sedimentares e metassedimentares de dupla porosidade da região do alto Paraguai, MT*. Brasília.
- Queiroz, E. F. (2012). *Sustentabilidade e impactos ambientais da agropecuária: O caso do ciclo hidrológico(4)*.
- Santos, R. M. (2012). *Recarga de águas subterrâneas em ambiente cerrado: Estudo com base em modelagem numérica e simulação hidrológica em uma bacia experimental*. Brasília .
- Sengo, D. J., Kachapila, A., Zaag, P. v., Mul, M., & Nkomo, S. (Agosto de 2005). Valuing environmental water pulses into Incomati estuary: Key to achieving

equitable and sustainable utilisation of transboundary waters. *Physics and Chemistry Of the Earth*, 30, 648 - 657.

Shirima, M. D. (2022). *Importância da conservação das Bacias Hidrográficas na Preservação dos Serviços Ecossistêmicos: Delta do Rio Incomati*. Maputo.

Silva, A. A. (2021). *Escassez Hidrica na Bacia hidrográfica do rio Tubarão e suas possíveis consequências no abastecimento pública*. Tubarão.

Souza, R. T. (2010). *Aspectos fundamentais à compreensão da hidrogeologia costeira em uma área de pontal do sul - PR*. Curitiba.

Suganthi, S., Elango, L., & Subramanian, S. K. (December de 2013). Groundwater potential zonation by Remote Sensing and GIS techniques and its relation to the Groundwater level in the Coastal part of the Arani and Koratalai River Basin, Southern India. *Earth Sciences Research Journal*, 17(2), 87-95.

Teixeira, W., Toledo, M. C., Fairchild, T. R., & Taioli, F. (2000). *Água subterrânea*. Florianópolis.

Tundisi, J. G. (2003). *Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado*. São Paulo.

Vaz, Á. C., & Zaag, P. V. (2002). *Sharing the Incomati waters (Cooperation and Competition in the Balance)*.

Vaughn, Pamela. 2015. *A basic study in groundwater and hydrogeologic characteristics of principal aquifers in the United States*

ANEXOS

Anexo A – Métodos dos ensaios

A – 1: Execução de *Slugtests*

Equipamentos

Para a execução do ensaio foram necessários os seguintes equipamentos:

- Tubo PVC;
- Cabo resistente;
- Transdutor de pressão (Diver);
- Aparelho para medição de nível (sonda eléctrica);
- Trado manual;
- Planilha para anotação dos dados de campo;
- Recipientes de água com capacidade de 20l (Bidons).

Procedimentos

1. Fez-se as escavações dos poços nos lugares demarcados com ajuda do trado manual;
2. Mediu-se o nível estático de água no interior do piezómetro do ensaio com um medidor de nível de água eléctrico, anotando os dados em uma planilha;
3. Inseriu-se o filtro no poço, posicionando-o de modo a dar início ao ensaio;
4. Inseriu-se o transdutor de pressão no interior do filtro, amarrando-o com um fio na tampa desse, mergulhando-o até esse estar em contacto com o nível estático da água;
5. Adicionou-se o volume de água, com ajuda de um reservatório com capacidade de 20L;
6. O ensaio foi encerrado quando o nível de água retornou ao nível estático inicial. Repetiu-se o procedimento nos pontos em cada lugar demarcado.
7. Obtiveram-se as medidas de recuperação do nível de água através do sistema de aquisição de dados do transdutor de pressão no qual foi gerada uma planilha no formato .xls., com os dados em termos de pressão absoluta, medidas pelo transdutor para cada ensaio.

A – 2: Ensaio de infiltração

Equipamentos

Para a realização do ensaio foram necessários os seguintes equipamentos:

- Cronometro;
- Martelo;
- Planilha para anotação dos dados de campo;
- Infiltrômetro de anéis concêntricos;
- Recipientes para armazenar água com capacidade de 20l.

Procedimento experimental

1. Os cilindros concêntricos foram colocados no solo de tal maneira que a dispersão lateral da água inserida seja evitada. Uma vez colocados no solo, é importante averiguar o nível dos anéis.
2. Adiciona-se água no anel externo até a estabilização do nível (saturação do solo). A infiltração deste volume de água adicionado no anel externo tende a fluir vertical e lateralmente. Desta forma, ocorre a criação de uma barreira hidráulica garantindo que a água infiltrada no solo a partir do comportamento interno infiltre na principalmente na direção vertical.
3. Adiciona-se água no anel interno, tendo sempre o cuidado de manter o nível de água do anel externo mais elevado que no anel interno. É necessário aguardar alguns minutos para que haja a humidificação inicial do solo antes de se iniciar as medições.
4. Adiciona-se novamente água até topo do anel interno.
5. Inicia-se a leitura do tempo com a auxílio do cronómetro.

Anexo B – Tabela de Resultados dos ensaios

B-1: Ensaio de infiltração

Tabela B-1.1: primeira e segunda visita de campo (25 de Agosto de 2022 e 26 de Agosto de 2022)

Ponto 2 (25/08/2022)		Ponto 3 (25/08/2022)		Ponto 4 (26/08/2022)		Ponto 5 (26/08/2022)	
Tempo (s)	Altura (mm)	Tempo (s)	Altura (mm)	Tempo (s)	Altura (mm)	Tempo (s)	Altura (mm)
0		0		0		0	
10	253	10	290	10	269	10	258
20	245	20	285	20	255	20	254
30	234	30	280	30	250	30	246
40	231	40	275	40	247	40	241
50	229	50	272	50	243	50	236
60	225	60	268	60	237	60	230
70	221	70	264	70	231	70	227
80	217	80	260	80	230	80	225
90	213	90	256	90	229	90	221
100	208	100	252	100	228	100	218
110	204	110	248	110	225	110	215
120	200	120	244	120	222	120	212
130	195	130	238	130	219	130	209
140	192	140	236	140	217	140	206
150	188	150	232	150	214	150	202
160	185	160	228	160	213	160	199
170	180	170	224	170	209	170	195
180	177	180	220	180	206	180	193
190	174	190	218	190	203	190	190
200	170	200	215	200	201	200	188
210	166	210	212	210	199	210	185
220	163	220	208	220	197	220	182
230	160	230	203	230	194	230	179
240	156	240	199	240	192	240	176
250	153	250	195	250	190	250	172
260	150	260	192	260	196	260	169
270	146	270	189	270	195	270	166
280	141	280	185	280	187	280	164
290	140	290	181	290	185	290	161
300	138	300	178	300	181	300	159
310	137	310	170	310	178	310	154
320	135	320	168	320	166	320	151
330	126	330	165	330	163	330	148
340	121	340	161	340	159	340	145
350	120	350	160	350	155	350	143
360	119	360	154	360	149	360	142

370	117	370	151	370	147	370	138
380	115	380	149	380	142	380	135
390	114	390	147	390	138	390	130
400	112	400	143	400	132	400	124
410	100	410	142	410	125	410	120

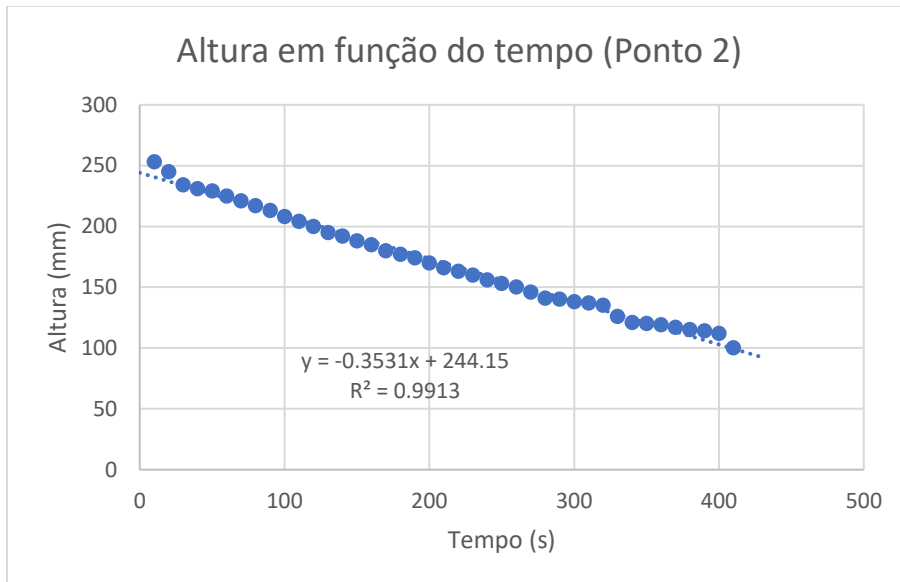


Figura B-1.1: Gráfico do ensaio de infiltração, ponto 2

Infiltração, ponto 3

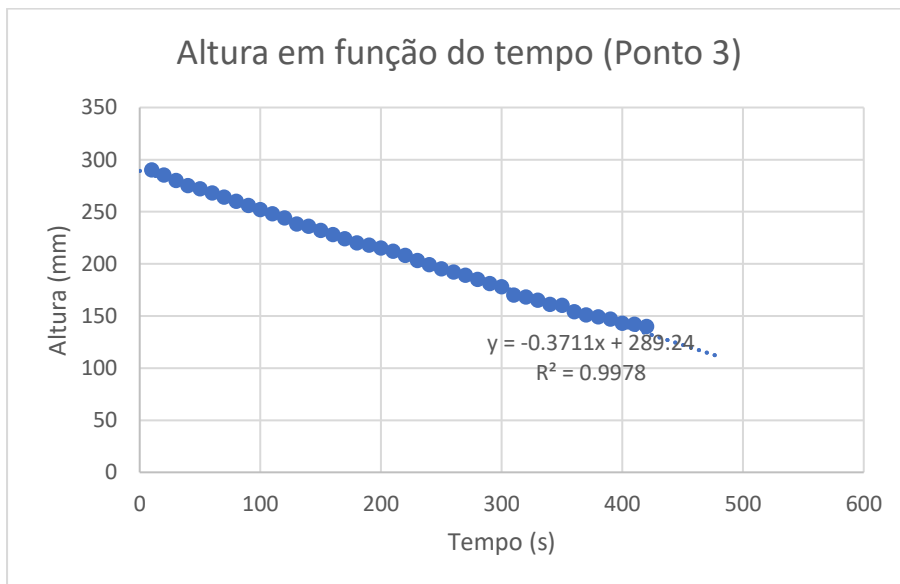


Figura B-1.2: Gráfico do ensaio de infiltração, ponto 3

Infiltração ponto 4

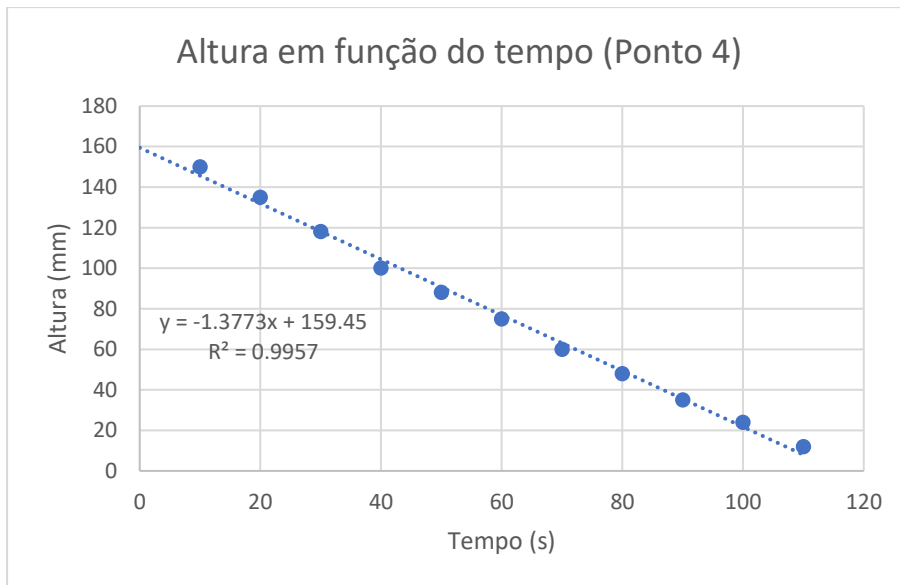


Figura B-1.3: Gráfico do ensaio de infiltração, ponto 4

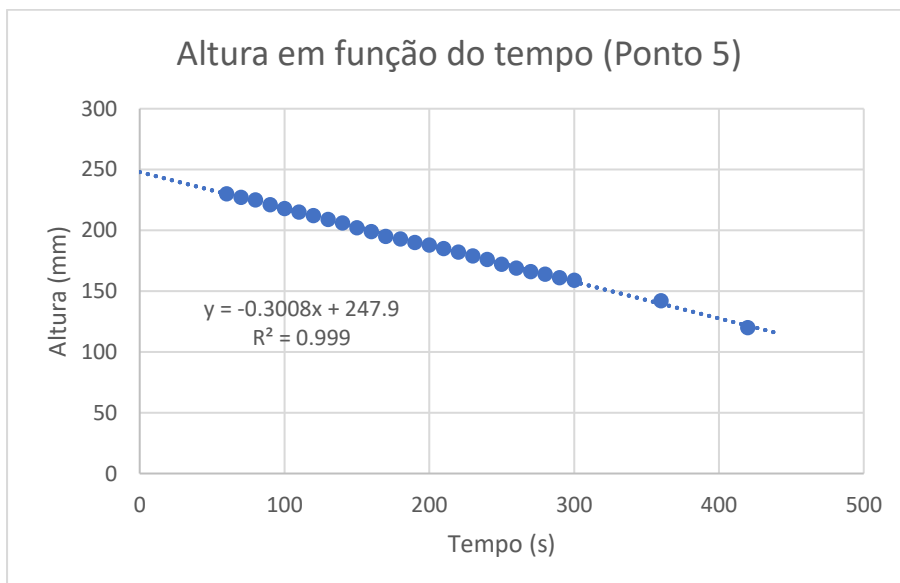


Figura B-1.4: Gráfico do ensaio de infiltração, ponto 5

B-2: Slugtests

Tabela B-2.1: nível de profundidade do lençol freático

PONTOS	PROFUNDIDADE (cm)
P1F1	245
P1F2	338
P1F3	358
P2F1	118
P2F2	158
P2F3	109
P3F1	100
P3F2	225
P3F3	337
P4F1	28
P4F2	114
P4F3	118
P5F1	97
P5F2	147
P5F3	227

Tabela B-2.2: planilha gerada pelo *diver* para os ensaios nos pontos 1 e 2

Primeiro Dia (25/08/2022)				Primeiro Dia (25/08/2022)			
Tempo	pressão	Temperatura	Condutividade	tempo	Pressão	temperatura	condutividade
10:45:16	1046	25.65	0.13	11:13:11	1039	24.50	0.06
10:45:21	1048	25.83	0.12	11:13:16	1038	24.50	0.06
10:45:26	1049	25.87	0.12	11:13:21	1038	24.50	0.06
10:45:31	1049	25.71	0.12	11:13:26	1038	24.50	0.06
10:45:36	1044	25.37	0.12	11:13:31	1038	24.50	0.06
10:45:41	1035	25.25	0.12	11:13:36	1039	24.50	0.06
10:45:46	1033	25.25	0.12	11:13:41	1038	24.50	0.06
10:45:51	1034	25.24	0.12	11:13:46	1038	24.50	0.06
10:45:56	1032	25.22	0.11	11:13:51	1038	24.50	0.06
10:46:01	1032	25.20	0.11	11:13:56	1038	24.50	0.06

10:46:0 6	1032	25.18	0.11	11:14:0 1	1039	24.50	0.06
10:46:1 1	1031	25.15	0.11	11:14:0 6	1038	24.50	0.06
10:46:1 6	1032	25.13	0.11	11:14:1 1	1039	24.50	0.06
10:46:2 1	1032	25.10	0.11	11:14:1 6	1039	24.50	0.06
10:46:2 6	1031	25.08	0.10	11:14:2 1	1038	24.50	0.06
10:46:3 1	1030	25.06	0.10	11:14:2 6	1038	24.50	0.06
10:46:3 6	1030	25.04	0.10	11:14:3 1	1039	24.50	0.06
10:46:4 1	1031	25.03	0.10	11:14:3 6	1039	24.50	0.06
10:46:4 6	1032	25.01	0.10	11:14:4 1	1038	24.50	0.06
10:46:5 1	1031	25.00	0.10	11:14:4 6	1039	24.50	0.06
10:46:5 6	1028	24.98	0.10	11:14:5 1	1039	24.50	0.06
10:47:0 1	1030	24.96	0.10	11:14:5 6	1039	24.50	0.06
10:47:0 6	1029	24.95	0.11	11:15:0 1	1039	24.50	0.06
10:47:1 1	1031	24.94	0.11	11:15:0 6	1039	24.50	0.06
10:47:1 6	1022	24.93	0.11	11:15:1 1	1039	24.50	0.06
10:47:2 1	1025	24.90	0.10	11:15:1 6	1039	24.50	0.06
10:47:2 6	1035	24.88	0.10	11:15:2 1	1038	24.50	0.06
10:47:3 1	1037	24.85	0.10	11:15:2 6	1039	24.50	0.06
10:47:3 6	1037	24.83	0.10	11:15:3 1	1039	24.50	0.06
10:47:4 1	1038	24.81	0.09	11:15:3 6	1039	24.50	0.06
10:47:4 6	1038	24.80	0.08	11:15:4 1	1038	24.50	0.06
10:47:5 1	1039	24.79	0.08	11:15:4 6	1039	24.50	0.06
10:47:5 6	1038	24.78	0.08	11:15:5 1	1039	24.50	0.06
10:48:0 1	1039	24.77	0.08	11:15:5 6	1039	24.50	0.06
10:48:0 6	1038	24.76	0.08	11:16:0 1	1039	24.50	0.06

10:48:1 1	1039	24.76	0.08	11:16:0 6	1038	24.50	0.06
10:48:1 6	1039	24.75	0.08	11:16:1 1	1038	24.50	0.06
10:48:2 1	1039	24.74	0.08	11:16:1 6	1038	24.50	0.06
10:48:2 6	1040	24.74	0.08	11:16:2 1	1038	24.50	0.06
10:48:3 1	1039	24.73	0.08	11:16:2 6	1039	24.50	0.06
10:48:3 6	1039	24.73	0.08	11:16:3 1	1038	24.50	0.06
10:48:4 1	1040	24.72	0.08	11:16:3 6	1039	24.50	0.06
10:48:4 6	1039	24.72	0.08	11:16:4 1	1039	24.50	0.06
10:48:5 1	1039	24.71	0.08	11:16:4 6	1039	24.50	0.06
10:48:5 6	1039	24.71	0.08	11:16:5 1	1038	24.50	0.06
10:49:0 1	1039	24.70	0.08	11:16:5 6	1038	24.50	0.06
10:49:0 6	1039	24.70	0.08	11:17:0 1	1038	24.50	0.06
10:49:1 1	1039	24.70	0.08	11:17:0 6	1039	24.50	0.06
10:49:1 6	1039	24.69	0.08	11:17:1 1	1038	24.50	0.06
10:49:2 1	1039	24.69	0.08	11:17:1 6	1038	24.50	0.06
10:49:2 6	1039	24.69	0.08	11:17:2 1	1038	24.50	0.06
10:49:3 1	1040	24.68	0.08	11:17:2 6	1038	24.50	0.06
10:49:3 6	1040	24.68	0.08	11:17:3 1	1038	24.50	0.06
10:49:4 1	1040	24.68	0.08	11:17:3 6	1038	24.50	0.06
10:49:4 6	1040	24.68	0.08	11:17:4 1	1039	24.50	0.06
10:49:5 1	1039	24.67	0.08	11:17:4 6	1039	24.50	0.06
10:49:5 6	1039	24.67	0.08	11:17:5 1	1038	24.50	0.06
10:50:0 1	1039	24.67	0.08	11:17:5 6	1039	24.50	0.06
10:50:0 6	1039	24.66	0.08	11:18:0 1	1038	24.50	0.06
10:50:1 1	1039	24.66	0.08	11:18:0 6	1039	24.50	0.06

10:50:1 6	1039	24.66	0.08	11:18:1 1	1038	24.50	0.06
10:50:2 1	1039	24.66	0.08	11:18:1 6	1038	24.50	0.06
10:50:2 6	1038	24.65	0.08	11:18:2 1	1038	24.50	0.06
10:50:3 1	1039	24.65	0.08	11:18:2 6	1038	24.50	0.06
10:50:3 6	1039	24.65	0.08	11:18:3 1	1038	24.50	0.06
10:50:4 1	1040	24.65	0.08	11:18:3 6	1039	24.50	0.06
10:50:4 6	1040	24.65	0.08	11:18:4 1	1038	24.50	0.06
10:50:5 1	1040	24.64	0.08	11:18:4 6	1039	24.50	0.06
10:50:5 6	1040	24.64	0.08	11:18:5 1	1039	24.50	0.06
10:51:0 1	1039	24.64	0.08	11:18:5 6	1039	24.50	0.06
10:51:0 6	1039	24.64	0.08	11:19:0 1	1039	24.50	0.06
10:51:1 1	1039	24.63	0.08	11:19:0 6	1039	24.50	0.06
10:51:1 6	1039	24.63	0.08	11:19:1 1	1038	24.50	0.06
10:51:2 1	1038	24.63	0.08	11:19:1 6	1039	24.50	0.06
10:51:2 6	1038	24.63	0.08	11:19:2 1	1039	24.50	0.06
10:51:3 1	1039	24.63	0.08	11:19:2 6	1038	24.50	0.06
10:51:3 6	1039	24.62	0.08	11:19:3 1	1039	24.50	0.06
10:51:4 1	1039	24.62	0.08	11:19:3 6	1039	24.50	0.06
10:51:4 6	1039	24.62	0.08	11:19:4 1	1039	24.50	0.06
10:51:5 1	1039	24.62	0.08	11:19:4 6	1039	24.50	0.06
10:51:5 6	1039	24.62	0.08	11:19:5 1	1039	24.50	0.06
10:52:0 1	1038	24.62	0.08	11:19:5 6	1039	24.50	0.06
10:52:0 6	1039	24.61	0.08	11:20:0 1	1039	24.50	0.06
10:52:1 1	1039	24.61	0.08	11:20:0 6	1039	24.50	0.06
10:52:1 6	1039	24.61	0.08	11:20:1 1	1038	24.50	0.06

10:52:2 1	1039	24.61	0.08	11:20:1 6	1039	24.50	0.06
10:52:2 6	1040	24.60	0.08	11:20:2 1	1037	24.50	0.06
10:52:3 1	1040	24.60	0.08	11:20:2 6	1039	24.50	0.06
10:52:3 6	1040	24.60	0.08	11:20:3 1	1039	24.50	0.06
10:52:4 1	1038	24.60	0.08	11:20:3 6	1037	24.50	0.06
10:52:4 6	1039	24.60	0.08	11:20:4 1	1039	24.50	0.06
10:52:5 1	1038	24.60	0.08	11:20:4 6	1039	24.50	0.06
10:52:5 6	1039	24.60	0.08	11:20:5 1	1039	24.50	0.06
10:53:0 1	1039	24.60	0.08	11:20:5 6	1039	24.50	0.06
10:53:0 6	1039	24.59	0.08	11:21:0 1	1039	24.50	0.06
10:53:1 1	1040	24.59	0.08	11:21:0 6	1039	24.50	0.06
10:53:1 6	1039	24.59	0.08	11:21:1 1	1039	24.50	0.06
10:53:2 1	1040	24.59	0.08	11:21:1 6	1039	24.50	0.06
10:53:2 6	1039	24.59	0.08	11:21:2 1	1039	24.50	0.06
10:53:3 1	1039	24.59	0.08	11:21:2 6	1039	24.50	0.06
10:53:3 6	1039	24.58	0.08	11:21:3 1	1039	24.50	0.06
10:53:4 1	1039	24.58	0.08	11:21:3 6	1039	24.50	0.06
10:53:4 6	1039	24.58	0.08	11:21:4 1	1039	24.50	0.06
10:53:5 1	1038	24.58	0.08	11:21:4 6	1039	24.50	0.06
10:53:5 6	1039	24.58	0.07	11:21:5 1	1039	24.50	0.06
10:54:0 1	1039	24.58	0.07	11:21:5 6	1039	24.49	0.06
10:54:0 6	1039	24.58	0.07	11:22:0 1	1039	24.50	0.06
10:54:1 1	1039	24.57	0.07	11:22:0 6	1039	24.50	0.05
10:54:1 6	1039	24.57	0.07	11:22:1 1	1039	24.50	0.05
10:54:2 1	1039	24.57	0.07	11:22:1 6	1039	24.49	0.05

10:54:2 6	1039	24.57	0.07	11:22:2 1	1039	24.49	0.05
10:54:3 1	1039	24.57	0.07	11:22:2 6	1039	24.50	0.05
10:54:3 6	1039	24.57	0.07	11:22:3 1	1039	24.49	0.05
10:54:4 1	1039	24.57	0.07	11:22:3 6	1039	24.50	0.05
10:54:4 6	1039	24.57	0.07	11:22:4 1	1039	24.50	0.05
10:54:5 1	1039	24.57	0.07	11:22:4 6	1039	24.49	0.05
10:54:5 6	1039	24.56	0.07	11:22:5 1	1039	24.49	0.05
10:55:0 1	1039	24.56	0.07	11:22:5 6	1039	24.49	0.05

Tabela B-2.3: planilha gerada pelo *diver* para os ensaios no ponto 3

Primeiro dia (25/08/2022)				Primeiro dia (25/08/2022)			
Tempo	pressã o	Temperatur a	Condutividad e	tempo	Pressã o	temperatur a	condutividad e
13:33:2 1	1036	30.69	0.01	14:34:5 1	1065	28.98	0.05
13:33:2 6	1051	29.42	0.10	14:34:5 6	1060	29.03	0.05
13:33:3 1	1058	29.16	0.07	14:35:0 1	1057	29.07	0.05
13:33:3 6	1065	29.24	0.06	14:35:0 6	1055	29.11	0.05
13:33:4 1	1073	29.37	0.05	14:35:1 1	1053	29.14	0.05
13:33:4 6	1076	29.43	0.05	14:35:1 6	1051	29.17	0.05
13:33:5 1	1079	29.46	0.05	14:35:2 1	1051	29.20	0.05
13:33:5 6	1084	29.50	0.05	14:35:2 6	1049	29.23	0.05
13:34:0 1	1086	29.54	0.05	14:35:3 1	1048	29.27	0.05
13:34:0 6	1076	29.57	0.05	14:35:3 6	1047	29.30	0.05
13:34:1 1	1070	29.59	0.05	14:35:4 1	1046	29.33	0.05
13:34:1 6	1066	29.61	0.05	14:35:4 6	1045	29.36	0.05
13:34:2	1063	29.62	0.05	14:35:5	1045	29.38	0.05

1				1			
13:34:2 6	1061	29.63	0.05	14:35:5 6	1045	29.41	0.05
13:34:3 1	1060	29.63	0.05	14:36:0 1	1044	29.42	0.05
13:34:3 6	1058	29.64	0.04	14:36:0 6	1044	29.44	0.05
13:34:4 1	1058	29.64	0.04	14:36:1 1	1043	29.46	0.05
13:34:4 6	1058	29.64	0.04	14:36:1 6	1043	29.47	0.05
13:34:5 1	1057	29.65	0.04	14:36:2 1	1043	29.48	0.05
13:34:5 6	1058	29.66	0.04	14:36:2 6	1043	29.49	0.05
13:35:0 1	1058	29.66	0.04	14:36:3 1	1042	29.50	0.05
13:35:0 6	1058	29.67	0.04	14:36:3 6	1042	29.50	0.05
13:35:1 1	1058	29.68	0.04	14:36:4 1	1042	29.51	0.05
13:35:1 6	1058	29.68	0.04	14:36:4 6	1042	29.52	0.05
13:35:2 1	1059	29.69	0.04	14:36:5 1	1042	29.53	0.05
13:35:2 6	1059	29.69	0.04	14:36:5 6	1042	29.53	0.05
13:35:3 1	1057	29.69	0.04	14:37:0 1	1042	29.54	0.05
13:35:3 6	1057	29.70	0.04	14:37:0 6	1041	29.55	0.05
13:35:4 1	1057	29.70	0.04	14:37:1 1	1041	29.55	0.05
13:35:4 6	1057	29.70	0.04	14:37:1 6	1041	29.56	0.05
13:35:5 1	1057	29.71	0.04	14:37:2 1	1040	29.56	0.05
13:35:5 6	1057	29.71	0.04	14:37:2 6	1041	29.57	0.05
13:36:0 1	1057	29.71	0.04	14:37:3 1	1041	29.58	0.05
13:36:0 6	1057	29.72	0.04	14:37:3 6	1040	29.58	0.05
13:36:1 1	1057	29.72	0.04	14:37:4 1	1040	29.58	0.05
13:36:1 6	1057	29.72	0.04	14:37:4 6	1041	29.59	0.05
13:36:2 1	1057	29.72	0.04	14:37:5 1	1040	29.59	0.05
13:36:2 6	1057	29.73	0.04	14:37:5 6	1040	29.60	0.05

6				6			
13:36:3 1	1057	29.73	0.04	14:38:0 1	1040	29.60	0.05
13:36:3 6	1057	29.73	0.04	14:38:0 6	1040	29.61	0.05
13:36:4 1	1057	29.73	0.04	14:38:1 1	1040	29.61	0.05
13:36:4 6	1057	29.74	0.04	14:38:1 6	1040	29.62	0.05
13:36:5 1	1055	29.74	0.04	14:38:2 1	1039	29.62	0.05
13:36:5 6	1056	29.74	0.04	14:38:2 6	1039	29.62	0.05
13:37:0 1	1056	29.74	0.04	14:38:3 1	1040	29.63	0.05
13:37:0 6	1057	29.74	0.04	14:38:3 6	1040	29.63	0.05
13:37:1 1	1057	29.74	0.04	14:38:4 1	1035	29.64	0.04
13:37:1 6	1056	29.74	0.04	14:38:4 6	1035	29.66	0.04
13:37:2 1	1056	29.74	0.04	14:38:5 1	1035	29.68	0.03
13:37:2 6	1056	29.75	0.04	14:38:5 6	1034	29.41	0.03
13:37:3 1	1057	29.74	0.04	14:39:0 1	1034	29.11	0.03
13:37:3 6	1056	29.75	0.04	14:39:0 6	1034	28.84	0.03
13:37:4 1	1056	29.75	0.04	14:39:1 1	1034	28.54	0.03
13:37:4 6	1056	29.75	0.04	14:39:1 6	1033	28.21	0.03
13:37:5 1	1057	29.74	0.04	14:39:2 1	1033	27.91	0.03
13:37:5 6	1056	29.74	0.04	14:39:2 6	1033	27.72	0.03
13:38:0 1	1056	29.75	0.04	14:39:3 1	1033	27.44	0.03
13:38:0 6	1056	29.75	0.04	14:39:3 6	1032	27.19	0.03
13:38:1 1	1056	29.75	0.04	14:39:4 1	1032	27.01	0.03
13:38:1 6	1056	29.75	0.04	14:39:4 6	1032	26.86	0.03
13:38:2 1	1056	29.75	0.04	14:39:5 1	1034	26.46	0.03
13:38:2 6	1057	29.75	0.04	14:39:5 6	1032	26.34	0.03
13:38:3	1056	29.75	0.04	14:40:0	1034	26.22	0.02

1				1			
13:38:3 6	1056	29.75	0.04	14:40:0 6	1033	26.10	0.02
13:38:4 1	1056	29.75	0.04	14:40:1 1	1032	25.97	0.02
13:38:4 6	1056	29.75	0.04	14:40:1 6	1033	25.85	0.02
13:38:5 1	1056	29.74	0.04	14:40:2 1	1033	25.72	0.02
13:38:5 6	1056	29.75	0.04	14:40:2 6	1033	25.60	0.02
13:39:0 1	1056	29.74	0.04	14:40:3 1	1033	25.48	0.02
13:39:0 6	1056	29.74	0.04	14:40:3 6	1034	25.33	0.02
13:39:1 1	1056	29.74	0.04	14:40:4 1	1032	25.24	0.02
13:39:1 6	1055	29.74	0.04	14:40:4 6	1033	25.17	0.02
13:39:2 1	1056	29.74	0.04	14:40:5 1	1034	25.14	0.02
13:39:2 6	1055	29.74	0.04	14:40:5 6	1034	25.09	0.02
13:39:3 1	1035	29.74	0.04	14:41:0 1	1034	25.01	0.02
13:39:3 6	1035	29.74	0.04	14:41:0 6	1034	24.98	0.02
13:39:4 1	1035	29.74	0.04	14:41:1 1	1034	24.97	0.02
13:39:4 6	1035	29.73	0.04	14:41:1 6	1033	24.93	0.02
13:39:5 1	1034	29.58	0.01	14:41:2 1	1034	24.82	0.02

Tabela B-2.4: planilha gerada pelo *diver* para os ensaios nos pontos 4 e 5

Segundo dia (26/08/2022)				Segundo dia (26/08/2022)			
tempo	pressã o	Temperatur a	Condutividad e	tempo	Pressã o	temperatur a	condutividad e
10:34:2 6	1045	28.02	0.39	12:28:4 6	1048	27.28	0.16
10:34:3 1	1067	26.32	0.44	12:28:5 1	1067	26.92	0.18
10:34:3 6	1082	26.27	0.44	12:28:5 6	1079	27.00	0.18
10:34:4 1	1083	26.29	0.44	12:29:0 1	1082	26.93	0.18
10:34:4 6	1085	26.21	0.44	12:29:0 6	1093	26.87	0.18

6				6			
10:34:5 1	1088	26.21	0.43	12:29:1 1	1093	26.81	0.18
10:34:5 6	1086	26.17	0.43	12:29:1 6	1093	26.79	0.18
10:35:0 1	1089	26.15	0.43	12:29:2 1	1080	26.76	0.18
10:35:0 6	1093	26.16	0.43	12:29:2 6	1068	26.75	0.18
10:35:1 1	1084	26.11	0.43	12:29:3 1	1061	26.67	0.18
10:35:1 6	1075	26.01	0.43	12:29:3 6	1057	26.59	0.18
10:35:2 1	1068	26.02	0.43	12:29:4 1	1053	26.57	0.18
10:35:2 6	1062	26.02	0.43	12:29:4 6	1051	26.54	0.18
10:35:3 1	1057	26.02	0.43	12:29:5 1	1050	26.51	0.18
10:35:3 6	1055	26.01	0.43	12:29:5 6	1048	26.50	0.18
10:35:4 1	1051	26.01	0.43	12:30:0 1	1048	26.48	0.18
10:35:4 6	1049	26.00	0.43	12:30:0 6	1046	26.46	0.18
10:35:5 1	1048	25.99	0.43	12:30:1 1	1046	26.45	0.18
10:35:5 6	1046	25.98	0.43	12:30:1 6	1045	26.43	0.18
10:36:0 1	1045	25.97	0.43	12:30:2 1	1045	26.42	0.18
10:36:0 6	1045	25.96	0.43	12:30:2 6	1045	26.40	0.18
10:36:1 1	1045	25.96	0.43	12:30:3 1	1043	26.39	0.18
10:36:1 6	1043	25.95	0.43	12:30:3 6	1042	26.38	0.18
10:36:2 1	1042	25.94	0.43	12:30:4 1	1042	26.36	0.18
10:36:2 6	1042	25.94	0.43	12:30:4 6	1042	26.35	0.18
10:36:3 1	1042	25.93	0.43	12:30:5 1	1042	26.34	0.18
10:36:3 6	1040	25.93	0.43	12:30:5 6	1042	26.33	0.18
10:36:4 1	1040	25.92	0.43	12:31:0 1	1041	26.32	0.18
10:36:4 6	1041	25.92	0.43	12:31:0 6	1042	26.31	0.18
10:36:5	1039	25.91	0.43	12:31:1	1041	26.30	0.18

1				1			
10:36:5 6	1040	25.91	0.42	12:31:1 6	1042	26.29	0.18
10:37:0 1	1039	25.90	0.10	12:31:2 1	1041	26.29	0.18
10:37:0 6	1037	25.90	0.00	12:31:2 6	1040	26.28	0.18
10:37:1 1	1035	25.91	0.00	12:31:3 1	1041	26.27	0.18
10:37:1 6	1035	25.91	0.00	12:31:3 6	1040	26.27	0.18
10:37:2 1	1035	25.91	0.00	12:31:4 1	1040	26.26	0.18
10:37:2 6	1035	25.91	0.00	12:31:4 6	1041	26.25	0.18
10:37:3 1	1035	25.91	0.00	12:31:5 1	1040	26.25	0.18
10:37:3 6	1035	25.91	0.00	12:31:5 6	1040	26.25	0.09
10:37:4 1	1035	25.91	0.00	12:32:0 1	1040	26.25	0.06
10:37:4 6	1035	25.91	0.00	12:32:0 6	1039	26.25	0.04
10:37:5 1	1035	25.91	0.00	12:32:1 1	1039	26.25	0.03
10:37:5 6	1035	25.91	0.00	12:32:1 6	1039	26.25	0.02
10:38:0 1	1034	25.91	0.00	12:32:2 1	1039	26.25	0.02
10:38:0 6	1035	25.91	0.00	12:32:2 6	1039	26.25	0.02
10:38:1 1	1035	25.91	0.00	12:32:3 1	1039	26.25	0.02
10:38:1 6	1036	25.91	0.00	12:32:3 6	1039	26.25	0.02
10:38:2 1	1036	25.91	0.00	12:32:4 1	1040	26.25	0.02
10:38:2 6	1035	25.90	0.00	12:32:4 6	1039	26.25	0.02
10:38:3 1	1035	25.91	0.00	12:32:5 1	1040	26.26	0.02
10:38:3 6	1035	25.91	0.00	12:32:5 6	1040	26.25	0.02
10:38:4 1	1035	25.91	0.00	12:33:0 1	1039	26.26	0.02
10:38:4 6	1035	25.90	0.00	12:33:0 6	1038	26.26	0.02
10:38:5 1	1035	25.90	0.00	12:33:1 1	1038	26.26	0.02
10:38:5	1035	25.90	0.00	12:33:1	1038	26.26	0.02

6				6			
10:39:0 1	1035	25.90	0.00	12:33:2 1	1039	26.26	0.02
10:39:0 6	1035	25.90	0.00	12:33:2 6	1038	26.26	0.02
10:39:1 1	1037	25.90	0.00	12:33:3 1	1038	26.26	0.02
10:39:1 6	1038	25.74	0.00	12:33:3 6	1038	26.26	0.02
10:39:2 1	1038	25.48	0.00	12:33:4 1	1038	26.26	0.02
10:39:2 6	1037	25.32	0.00	12:33:4 6	1038	26.26	0.02
10:39:3 1	1036	25.19	0.00	12:33:5 1	1038	26.27	0.02
10:39:3 6	1037	24.92	0.00	12:33:5 6	1038	26.27	0.02
10:39:4 1	1037	24.74	0.00	12:34:0 1	1037	26.27	0.02
10:39:4 6	1037	24.82	0.00	12:34:0 6	1038	26.27	0.02
10:39:5 1	1037	24.85	0.00	12:34:1 1	1035	26.26	0.02
10:39:5 6	1037	24.89	0.00	12:34:1 6	1036	26.12	0.02
10:40:0 1	1037	24.87	0.00	12:34:2 1	1036	26.04	0.02
10:40:0 6	1038	24.74	0.00	12:34:2 6	1036	25.99	0.01
10:40:1 1	1037	24.72	0.00	12:34:3 1	1035	26.06	0.01
10:40:1 6	1037	24.75	0.00	12:34:3 6	1036	26.24	0.01
10:40:2 1	1036	24.67	0.00	12:34:4 1	1036	26.37	0.01
10:40:2 6	1036	24.52	0.00	12:34:4 6	1035	26.53	0.01
10:40:3 1	1036	24.34	0.00	12:34:5 1	1036	26.74	0.01
10:40:3 6	1037	24.21	0.00	12:34:5 6	1036	26.96	0.01
10:40:4 1	1037	24.18	0.00	12:35:0 1	1037	27.15	0.01
10:40:4 6	1037	24.15	0.00	12:35:0 6	1037	27.18	0.01
10:40:5 1	1037	24.03	0.00	12:35:1 1	1036	27.23	0.01
10:40:5 6	1036	24.04	0.00	12:35:1 6	1035	27.22	0.01

B-3: Gráficos gerados pelo método de Hvorslev para a determinação da condutividade hidráulica

Tabela B-3.1: cálculo das constantes para a determinação da condutividade hidráulica para o ponto 2

tempo (s)	H (cm)	H/H0	ln(H0/H)	(1/t)*ln(H0/H)
0	30	1,000	0	
5	20	0,667	0,405465	0,081093022
10	14	0,467	0,76214	0,076214005
15	10	0,333	1,098612	0,073240819
20	7	0,233	1,455287	0,072764362
25	5	0,167	1,791759	0,071670379
30	4	0,133	2,014903	0,067163434
35	2	0,067	2,70805	0,077372863
40	2	0,067	2,70805	0,067701255
45	2	0,067	2,70805	0,060178893
50	1	0,033	3,401197	0,068023948
55	2	0,067	2,70805	0,049237276
60	2	0,067	2,70805	0,04513417
65	2	0,067	2,70805	0,041662311
70	2	0,067	2,70805	0,038686431
75	2	0,067	2,70805	0,036107336
80	3	0,100	2,302585	0,028782314
85	3	0,100	2,302585	0,027089236
90	1	0,033	3,401197	0,037791082
95	1	0,033	3,401197	0,035802078
100	1	0,033	3,401197	0,034011974
105	1	0,033	3,401197	0,032392356
110	1	0,033	3,401197	0,030919976
115	1	0,033	3,401197	0,029575629
120	1	0,033	3,401197	0,028343312



Figura B-3.1: determinação do T37

Tabela B-3.2: cálculo das constantes para o a determinação da condutividade hidráulica para o ponto 3

t (s)	H (cm)	H/H0	ln(H0/H)	(1/t)*ln(H0/H)
0	45	1	0	
5	38	0,844444	0,169076	0,033815266
10	31	0,688889	0,372675	0,037267529
15	26	0,577778	0,548566	0,036571063
20	23	0,511111	0,671168	0,033558414
25	21	0,466667	0,76214	0,030485602
30	19	0,422222	0,862224	0,028740784
35	17	0,377778	0,973449	0,027812833
40	17	0,377778	0,973449	0,024336229
45	15	0,333333	1,098612	0,024413606
50	14	0,311111	1,167605	0,023352103
55	13	0,288889	1,241713	0,022576602
60	12	0,266667	1,321756	0,022029264
65	11	0,244444	1,408767	0,021673342
70	11	0,244444	1,408767	0,020125246
75	11	0,244444	1,408767	0,018783563
80	10	0,222222	1,504077	0,018800967
85	9	0,2	1,609438	0,018934564
90	8	0,177778	1,727221	0,019191344
95	7	0,155556	1,860752	0,019586867
100	6	0,133333	2,014903	0,02014903
105	5	0,111111	2,197225	0,020925948
110	4	0,088889	2,420368	0,022003347
115	3	0,066667	2,70805	0,023548263
120	2	0,044444	3,113515	0,025945961

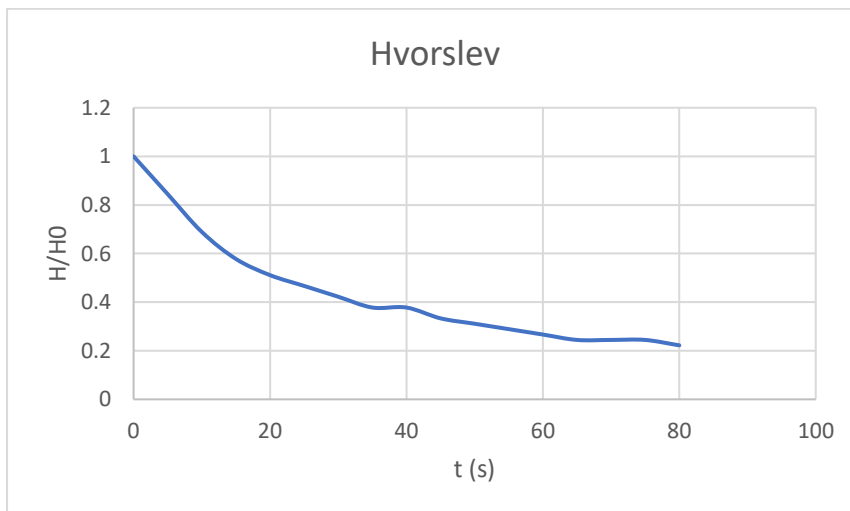


Figura B-3.2: determinação do T37

Tabela B-3.3: cálculo das constantes para o a determinação da condutividade hidráulica para o ponto 4

t (s)	H (cm)	H/H0	ln(H0/H)	(1/t)*ln(H0/H)
0	56	1	0	
5	47	0,839286	0,175204	0,035040818
10	38	0,678571	0,387766	0,038776553
15	31	0,553571	0,591364	0,039424299
20	25	0,446429	0,806476	0,040323793
25	20	0,357143	1,029619	0,041184777
30	18	0,321429	1,13498	0,037832664
35	14	0,25	1,386294	0,03960841
40	12	0,214286	1,540445	0,038511126
45	11	0,196429	1,627456	0,036165698
50	9	0,160714	1,828127	0,036562542
55	8	0,142857	1,94591	0,035380185
60	8	0,142857	1,94591	0,032431836
65	8	0,142857	1,94591	0,029937079
70	6	0,107143	2,233592	0,03190846
75	5	0,089286	2,415914	0,032212184
80	5	0,089286	2,415914	0,030198922
85	5	0,089286	2,415914	0,028422515
90	3	0,053571	2,926739	0,032519327
95	3	0,053571	2,926739	0,030807783
100	4	0,071429	2,639057	0,026390573
105	2	0,035714	3,332205	0,031735281
110	3	0,053571	2,926739	0,026606722
115	2	0,035714	3,332205	0,028975691
120	1	0,017857	4,025352	0,033544597

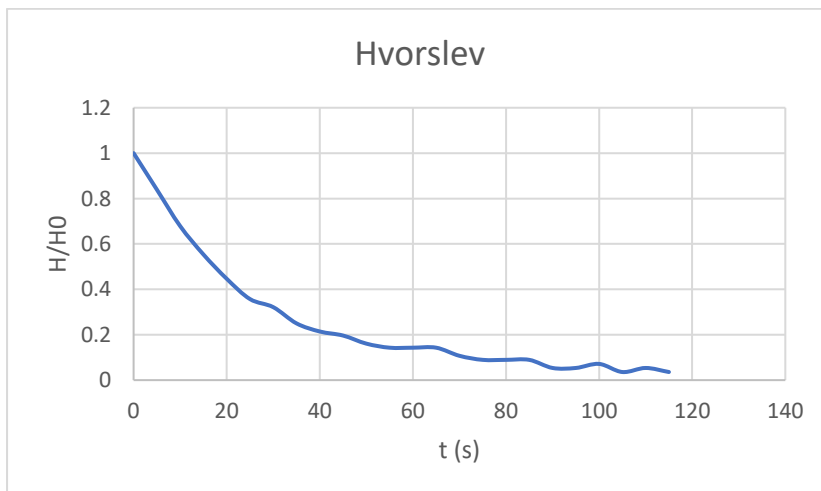


Figura B-3.3: determinação do T37

Tabela B-3.4: cálculo das constantes para o a determinação da condutividade hidráulica para o ponto 5

t (s)	H (cm)	H/H0	ln(H0/H)	(1/t)*ln(H0/H)
0	57	1	0	
5	44	0,77193	0,258862	0,051772327
10	32	0,561404	0,577315	0,057731537
15	25	0,438596	0,824175	0,05494503
20	21	0,368421	0,998529	0,049926442
25	17	0,298246	1,209838	0,048393517
30	15	0,263158	1,335001	0,044500036
35	14	0,245614	1,403994	0,040114113
40	12	0,210526	1,558145	0,038953615
45	12	0,210526	1,558145	0,034625436
50	10	0,175439	1,740466	0,034809323
55	10	0,175439	1,740466	0,03164484
60	9	0,157895	1,845827	0,030763778
65	9	0,157895	1,845827	0,028397334
70	9	0,157895	1,845827	0,026368953
75	7	0,122807	2,097141	0,027961882
80	6	0,105263	2,251292	0,028141147
85	6	0,105263	2,251292	0,026485786
90	6	0,105263	2,251292	0,025014353
95	6	0,105263	2,251292	0,023697808
100	6	0,105263	2,251292	0,022512918
105	5	0,087719	2,433613	0,02317727
110	6	0,105263	2,251292	0,020466289
115	5	0,087719	2,433613	0,021161855
120	6	0,105263	2,251292	0,018760765
125	5	0,087719	2,433613	0,019468907

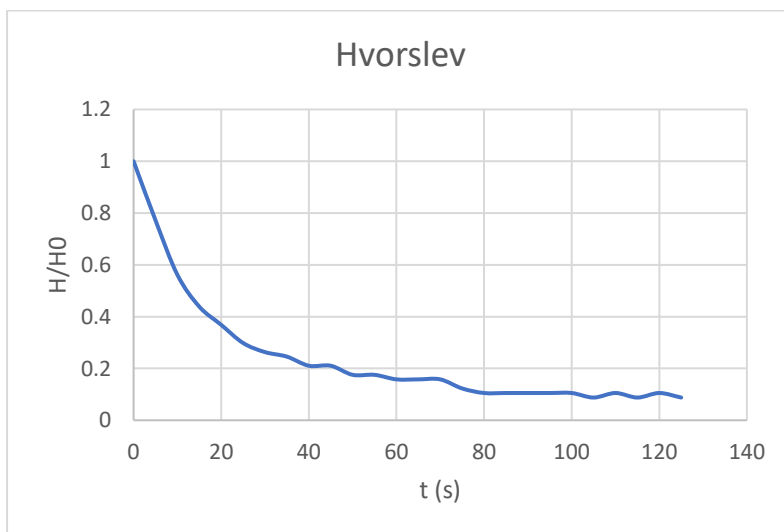


Figura B-3.4: determinação do T37

Anexo C- Imagens da área de estudo



Figura C-3.1: perfuração do poço para a realização do *slugtests*



Figura C-3.2: identificação da área para a realização dos ensaios

Anexo D: Exemplos de cálculo

D – 1: Caudal unitário pelo q de Hvorslev, para o ponto 1:

$$q = -K.H.i$$
$$q = -1,341 * 10^{-6} \times 14,78 \times 1,466 * 10^{-3}$$
$$q = 2.905 * 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$$

D – 2: Caudal unitário pelo método de Bouwer e rice

$$q = -K.H.i$$
$$q = 1,244 * 10^{-5} \times 14,78 \times 1,466 * 10^{-3}$$
$$q = 2.695 * 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$$

D – 3: Cálculo do fluxo pelo K de Hvorslev, para o ponto 1:

$$Q = B.q$$
$$Q = 1636 \text{ m} \times 2.905 * 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$$
$$Q = 4.753 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \times 3600$$
$$Q = 0.171 \text{ m}^3/\text{h}$$

D – 4: Cálculo do fluxo pelo K de Bouwer e Rice, para o ponto 1:

$$Q = B.q$$
$$Q = 1636 \text{ m} \times 2.695 * 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$$
$$Q = 4.409 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \times 3600$$
$$Q = 1.587 \text{ m}^3/\text{h}$$

D – 5: Cálculo da condutividade para Bouwer e rice

Exemplo do ponto 1:

$$K = \frac{r_e^2 \ln(R_e/R)}{2Le} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_0}{H_t}\right)$$
$$\ln(R_e/r_w) = \left[\frac{1,1}{\ln\left(\frac{L_w}{r_w}\right)} + \frac{A + B \ln\left[\frac{h - L_w}{r_w}\right]}{L_e/r_w} \right] - 1$$

$$\frac{L_e}{r_w} = \frac{95,5}{4,5} = 21,2$$

$$A = 2$$

$$B = 0,5$$

$$\ln(R_e/r_w) = \left[\frac{1,1}{\ln\left(\frac{199}{4,5}\right)} + \frac{2 + 0,5 \ln\left[\frac{300 - 199}{4,5}\right]}{95,5/5,5} \right] - 1$$

$$\ln(R_e/r_w) = 2,1833$$

Substituindo os valores na seguinte equação:

$$K = \frac{r_e^2 \ln(R_e/R)}{2L_e} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_0}{H_t}\right)$$

$$K = \frac{(4,5)^2 \times 2,1833}{2 \times 191} \frac{1}{300} \ln\left(\frac{100}{30}\right)$$

$$K = 1,244 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

$$K = 1,244 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

D – 6: Cálculo da condutividade hidráulica Hvorslev:

Exemplo do ponto 1:

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e/R)}{2L_e T_o}$$

$$K = \frac{(4,5)^2 \ln(95,4/10)}{2 \times 95,5 \times 300}$$

$$K = 1,341 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

$$K = 1,341 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

D – 7: Cálculo de K_v através do método analítico:

Exemplo do ponto 1

$$K_v = U \times \frac{I}{\Delta t} \times \ln\left(\frac{h_o}{h}\right)$$
$$K_v = \frac{1}{60000} \times \frac{35\text{mm}}{4\text{min}} \times \ln\left(\frac{253}{100}\right)$$
$$K_v = 1.356 \times 10^{-4} \text{m/s}$$

D – 8: Método gráfico, exemplo do ponto 1:

Exemplo do ponto 1

$$K_v = \times 0.3531 \text{ m/s} \times 1.45$$
$$K_v = 5.120 \times 10^{-4} \text{m/s}$$

D – 9: Determinação da espessura do aquífero:

$$Kt = \frac{r^2 \ln(R/r_s)}{2b \cdot T_o}$$
$$b = \frac{2Kt \cdot T_o}{r^2 \ln(R/r_s)}$$
$$b = \frac{2 * 323 * 10^{-6} \cdot 37}{(0.045)^2 \ln(0.1/0.045)}$$
$$b = 14.78 \text{ m}$$