



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
FACULDADE DA AGRICULTURA
ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

**AVALIAÇÃO HIDRODINÂMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUA
POTENCIALIDADE PARA A IRRIGAÇÃO NO LEITO SECO DO RIO LIMPOPO
EM GUIJÁ**

Monografia Científica submetida a Faculdade de Engenharia como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia hidráulica agrícola e água rural

Autor: Eliseu João Gujamo

Tutor: Eng^o. Paulo Sérgio Lourenço Saveca

Lionde, Maio de 2019



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia de investigação sobre avaliação hidrodinâmica da água subterrânea e sua potencialidade para a irrigação, estudo a ser realizado no leito seco do rio Limpopo – Guijá, apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Tutor: Eng^o. Paulo Sérgio Lourenço Saveca

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS	i
DECLARAÇÃO	ii
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	v
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJECTIVOS	2
1.1.1. <i>Geral:</i>	2
1.1.2. <i>Específicos:</i>	2
1.2. PROBLEMA E JUSTIFICAÇÃO	3
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Ciclo hidrológico	4
2.3. Hidrodinâmica	5
2.4. Utilização de água.....	5
2.5. Demanda de água.....	5
2.6. Escassez de água	6
2.7. Mudanças climáticas	6
2.8. Sistema de irrigação.....	7
2.8.1. Métodos de irrigação	7
2.9. Água subterrânea	8
2.9.1. Recarga de água subterrânea	8
2.9.2. Aquíferos	9
2.9.3. Classificação dos aquíferos	9
2.9.4. Capacidades de reservas dos aquíferos	10
2.9.5. Movimento da água subterrânea	10

2.9.6. Importância das reservas hídricas subterrâneas	11
2.10. Técnicas de instalação de piezômetros	11
2.11. Monitoramento do nível do lençol freático.....	13
2.13. Parâmetros físicos do aquífero.....	14
2.13.1. Condutividade hidráulica	15
2.13.3. Teste de bombagem.....	16
2.14. Tratamento de dados de monitoramento de aquíferos	16
III. MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1. Descrição da área de estudo	17
3.1.1. Localização e superfície	17
3.1.2. População	18
3.1.3. Relevo e Solos.....	18
3.1.4. Geologia	18
3.1.5. Condições de prática de agricultura	19
3.2. Caracterização hidrogeológica	19
3.2.2. Hidrografia	20
3.3. Metodologia e procedimentos de campo	21
3.3.1. Monitoramento da variabilidade do lençol freático	21
3.3.2. Classificação das camadas litológicas e sedimentos depositados no leito seco do rio Limpopo	23
3.3.3. Determinação dos parâmetros físicos do aquífero	24
3.4. Análise e interpretação de dados.....	24
IV. RESULTADOS	25
4.1. Monitoramento da variabilidade do lençol freático	25
4.2. Classificação das camadas litológicas e sedimentos depositados no leito seco do rio Limpopo.....	29
4.3. Conductividade Hidráulica	29
V. DISCUSSÃO.....	32
5.1. Monitoramento da variabilidade do lençol freático	32

5.2. Classificação das camadas litológicas e sedimentos depositados no leito seco do rio Limpopo.....	32
5.3. Condutividade Hidráulica	33
VI. CONCLUSÃO.....	34
VII. RECOMENDAÇÕES.....	35
VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
IX. ANEXO	39

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: População por Posto Administrativo	18
Tabela 2: Distribuição das áreas da bacia do Limpopo por País	20
Tabela 3: características do trado manual.....	23
Tabela 4: Valor de conductividade hidráulica para alguns materiais geológicos.....	24
Tabela 5: Material necessário para execução do estudo.....	39
Tabela 6: coordenadas dos pontos perfurados	40
Tabela 7: conductividade hidráulica da área de estudo	44
Tabela 8: capacidade volumétrica	44
Tabela 9: Resultados mensais de monitoria	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquematização do ciclo hidrológico	4
Figura 2: Distribuição da água no planeta	4
Figura 3: Reservatório de água subterrânea	9
Figure 4: Ilustração do movimento da água subterrânea.....	11
Figura 5: Ilustração do piezómetro instalado	13
Figura 6: Ilustração do equipamento usado para monitoria do nível freático (A – sonda manual, usado para fazer leitura manual; B – Baro, usado para fazer leituras automáticas).....	13
Figura 7: Ilustração do mapa do distrito de Guijá e respectiva área de estudo	17
Figura 8: Ilustração da geologia do distrito de Guijá	19
Figura 9: Ilustração dos pontos de monitoria	21
Figure 10: A – Piezómetro, sonda eléctrica e material de segurança; B - furo de monitoramento	22
Figura 11: Ilustração das perfurações (A e B).....	23
Figura 12: A - Amostras de solos nas bancadas; B – Processo de classificação das amostras de solo	24
Figura 13: Nível médio do lençol freático referente aos meses de Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro.....	25
Figura 14: Médias de cada ponto de monitoria em todo período de estudo.....	26
Figura 15: Resultados de oscilação do nível freático em todo período em estudo.....	27
Figura 16: Resultados da capacidade volumétrica do aquífero.	28
Figura 17: Classificação litológica das camadas.	30
Figura 18: Resultados da conductividade hidráulica.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

B – Baro

D – Diver

DFID – Department for International Development

DNA - Direcção Nacional de Águas

FAEF- Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal

FAO - Food and Agricultural Organization

GPS – Global Position system

LF – lençol freático

m – metros

m³ – metros cúbicos

MAE - Ministério da Administração Estatal

MICOA - Ministério para a Coordenação da acção Ambiental



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, _____ de _____ de _____

(Eliseu João Gujamo)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, sei que muitas guerras foram travadas, inúmeros sacrifícios foram feitos para que eu pudesse estudar, portanto, devo tudo que conquistei a minha querida família, ao meu pai João Pedro Gujamo, a minha mãe Calista Jotamo Novela. Que este trabalho sirva de inspiração para os meus irmãos mais novos, Géssica, Edilson e Junilson.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao meu bom Deus, o criador e arquitecto supremo do universo pela sabedoria e graça que me concedeu durante todo período de quase 5 anos longe da minha família. Em muitas circunstâncias da minha formação deparei-me com momentos muito tenebrosos, quando eu pensava que já era o fim, o Senhor sempre levantava-me e dava-me novas forças para continuar nessa viagem chamada formação. Meu muito obrigado Deus.

Agradeço de seguida aos meus pais pela força, confiança e provisão, jamais me faltou algo durante os meus estudos e isso graças a eles, o meu muito obrigado.

A minha namorada Yolanda Felisberto Cuna, pelo companheirismo, apoio, motivação, intercessão, o meu muito obrigado.

Agradeço muito e muito ao meu tutor Eng^o. Paulo Sérgio Lourenço Saveca, pela disponibilidade em orientar-me na elaboração desta monografia, senti-me seguro e confortável durante todo período de realização deste trabalho. Lembro-me sempre quando perguntava-me “ *quital Eliseu o trabalho está indo bem*”, e eu mesmo no meio de tantas dificuldades e complicações respondia “ *sim, sim Engenheiro está indo tudo bem*”, o meu muito obrigado.

Ao projecto A4labs e a toda equipe, o meu muito obrigado.

Agradeço a minha mãe Helena Arnaldo pelos sábios conselhos, o meu muito obrigado querida.

A Pastora Lídia, mano Santos, toda família de Chókwé, amigos e colegas pelo apoio em todo momento, que directa ou indirectamente me ajudaram seja por via de orações, conselhos e bens materiais, o meu muito obrigado.

RESUMO

A variabilidade espacial e temporal dos recursos hídricos nas zonas semi-áridas e áridas representa um desafio para a produção agrícola. O presente estudo cujo objectivo foi avaliar a hidrodinâmica da água subterrânea e a sua potencialidade para irrigação agrícola no leito seco do rio Limpopo, no distrito de Guijá. O estudo foi executado no período de tempo de cinco (5) meses (Outubro de 2018 a Fevereiro de 2019). Para o efeito foi instalado um (1) piezómetro e abertos 3 furos de observação. Tendo-se avaliado os seguintes parâmetros: variabilidade do lençol freático, litologia do rio e condutividade hidráulica (K). A frequência da colecta de dados foi quinzenal. No estudo concluiu-se, que no Rio há ocorrência de sedimentos aluviais e uma geologia arenosa classificada em três tipos: areia fina, média e grossa. A condutividade hidráulica em termos médios mostra que está dentro dos padrões para este tipo de solo (0.002 m/s). Constatou-se uma variabilidade do lençol freática, onde o nível mínimo foi 2.63 m, com um nível máximo de 6.10 m, tendo como média 4.48 m e a coluna de água perdida foi de 3.75 m. Assim sendo, o volume médio neste sistema de aquífero é de 456000 m³. Em termos de produção em hectares com este volume estima-se produzir numa área mínima de 20 hectares, foram tomadas como base as necessidades de rega das seguintes culturas: milho e tomate.

Palavra-chave: Água subterrânea, hidrodinâmica, irrigação agrícola, rio Limpopo, Guijá.

ABSTRACT

The spatial and temporal variability of water resources in arid and semi-arid areas is a challenge for agricultural production. This study to evaluate the hydrodynamics of groundwater and its potential for agricultural irrigation in the dry bed of the Limpopo River in Guijá district. The study was performed in five (5) months (October 2018 to February 2019). For this purpose was installed (1) piezometer and opened (3) holes of observation. Having evaluated the following parameters: variability of groundwater, river lithology and hydraulic conductivity (K). The frequency of data collection was biweekly. In the study it was concluded that in river for occurrence of alluvial sediments and sandy geology classified into three types: fine sand, medium and coarse. The hydraulic conductivity shows that on average is within the standards for this type of soil (0.002 m / s). The variability of the groundwater table, where the minimum was 2.63 m with a maximum of 6.10 m, 4.48 m of mean, lost as m water column was 3.75 m. Therefore, the average volume of this aquifer system is 456000 m³. In terms of production hectares this volume is estimated to produce a minimum area of 20 hectares were taken based on the need for irrigation of the following crops: corn and tomato.

Keywords: Groundwater, hydrodynamics, agricultural irrigation, Limpopo River, Guijá.

I. INTRODUÇÃO

A água é necessidade primária para a vida, recurso natural indispensável ao ser humano e aos demais seres vivos, além de ser suporte essencial aos ecossistemas. Ela é utilizada para o consumo humano, industrial, pecuária e na agricultura, (Bernardo, 2008).

De acordo com Barreto (2004), a irrigação é muito importante, isso porque, é um factor condicionador no crescimento e desenvolvimento das culturas, principalmente nas épocas secas, ainda afirma que, irrigação consiste na aplicação artificial, uniforme e oportuna de água na planta.

Cudell (2000), sustenta que a irrigação tem objectivo de repor a água consumida pelas plantas, perdida por evaporação, transpiração e por infiltração profunda, garantindo desta forma as condições ideais ao bom desenvolvimento das plantas, as fontes de obtenção podem ser superficiais e subterrâneas.

A água subterrânea é toda aquela que encontra-se no subsolo. Portanto, essa água chega ao subsolo através da infiltração profunda e é armazenada nos aquíferos. Sendo que, os aquíferos diversificam-se em função do material geológico que os constitui. Essa água armazenada nos aquíferos não é estática, ela está em movimento geralmente bem lento, se comparado ao fluxo de água superficial. A maneira de observar água subterrânea é por meio de perfuração de poços até atingir a profundidade que a água se encontra. (Salemi, 2012).

O estudo de água subterrânea é fundamental na gestão integrada dos recursos hídricos. A inclusão dessa fonte nos sistemas de gestão representa um desafio nos dias actuais, principalmente nas zonas semi-áridas. As precipitações nessas zonas não chegam a atingir as necessidades de crescimento da vegetação durante todo o ano (Salemi, 2012).

De acordo com o estudo realizado por FAEF (2001), afirma que, o distrito de Guijá onde pretende-se realizar a pesquisa, caracteriza-se por condições climáticas típicas das regiões semi-áridas, onde por sua vez a prática da agricultura torna-se numa actividade bastante arriscada, devido a variabilidade do nível da água nos corpos hídricos superficiais.

Devido a forma como os recursos de água do rio Limpopo são explorados, a qualidade da água deteriora (poluição e contaminação) e a quantidade reduz à medida que o rio flui para a jusante. Com o clima a mudar, prevê-se que a disponibilidade de água reduza (GDG, 2014).

Diante desta situação de escassez de água em regiões semi-áridas (distrito de Guijá), torna os recursos hídricos subterrâneos uma importante alternativa para garantir a produção agrícola, particularmente quando a demanda por este recurso hídrico é elevada. Nestes casos, o uso das águas subterrâneas pode viabilizar a implantação de planos regionais de desenvolvimento económico.

De acordo com um estudo recentemente realizado por Attoumane (2018), afirma que, a geologia da região (Guijá), condiciona a ocorrência de grandes volumes da água subterrânea. Sendo assim, a presente pesquisa objectiva avaliar essa ocorrência da água subterrânea nos moldes do seu comportamento hidrodinâmico e o seu potencial para saber se este volume responderá as exigências actuais para a irrigação agrícola no local.

1.1.OBJECTIVOS

1.1.1. Geral:

- ❖ Avaliar a hidrodinâmica da água subterrânea no leito seco do rio Limpopo e sua potencialidade para irrigação agrícola no Distrito de Guija em Caniçado.

1.1.2. Específicos:

- ❖ Monitorar o nível do lençol freático no leito seco do rio Limpopo;
- ❖ Classificar as camadas litológicas e sedimentos depositados no leito seco do rio Limpopo;
- ❖ Determinar os parâmetros físicos do aquífero.

1.2. PROBLEMA E JUSTIFICAÇÃO

O distrito de Guijá, onde pretende-se realizar o estudo é caracterizado por condições climáticas típicas de regiões semi-áridas, o que torna a prática da agricultura uma actividade de risco, devido a escassez de água.

Em resultado, pratica-se uma agricultura de sequeiro. Grandes áreas de produção agrícola neste distrito não são exploradas, mesmo aquelas que estão na margem do rio Limpopo onde é ponto referencial deste estudo. Estas terras podem ser consideradas marginais e sem potencial para o desenvolvimento sócio-económico, pela insuficiência de água para irrigação ao longo do ano. Devido a esta situação da variabilidade climática da região, o rio Limpopo como sendo uma das fontes para a irrigação fica maior tempo do ano sem a água o que torna a prática da agricultura na região um fracasso. Diante desta realidade, fica evidente que a prática da agricultura é dependente da disponibilidade dos recursos hídricos superficiais e da precipitação (chuva). Portanto, torna evidente que o problema do estudo é “*escassez de água para irrigação agrícola em todo ano nas regiões semi-árida*”.

Para um país como Moçambique onde agricultura é a base de sustentabilidade para muitas famílias, a prática da mesma sem o recurso hídrico suficientemente disponível, provoca danos altamente significativos no seio da população, sendo assim, a dependência dos corpos hídricos superficiais para a prática da agricultura nas zonas semi-áridas caso específico de distrito de Guijá ainda é um factor muito preocupante, condicionado também a falta de infra-estruturas hidráulicas para a retenção da água para afins agrícolas.

Devido a vulnerabilidade do país no diz respeito as infra-estruturas hidráulicas (barragens, represas, etc.), coloca a agricultura nesta região em situações de risco. Com ocorrência do fenómeno El’Nino no ano 2016, muitas fontes hídricas superficiais de alguns distritos da Província de Gaza ficaram sem água (Rio Limpopo, Canal principal do Regadio de Chókwè, etc). As actividades socio-econômicas ficaram negativamente afectadas e a agricultura foi a que sofreu dos efeitos desta variabilidade climática.

No presente estudo procura-se investigar formas alternativas de uso de água dos aquíferos aluviais para promover agricultura irrigada em prol do desenvolvimento sócio-económico do distrito. Espera-se com os resultados deste estudo construir-se uma base científica para o uso integrado dos recursos hídricos na agricultura em regiões áridas ou semi-áridas.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ciclo hidrológico

Segundo Silva (2006), ciclo hidrológico é o fenómeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre, a água que se infiltra no solo é sujeita a evaporação directa para a atmosfera e é absorvida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera, este processo chamado evapotranspiração ocorre no topo da zona não saturada, ou seja, na zona onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar como água, a água que continua a infiltrar-se e atinge a zona saturada, entra na circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (recarga dos aquíferos).

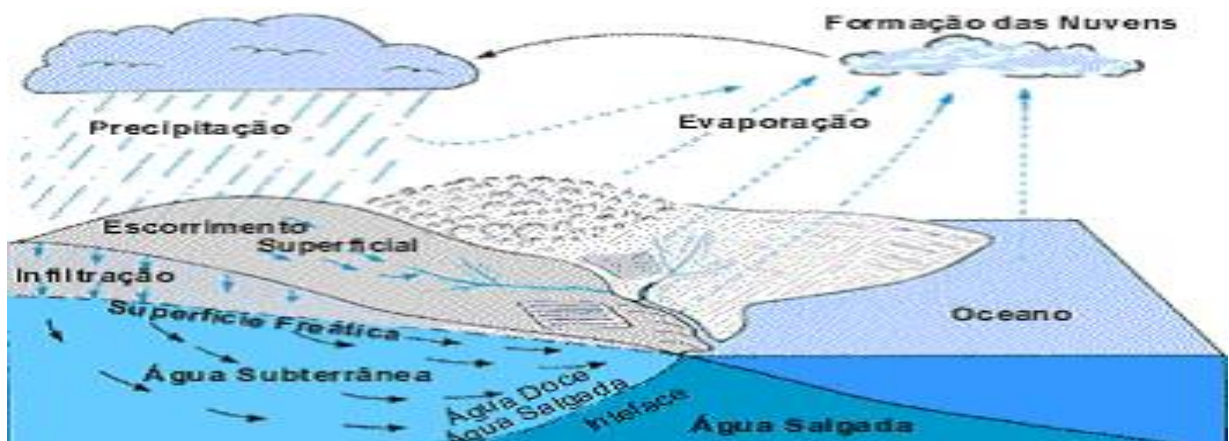


Figura 1: Esquemática do ciclo hidrológico
Fonte: Silva (2006)



Figura 2: Distribuição da água no planeta

Fonte: Mendonça, (2010)

2.2. Bacia hidrográfica

Bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou um sistema conectado de cursos de água, dispondo de uma simples saída para que todo o caudal efluente seja descarregado (Martinez, 2018).

2.3. Hidrodinâmica

A hidrodinâmica (ou dinâmica de fluidos) é sub-área da hidráulica. Sendo esta a ciência que trata da mecânica dos fluidos, a hidrodinâmica refere-se especificamente a ciência que trata do movimento dos fluidos. Refere-se à variáveis que actuam sob os líquidos em movimento, tais quais velocidade, aceleração e força. Tem várias aplicações, incluindo a aerodinâmica, a engenharia naval e dimensionamentos hidráulicos (Abrantes, 2013).

2.4. Utilização de água

Segundo DFID (2003) apud Notiço (2011), o uso da água pode ser distinguido em 3 (três) tipos diferentes, são eles:

❖ Abstracções

Onde a água é retirada de uma superfície ou fonte subterrânea e depois voltam ao corpo natural. Fluxos de retorno são particularmente importantes para os usuários a jusante, isto caso se trate da água dos rios.

❖ Uso consumptivo de água

É a água captada que já não está disponível para o seu uso, pois evaporou, perdeu-se por transpiração pelas plantas, que foi incorporado em produtos e culturas, ou água consumida pelo homem, animais ou retiradas de locais de água doce.

❖ Utilização de água não consumptiva

São usos em que se observa um retorno total, da água consumida para os mananciais e que poderão ser usados para navegação, como habitat de animais aquáticos, recreação, de geração de energia eléctrica e arrefecimento de turbinas.

2.5. Demanda de água

Segundo DFID (2003) citado por Notiço (2011), a demanda de água é definida como o volume de água requerido pelos usuários para satisfazer as suas necessidades, ou o número de pessoas

2.6. Escassez de água

Escassez de água são desequilíbrios de água a longo prazo, combinado com a baixa disponibilidade e um nível de demanda superior á capacidade de oferta do sistema natural. Embora a escassez de água seja frequente em regiões com baixa precipitação, as actividades humanas agravam este problema, em especial em áreas com alta densidade populacional, onde há intensa actividade agrícola, maior número de animais que precisam de um bebedouro e para o consumo doméstico (Wolf, 2001) apud Notiço (2011).

2.7. Mudanças climáticas

As mudanças climáticas são causadas pelas actividades humanas e pelas causas naturais, alteram a composição global da atmosfera. Estas duas causas não são mutuamente exclusivas mas sim se apresentam como complementares, proporcionando um agravamento à natural dinâmica global do estado climático (IPCC, 2007) apud Notiço (2011).

Conforme Zolho (2010), os principais processos naturais responsáveis pelas mudanças climáticas incluem:

- i) **Variação da órbita terrestre** - que influenciam a distribuição de radiação solar que atinge a superfície terrestre contribuindo para a alteração do estado climático global.
- ii) **Vulcanismos** - que são fenómenos caracterizados pela excreção do magma, gases e partículas quentes, cujos processos resultam no bloqueio parcial da transmissão da radiação solar á superfície terrestre.
- iii) **Variações oceânicas** - dado o papel fundamental desempenhado pelos oceanos na redistribuição da temperatura através de fenómenos como El Nino que se traduzem em variabilidades climáticas,
- iv) **Movimentos das placas tectónicas** - que são responsáveis pela reconfiguração dos continentes e oceanos. Esta reconfiguração altera a transferência da temperatura e humidade ao nível global.

Segundo MICOA (2002), Moçambique é historicamente o país mais afectado pelos desastres naturais na África Austral. Moçambique registou um total de 53 calamidades nos últimos 45 anos. Moçambique tem uma população maioritariamente rural cuja sobrevivência depende fundamentalmente da agricultura. A prática agrícola e a segurança alimentar da população são afectadas por muitos problemas ligados a mudanças climáticas com repercussões directas advindas da seca, cheias e ciclones.

A região sul de Moçambique, onde se localiza a bacia do rio Limpopo, começa-se a notar uma mudança dos padrões hidrológicos dos rios e chuvas. A bacia do rio Limpopo, possui um regime irregular, possuindo caudais apenas numa parte do ano, enquanto na época seca chega a secar completamente. No sul as chuvas deixaram de começar em Outubro e passaram a iniciar em Dezembro, (Rui Brito, 2009) apud Notiço (2011).

2.8. Sistema de irrigação

Segundo Barreto (2004), irrigação é uma técnica que consiste em aplicar a quantidade de água necessária ao solo nos momentos adequados, para que a espécie vegetal cultivada possa expressar todo seu potencial produtivo.

2.8.1. Métodos de irrigação

Barreto (2004), afirma que a irrigação pode ser realizada por diferentes métodos: aspersão, localizada, superfície e subterrânea. Em relação a escolha do método de irrigação, não existe um melhor que o outro, e sim o que mais se adapta a cada situação em particular. Existem vantagens e limitações no emprego de cada um deles.

1) Irrigação por aspersão

Segundo Barreto (2004), neste método a água é aplicada ao solo na forma de chuva artificial, através do fraccionamento do jacto de água em gotas. Esse fraccionamento é obtido pela passagem do fluxo de água sob pressão pelos bocais dos aspersores, este método não exige sistematização do terreno, é de fácil instalação em culturas já estabelecidas, podendo ser utilizada em diferentes tipos de solo.

2) Irrigação localizada

Segundo Barreto (2004), na irrigação localizada, a água é aplicada ao solo directamente na região das raízes, molhando apenas parte do volume do solo, com baixa vazão e pressão, permitindo alta frequência de irrigação e consequentemente, mantendo o solo com humidade elevada (próxima à capacidade de campo).

3) Irrigação por superfície

Segundo Barreto (2004), sistema de regadio por superfície é aquele no qual a condução da água do sistema de distribuição até qualquer ponto de infiltração dentro da parcela a ser irrigada é feita directamente sobre a superfície do solo, existem diversos tipos de irrigação por superfície.

4) Irrigação por sulcos

Segundo Netto (1998), irrigação por sulcos consiste em conduzir a água em pequenos sulcos localizados paralelamente a linha de plantas, durante o tempo necessário para humedecer o solo

compreendido na zona das raízes.

5) Irrigação por inundação

Segundo Netto (1998), este sistema consiste em cobrir o terreno com uma lâmina de água, o terreno é dividido em tabuleiros que são limitados pelos pequenos diques. É um dos métodos de irrigação mais simples usados no mundo.

6) Irrigação por faixas

Segundo Netto (1998), este sistema consiste em faixas de terreno com pouca ou nenhuma declividade transversal mas com certa declividade longitudinal, compreendidas entre diques paralelos. As faixas são irrigadas com água proveniente do canal de alimentação.

Cudell (2000), sustenta que a irrigação tem objectivo de repor a água consumida pelas plantas, perdida por evaporação, transpiração e por infiltração profunda, garantindo desta forma as condições ideais ao bom desenvolvimento das plantas, as fontes de obtenção podem ser superficiais e subterrâneas.

2.9. Água subterrânea

A água que está abaixo do solo é chamada de água subterrânea. Esses acúmulos de água que se infiltra no solo podem ser chamados de aquíferos, a maneira de observar a água subterrânea é por meio de perfuração de poços até atingir a profundidade que a água se encontra. Essa água que está no subsolo não é estática, ou seja, ela não está parada, a água nesse compartimento subterrâneo está em movimento, geralmente bem lento, se comparado ao fluxo de água dos riachos e rios (Salemi, 2012).

2.9.1. Recarga de água subterrânea

Em um sentido amplo, a recarga subterrânea pode ser definida como qualquer quantidade de água que alcance um sistema aquífero, independentemente de sua origem. A recarga pode ocorrer naturalmente, através da precipitação ou infiltração em leitos de rios, canais e lagos, ou induzida por actividades antrópicas como irrigação e urbanização, geralmente são reconhecidos dois tipos principais de recarga (Salemi, 2012).

❖ Recarga directa

Também referida como recarga difusa. É a quantidade de água adicionada ao reservatório de água subterrânea, resultante da percolação vertical da precipitação através da zona não saturada (Salemi, 2012).

❖ Recarga indirecta

Segundo Salemi (2012), quantidade de água que infiltra e atinge o lençol freático, proveniente de poços, em áreas de topografia rebaixada, também referida como recarga localizada, e a infiltração que ocorre como consequência do escoamento superficial.

2.9.2. Aquíferos

Aquífero é uma formação geológica subterrânea que funciona como reservatório de água, sendo alimentado pelas chuvas que se infiltram no subsolo, fornece água para poços e nascentes em proporções suficientes, servindo como proveitosas fontes de abastecimento, (Martinez, 2018). Pinto (2011), afirma que os aquíferos contêm rochas com características porosas e permeáveis e impermeáveis que formam estruturas geológicas capazes de armazenar e ceder água, um dos parâmetros que influenciam o fluxo da água subterrânea é a permeabilidade.

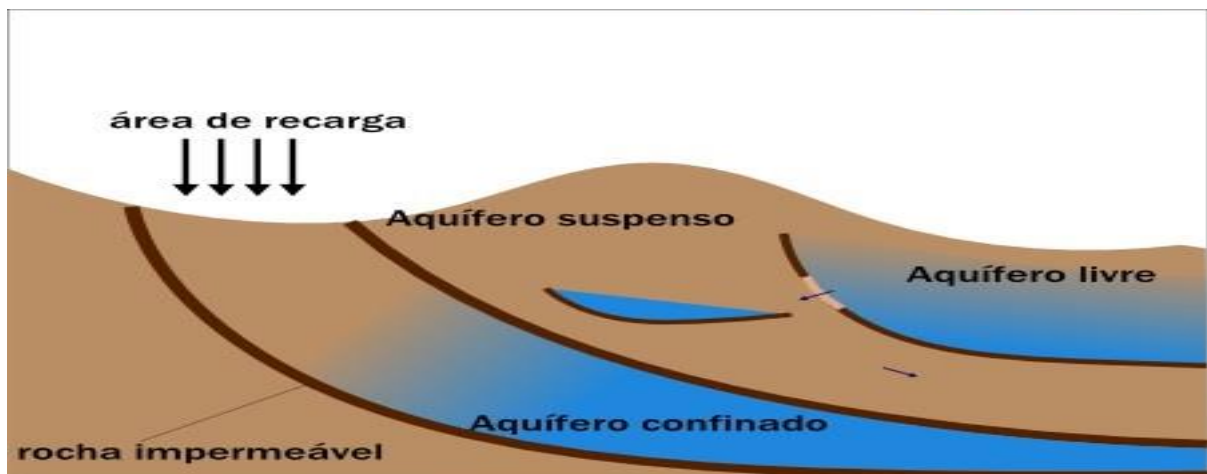


Figura 3: Reservatório de água subterrânea
Fonte: Pinto (2011).

2.9.3. Classificação dos aquíferos

i) Aquíferos livres

São reservatórios formados por rochas permeáveis, parcialmente saturados de água, cuja base é formada por uma camada impermeável (por exemplo, argila) ou semipermeável. O topo é limitado por uma superfície livre de água (superfície freática) que se encontra sob pressão atmosférica. O nível da água é determinado pelo regime de chuvas. É o tipo de aquífero mais comum e mais explorado e, portanto, o mais susceptível à contaminação (Abrantes, 2013).

ii) Aquíferos confinados

De acordo com Abrantes (2013), Nestes reservatórios, o tecto e a base são formados extractos rochosos impermeáveis. Além disso, ele está completamente saturado de água. A água subterrânea está confinada sob uma pressão maior que a pressão atmosférica.

iii) Aquíferos Porosos

São comumente formados por rochas sedimentares ou não consolidadas e solos arenosos, representam os tipos de aquíferos mais importantes, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos (Abrantes, 2013).

iv) Aquíferos fracturados ou fissurados

Os aquíferos fracturados estão associados à rochas ígneas e metamórficas. A capacidade destas rochas em acumular água está relacionada à quantidade de fracturas, suas aberturas.

v) Aquíferos Cársticos

São formados em rochas carbonáticas, como o calcário, constituem um tipo peculiar de aquífero fracturado, onde as fracturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas muito grandes, criando, verdadeiros rios subterrâneos (Abrantes, 2013).

2.9.4. Capacidades de reservas dos aquíferos

Segundo Costa (1998), A reserva permanente corresponde ao volume de água subterrânea situada na porção saturada, abaixo da posição mínima da variação sazonal do aquífero. O cálculo da reserva permanente é em função de cada tipo de aquífero, sendo assim, para aquíferos livres ou permeável é dado pela seguinte expressão:

$$V = A * b * \eta \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

A – área de ocorrência do aquífero (m²);

b – espessura média saturada do aquífero (m);

η – Porosidade efectiva.

2.9.5. Movimento da água subterrânea

O movimento da água subterrânea ocorre de maneira horizontal e é considerado uma função da facilidade que a água se movimenta entre o material poroso (“solo”) e porção da profundidade do solo que se encontra encharcado. A multiplicação da espessura da camada encharcada pela

facilidade com que a água se movimenta pelo material poroso é denominada transmissividade. Quanto maior a transmissividade de um aquífero, maior é a produção de água que ele pode ter (Salemi, 2012).

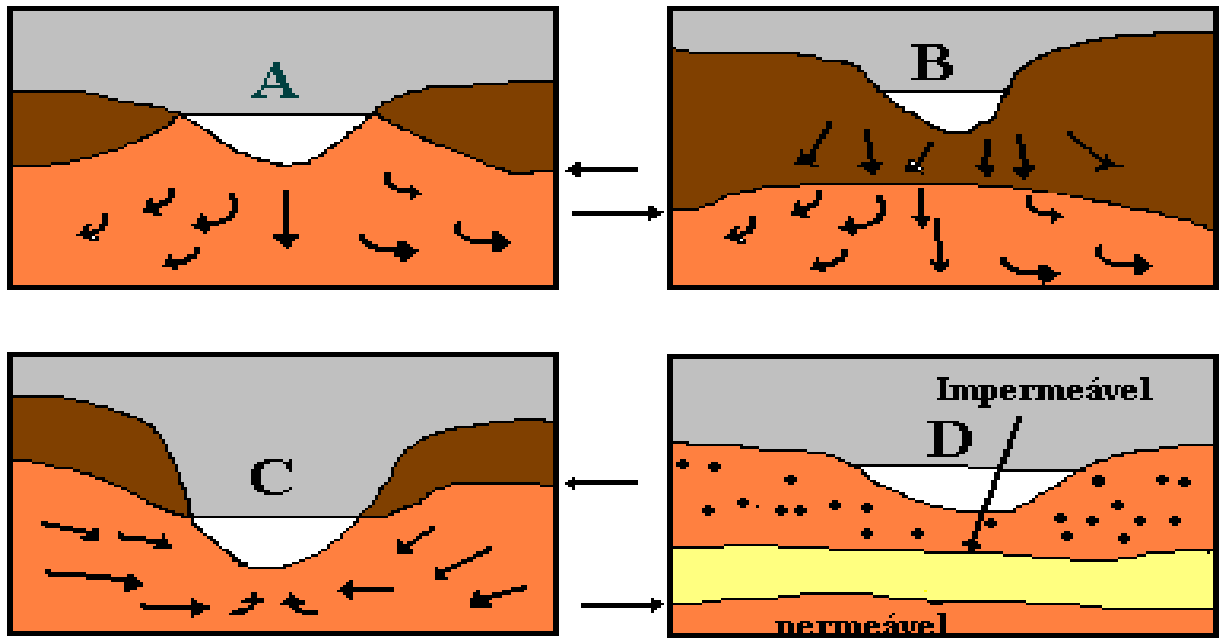


Figure 4: Ilustração do movimento da água subterrânea
Fonte: Salemi (2012).

2.9.6. Importância das reservas hídricas subterrâneas

De toda a água proveniente da atmosfera em forma de precipitação, parte evapora-se e retorna novamente à atmosfera de imediato; outra parte escoar sobre a superfície em direção aos pontos de menor altitude do relevo da bacia hidrográfica, e outra parte infiltra-se no solo também em direção aos pontos mais baixos do relevo (Advocacia, 2011).

2.10. Técnicas de instalação de piezômetros

Piezómetro é um equipamento para medir pressões estáticas ou a compressibilidade dos líquidos. Usa-se em furos que servem para monitoração de níveis da água nos aquíferos. No caso de ensaios de caudal, permitem identificar a forma, extensão e anisotropia do cone de rebaixamento que se forma em redor da captação ou furo em extracção (Freitas, 2015).

Avaliação hidrodinâmica da água subterrânea e sua potencialidade para a irrigação no leito seco do rio
Limpopo em Guijá

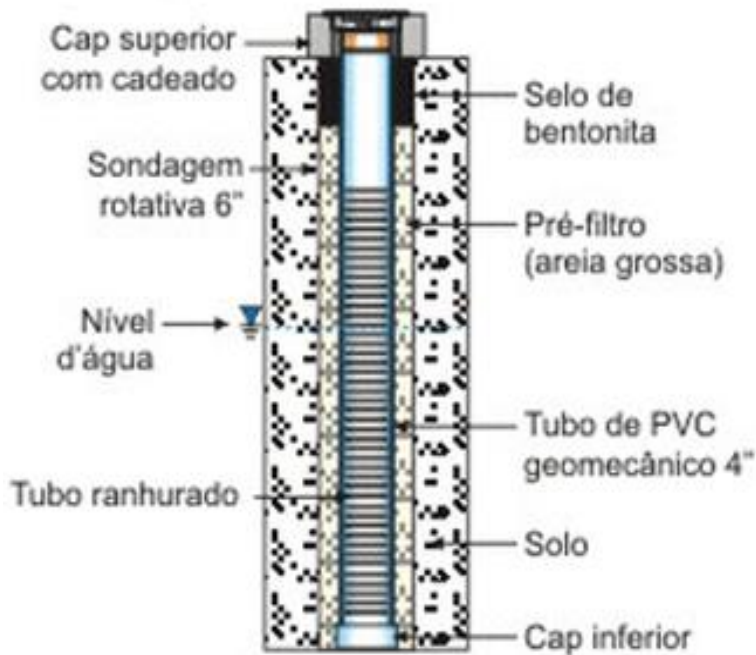


Figura 5: Ilustração do piezômetro instalado
Fonte: Freitas (2015).

A instrumentação piezométrica, como indicadores de nível de água e piezômetros de todo tipo, são empregados no monitoramento piezométrico das variações de poropressão e nível do lençol freático em formações geológicas e em estruturas geotécnicas como barragens, pilhas de estéril e cavas de mineração. Em muitas ocasiões, estes instrumentos não fornecem dados confiáveis ou adequados às análises e aos dimensionamentos necessários e aos quais foram propostos (Cerqueira, 2017).

2.11. Monitoramento do nível do lençol freático

As redes de monitoramento de águas subterrâneas constituem a ferramenta de base necessária para um melhor conhecimento do recurso e conseqüentemente para um adequado planejamento e gestão do mesmo (Neiro, 2011).

Segundo Mello (2004) citado por Neiro (2011), para a determinação da profundidade do lençol freático e suas flutuações ao longo do ano, podem ser instalados poços de observação em toda a área. Ainda afirma que, os poços podem ser instalados permanentemente para monitoramento de curto ou longo prazo do nível freático.

Neiro (2011) sustenta que, os poços de monitoramento do lençol freático são perfurados e instalados de diversas formas. Este nível pode ser realizado através de medidores manuais ou medidores automáticos que permitem um monitoramento contínuo de sua variação ao longo do tempo.

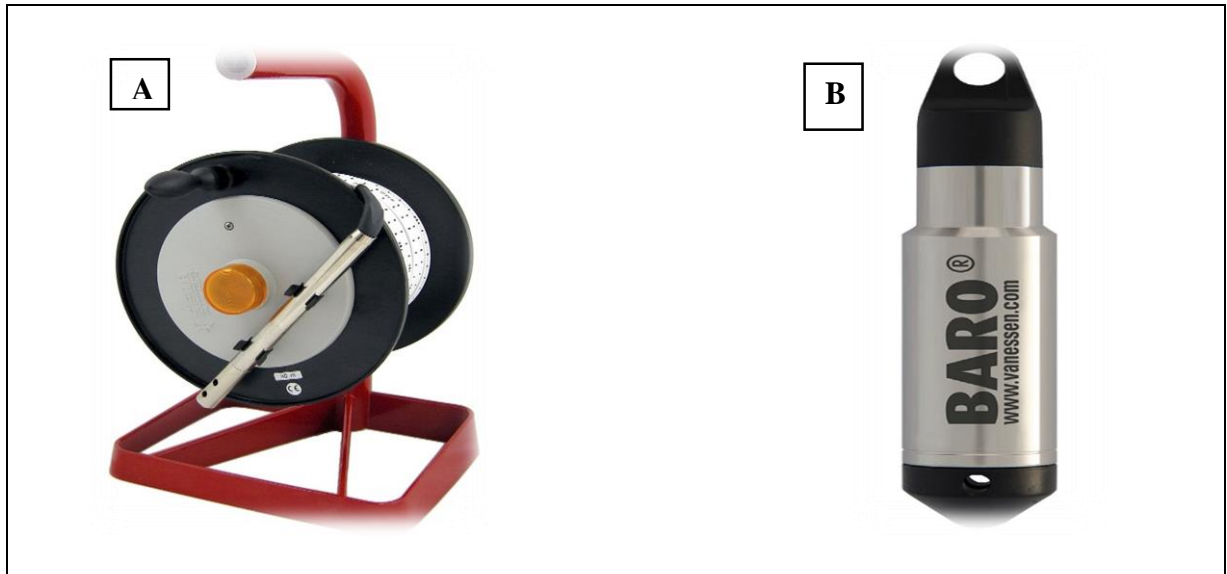


Figura 6: Ilustração do equipamento usado para monitoria do nível freático (A – sonda manual, usado para fazer leitura manual; B – Baro, usado para fazer leituras automáticas)
Fonte: Neiro (2011)

2.12. Classificação das camadas litológicas e sedimentos

Solos são materiais provenientes da decomposição das rochas ou sedimentação não consolidada de seus grãos, sem ou com matéria orgânica. São identificados pela textura, granulometria, plasticidade, consistência, compacidade, estrutura, forma dos grãos, cor, cheiro, friabilidade, presença de outros materiais (conchas, matéria vegetal, mica, etc.).

Areia: solo não coesivo e não plástico com comportamento predominantemente devido à fração areia, constituída por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2 mm. É caracterizado por sua textura, compacidade (estado de maior ou menor concentração de grãos ou partículas de um solo não coesivo em um dado volume) e forma dos grãos.

Quanto à textura, as areias podem ser:

- ❖ Areias grossas: F entre 0,60 mm e 2,0 mm;
- ❖ Areias médias: F entre 0,20 mm e 0,60 mm;
- ❖ Areias finas: F entre 0,06 mm e 0,20 mm.

Entende-se por sedimentos os materiais insolúveis que se depositam no fundo dos corpos de água. Os sedimentos constituem um factor muito importante do sistema aquático, por sua participação no equilíbrio dos poluentes solúveis/insolúveis e por sua maior permanência no corpo de água, sendo, em geral, integradores das cargas poluentes recebidas pelas águas (Fukukawa, 2008)

As rochas sedimentares são formadas pelo acúmulo e litificação dos sedimentos, os sedimentos e as rochas sedimentares formadas por eles são classificados de acordo com o tamanho de grão (granulometria), material constituinte, grau de arredondamento e textura (Carvalho, 1994).

De acordo com carvalho (1936) citado por Riccomini (2000), nas bordas da bacia hidrográfica predominam cascalhos grosseiros e na sua parte central, sedimentos argilosos com intercalações de areia grossa.

2.13. Parâmetros físicos do aquífero

Águas naturais possuem um valor inestimável para indicar as condições ambientais de um determinado sistema. A avaliação dos recursos hídricos, bem como seu gerenciamento e planeamento ambiental não pode ser realizada sem este tipo de trabalho Riccomini (2000).

Os parâmetros físicos dos aquíferos segundo Riccomini (2000) são:

- ❖ Transmissividade (m^2/s);
- ❖ Armazenamento Específico (m^{-1});
- ❖ Estresse Eficaz;
- ❖ Porosidade;
- ❖ Compressibilidade (m^2 / N);
- ❖ Conductividade hidráulica;
- ❖ Teste de bombagem.

2.13.1. Condutividade hidráulica

Giacheti (2012), afirma que o solo é constituído de uma fase sólida, que forma o esqueleto do solo, tendo seus vazios preenchidos com água e/ou ar, nos solos granulares, as forças inter partículas são pequenas e a água pode fluir livremente pelos vazios do solo.

Libardi (2013), define a condutividade hidráulica do solo como sendo uma propriedade que expressa a facilidade com que a água nele se movimenta, sendo de extrema importância ao uso agrícola e conseqüentemente, à produção das culturas e à preservação do solo e do ambiente.

O coeficiente de condutividade hidráulica dos solos pode ser determinado por meio de ensaios in situ ou de ensaios de laboratório.

Apenas parte da água contida no solo, chamada água livre, consegue se movimentar através dos vazios pela acção de forças gravitacionais. Essa movimentação de água livre pelos vazios do solo é chamada de condutividade hidráulica do solo, (Giacheti, 2012). Ainda afirma que, a condutividade hidráulica pode ser entendida como a maior ou menor facilidade que um fluido encontra para percolar através de um maciço.

Os métodos utilizados pela sua determinação em laboratório se baseiam na lei de Darcy, expressa por:

$$V = k * i \quad \text{Equação (2)}$$

Ou

$$Q = k * i * A \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

V= Velocidade de fluxo (m/s);

Q = quantidade de fluido por unidade de tempo (m³/s);

K = Coeficiente de permeabilidade (m/s);

I = Gradiente hidráulico (h / L);

A = área (m²).

2.13.2. Transmissividade

Iritani (2011), afirma que, a transmissividade (T) é uma variável hidrogeológica que corresponde à capacidade de um meio para transmitir água, obtida formalmente pela integração da condutividade hidráulica ao longo da profundidade da camada.

Segundo Fetter apud Galvão (2015), afirma que a transmissividade é um parâmetro hidráulico importante para se determinar a quantidade de água que flui horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero. As técnicas para se quantificar esse parâmetro, é por meio de

análises granulométricas ou testes de aquíferos, uma outra técnica que pode ser utilizada, porém pouco adoptada, é a análise de zona de captura.

Os ensaios de recuperação são correntemente utilizados no estudo dos aquíferos pois podem, em certos casos, ser a única forma de avaliar a sua transmissividade. Tal sucede, por exemplo, quando não se dispõe de piezómetros e as medições são feitas no poço onde se faz a bombagem. Neste caso o nível dinâmico é perturbado por perdas de carga devidas a diversos factores de que se destacam a travessia dos ralos e a circulação através da bomba e das tubagens (Custodio e Illamas) apud (Almeida, 1987).

O caso mais simples, a transmissividade pode ser determinado aplicando a seguinte expressão:

$$T = K \times Z \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

T - é a transmissividade da camada (m²/dia);

K - é a condutividade hidráulica média da camada (m/s);

Z - é a espessura da camada (m).

2.13.3. Teste de bombagem

Volume hídrico que pode ser utilizado anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes, passíveis de serem exploradas, com descarga constante, durante um determinado período de tempo. Parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da potencialidade, correspondendo à vazão anual que pode ser extraída do aquífero, sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem (Costa, 2009).

Os testes de bombeamento representam a forma de aplicação para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos, além de ser o método mais importante para determinação de vazões de exploração de poços. Nas proximidades são instalados poços de observação do nível d' água ou piezómetros. Recomenda-se a instalação de 4 (quatro) poços de observação e um mínimo de dois (Candaten 2014).

2.14. Tratamento de dados de monitoramento de aquíferos

A avaliação da água subterrânea pode ser feita aliando a análise estatística univariada à multivariada, e utilizando representações gráficas que facilitem a interpretação dos resultados, além da extracção de informações referentes às variações temporais e espaciais dos parâmetros do aquífero (Souza, 2013).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, descreve-se os materiais que foram usados para a realização o estudo, bem como os procedimentos aplicados para o alcance dos resultados.

3.1.Descrição da área de estudo

3.1.1. Localização e superfície

A pesquisa foi feita no leito seco do rio Limpopo, na província de Gaza, distrito de Guijá, concrectamente no posto administrativo de Caniçado.

O distrito de Guijá localiza-se a Sudoeste da província de Gaza, entre as latitudes 23º 50' e 24º 50' S, e entre as longitudes 32º 25' e 33º 40', é limitado a Norte pelo distrito de Chigubo, a Noroeste pelo distrito de Mabalane, a Sul pelo distrito de Chókwè e a Este pelo distrito de Chibuto, conta com 4. 207 Km² de superfície, correspondentes a 5.6% de toda a área da província de Gaza, (MAE, 2005).

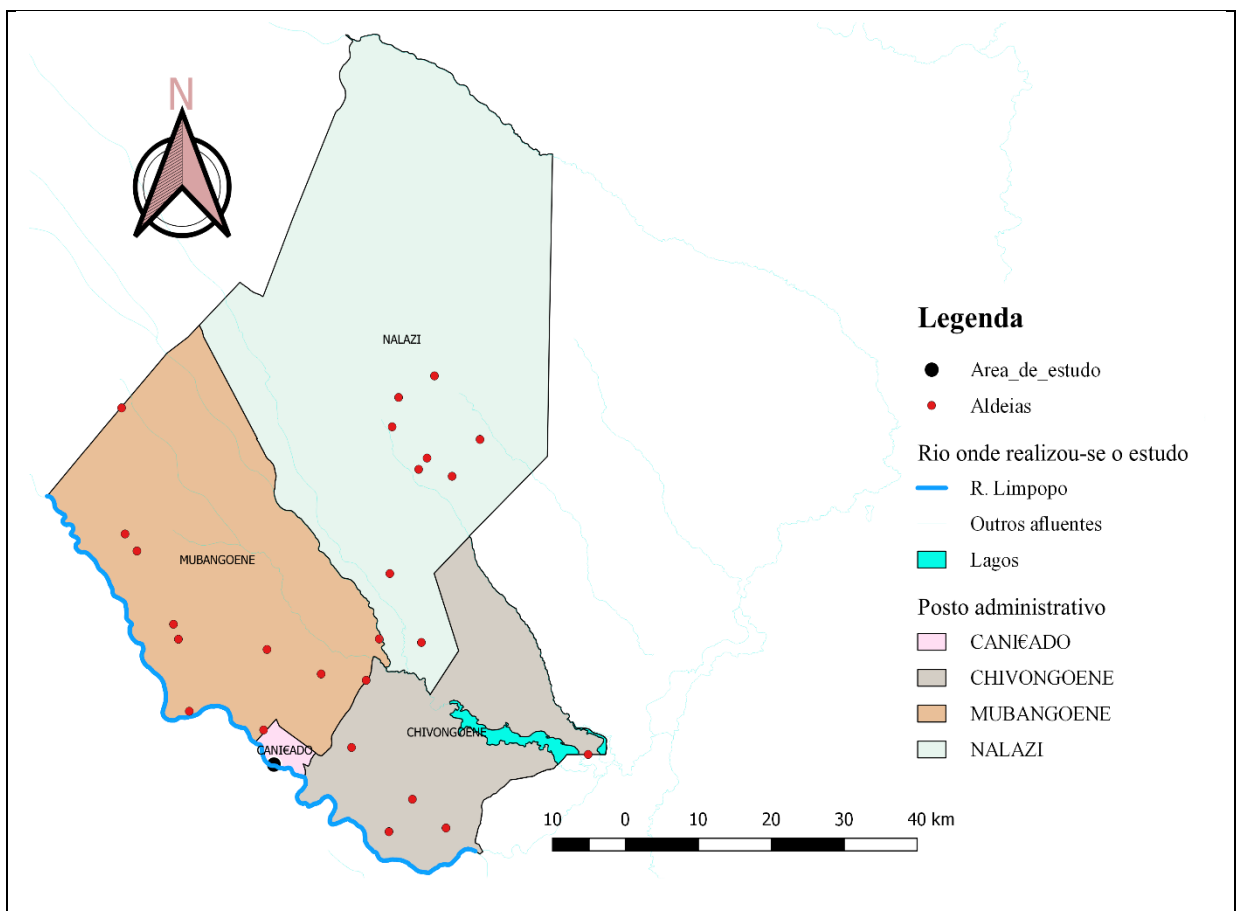


Figura 7: Ilustração do mapa do distrito de Guijá e respectiva área de estudo

3.1.2. População

Segundo o MAE (2005), administrativamente Guijá está subdividido em 4 postos administrativos: Chivonguene, Mubanguene, Nalazi e Caniçado como a sede do distrito. O mesmo possui 8 localidades: Maguiguane, Chivongoene, Chibabel, Mpelane, Mubangoene, Nalazi, Tomanine e Mbala-Vala e 38 aldeias.

Tabela 1: População por Posto Administrativo

Postos Administrativo	H	M	Total	Estrutura
Mubangoene	13.816	20.725	34.541	40%
Chivongoene	13.08	19.618	32.698	38%
Nalazi	5.093	7.64	12.733	15%
Caniçado- Sede	2.639	3.956	6.595	8%
Total	34.627	51.94	86.567	100%

Fonte: (MAE, 2005).

3.1.3. Relevo e Solos

O distrito de Guijá situa-se numa planície com altitude inferior a 100 metros, em termos geológicos é composto por depósitos indiferenciados, com excepção da zona do vale do rio Limpopo, que ocorre em toda a sua fronteira meridional, onde ocorrem aluviões, há ocorrência de solos de textura arenosa, argilosa vermelha e plástica (MAE, 2005).

3.1.4. Geologia

A geologia na maior parte da bacia do Limpopo em Moçambique, é caracterizada por espessos depósitos de sedimentos marinhos do Pleistocénico, denominados “Mananga”, localizados em áreas relativamente elevadas e, por depósitos arenosos do quaternário. Esta região apresenta uma textura franco-arenosa com elevada percentagem de areia grossa. A bacia do Limpopo é partilhada por quatro países nomeadamente a África do Sul, Moçambique, Botswana e o Zimbabwe. Estende-se por uma área de cerca de 412.000 Km² (FAEF, 2001).

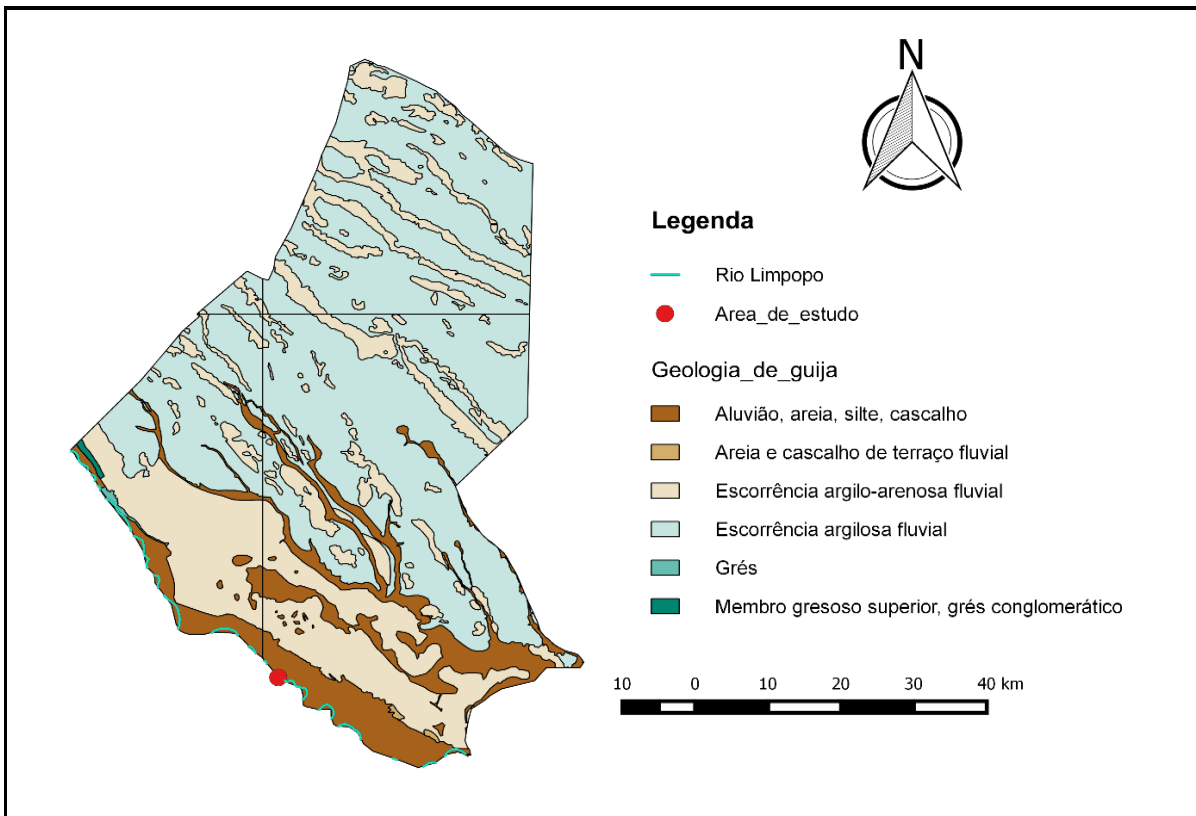


Figura 8: Ilustração da geologia do distrito de Guijá

3.1.5. Condições de prática de agricultura

Agricultura neste ponto de País é praticada em duas áreas geográficas. As terras baixas que têm melhor acesso a água do rio e solos mais ricos, mas são grandemente afectadas pelas cheias. Nas terras secas altas pratica-se agricultura de sequeiro, são altamente dependentes da distribuição da chuva nas épocas do plantio e são propensas a seca (MAE, 2005).

3.2. Caracterização hidrogeológica

A hidrogeologia Moçambicana, foi estudada tomando em conta as características hidrogeológicas comuns e localização geográfica separada, sendo assim, a hidrogeologia Moçambicana divide-se em sete (7) províncias hidrogeológica que são: complexo de base (pré - câmbrico), terrenos vulcânicos (karro e pós karro), bacia sedimentar do média Zambeze (karro), bacia sedimentar de Maniamba (karro), bacia sedimentar do Rovuma (meso - cenozoico), bacia de Moçambique, a norte do Save (meso - cenozoico), bacia sedimentar de Moçambique, a sul do Save (meso - cenozoico) (DNA, 1987).

3.2.1. Clima e Temperatura

O clima do distrito é dominado por zonas do tipo semi-árido seco, com temperaturas médias de 24-26° C, caracterizado por precipitação baixa e irregular, ela situa-se entre 400 mm e 600 mm por ano tomando a agricultura em sequeiro numa actividade de risco (FAEF, 2001).

3.2.2. Hidrografia

O distrito situa-se na margem esquerda do rio Limpopo, sendo ainda percorrido pelos riachos Nandjote, Plane, Chichacuane e Balabala, que se juntam em Chibuto para formar o rio Changane. Estes riachos, de regime periódico, requerem algum investimento em infraestruturas para retenção de água. Para além destes rios, destacam-se as lagoas de Bambeni e Linguaze, (MAE, 2005).

3.2.2.1. Bacia de Limpopo

A bacia hidrográfica do rio Limpopo situa-se aproximadamente entre os paralelos 22° e 26° Sul e os meridianos 26° e 35° Este. A porção da bacia do Limpopo que se encontra dentro de Moçambique localiza-se entre os paralelos 21° e 25° Sul e os meridianos de 31° e 35° Este.

Em Moçambique, a bacia do Limpopo tem como limites a bacia do rio Save a Norte, a Sul com a do rio Incomáti, a Este com uma faixa costeira onde se encontram várias bacias internas (lagoas) e a Oeste com a África do Sul. O relevo e solos estão geralmente relacionados a desenvolvimentos geológicos e tectónicos. Em Moçambique a bacia do Limpopo insere-se na bacia Sedimentar do Sul de Moçambique, limitada numa faixa do extremo Oeste por rochas vulcânicas do Karoo Superior, riólitos e basaltos da cadeia Montanhosa dos Libombos (FAEF, 2011).

Tabela 2: Distribuição das áreas da bacia do Limpopo por País

País	Area (Km ²)	%
África do Sul	193 500	47,0
Moçambique	79 600	19,3
Botswana	73 000	17,7
Zimbábue	66 000	16,0

Fonte: (FAEF, 2001).

3.3. Metodologia e procedimentos de campo

3.3.1. Monitoramento da variabilidade do lençol freático

O monitoramento dos níveis de água subterrânea foi realizado quinzenalmente a partir de três (3) poços equidistanciados a 50 m e um (1) piezômetro com comprimento de 6 m, achatado na extremidade para permitir melhor penetração durante a instalação.

O piezômetro é composto por um total de 10 ranhuras, em cortes de 2 a 4 cm de comprimento, perpendicular do comprimento do cano e com 1 a 1,5 cm de espaçamento, para permitir a entrada da água subterrânea. Portanto, para evitar entupimento das ranhuras colocou-se uma meia piezométrica assegurada por uma cola “phati”.

Durante o processo de instalação dos furos e piezômetro, foram extraídas as coordenadas de localização dos mesmos (Latitude e Longitude) com o uso de Global Position System (GPS) com referência Garmin Montana 680. Portanto os furos assim como o piezômetro foram identificados como: Well 1 ($23^{\circ}18'28''\text{S}$ - $51^{\circ}21'54''\text{O}$), Well 2 ($23^{\circ}18'27''\text{S}$ - $51^{\circ}21'56''\text{O}$), Well 3 ($23^{\circ}18'24''\text{S}$ - $51^{\circ}22'07''\text{O}$) e Pz1 ($24^{\circ}51'061''$ - $33^{\circ}02'045''$).

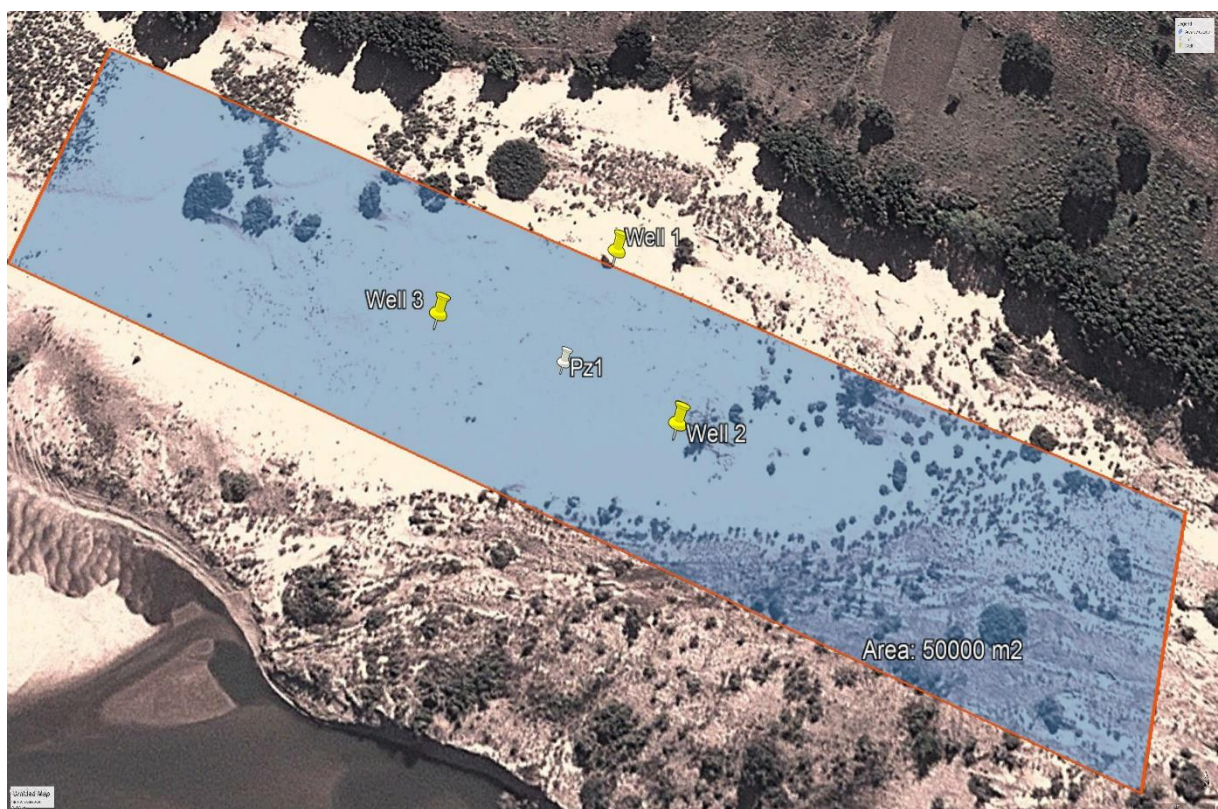


Figura 9: Ilustração dos pontos de monitoria

O monitoramento da variabilidade do lençol freático foi feito nos furos de observação e no piezômetro. Para tal, foram feitas dois tipos de leituras (manual e automática), Para a leitura manual usou-se a sonda eléctrica, enquanto para o monitoramento automática usou-se dois sensores chamados Diver e Baro, os sensores foram programados para levantarem os dados de trinta (30) em trinta minutos, para garantir melhor precisão, os quais medem pressão coluna de água e pressão atmosférica, respectivamente.

O Diver foi instalado a uma profundidade não superior a 10 m abaixo do lençol freático. Para maior precisão nos dados da pressão atmosférica, o Baro foi instalado perto da área de estudo (4km em relação aos furos).

No monitoramento automático, a variabilidade do lençol freático foi obtida através da compensação dos dados entre o Diver e Baro, sendo assim, com o uso de Diver software versão 2017, houve o descarregamento dos dados.

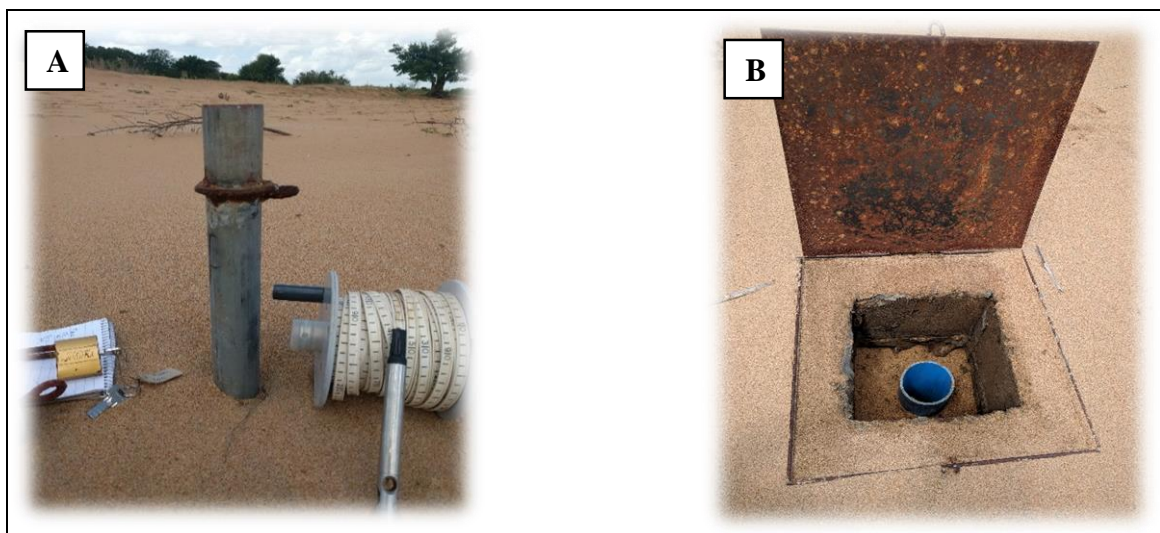


Figure 10: A – Piezômetro, sonda eléctrica e material de segurança; B - furo de monitoramento

O monitoramento do nível freático tem como objectivo fornecer dados sobre as condições de equilíbrio do aquífero freático em termo da resposta dos níveis da água frente aos volumes de recarga, perdas por infiltração até mesmo por meio da evaporação devido as altas temperaturas condicionadas a falta da precipitação (chuva). Esta pesquisa decorreu num intervalo de tempo de cinco (5) meses, ou seja, durante os meses de Outubro de 2018 a Fevereiro de 2019.

Portanto, nos 5 meses representou-se as duas épocas (chuvosa e seca), sendo que, de Outubro até Dezembro considerou-se como sendo época seca (sem chuvas) e de Janeiro a Fevereiro época chuvosa.

3.3.2. Classificação das camadas litológicas e sedimentos depositados no leito seco do rio Limpopo

Para a classificação das camadas litológicas, usou-se o método de observação, que consistiu em observar e classificar os sedimentos em função da profundidade das perfurações.

Portanto, foram feitas 30 perfurações (em anexo as coordenadas dos pontos), numa profundidade máxima de 10 m, e a uma distância de 50 m uma da outra, numa área de 50000 m² que equivale a 5 ha. Sendo assim, o material usado para as devidas perfurações foi o trado manual, a tabela a baixo apresenta as características do trado manual.

Tabela 3: características do trado manual

Designação	Diâmetro da boca (cm)	Cumprimento da boca (cm)	Braço (m)	Nº
Trado manual	20	22	1	10

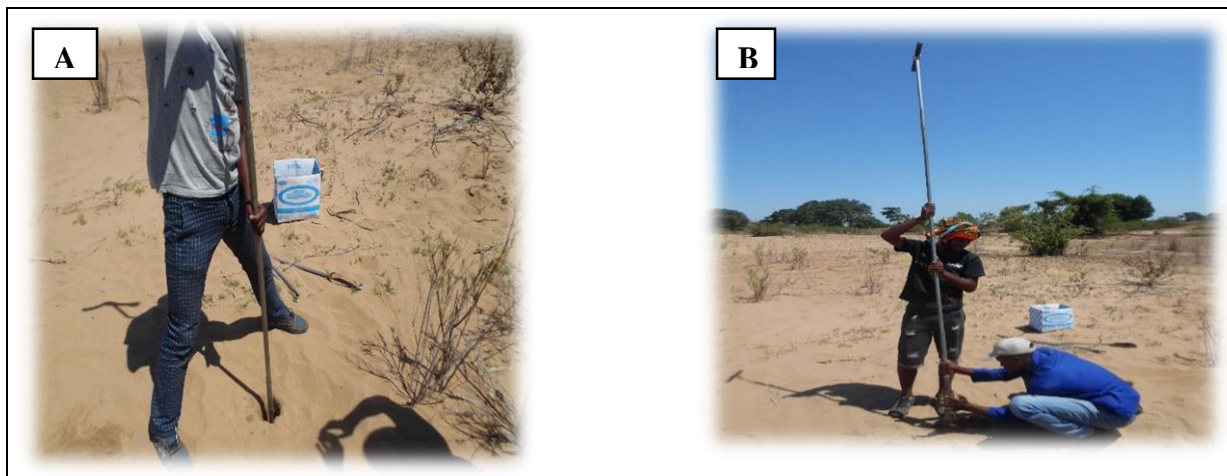


Figura 11: Ilustração das perfurações (A e B)

Durante as perfurações foram colectadas amostras de solos, sendo elas colocadas em sacos plásticos etiquetados, de salientar que as amostras foram colectadas em cada 1 m de profundidade até atingir areia grossa molhada. As mostras foram levadas para o laboratório do Instituto Superior Politécnico de Gaza (ISPG), onde após serem colocadas e organizadas nas bancadas procedeu-se com as devidas classificações usando o material designado Sand Ruler, conforme ilustra a figura 12.



Figura 12: A - Amostras de solos nas bancadas; B – Processo de classificação das amostras de solo

3.3.3. Determinação dos parâmetros físicos do aquífero

O parâmetro físico que foi considerado neste estudo:

- Condutividade hidráulica (K).

Condutividade Hidráulica

Para a determinação deste parâmetro optou-se por aplicar o ensaio *in situ*, que consistiu em determinar-se a condutividade hidráulica a partir dos valores tabelados em função de cada tipo de solo.

Tabela 4: Valor de condutividade hidráulica para alguns materiais geológicos

Material	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte; silte arenoso	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia argilosa	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa; Areia fina	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areia bem selecionada	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho	$10^{-2} - 10^{-0}$

Fonte: (Libardi, 2013)

3.4. Análise e interpretação de dados.

Para analisar os dados usou-se o pacote de Microsoft Excel (gráfico de barras, linhas e análise descritiva), e QGIS versão 3.0 (avaliação espacial da hidrodinâmicas da água subterrânea e sua correlação com a geologia) e Baro software (descarregamento de dados).

IV. RESULTADOS

4.1. Monitoramento da variabilidade do lençol freático

Os dados referentes à profundidade em metros do nível freático foram plotados em gráficos de linha. De salientar que, os dados foram apresentados em três (3) fases. Na primeira fase, apresentou-se os dados referentes a cada mês de monitoria, onde considerou-se as médias mensais de cada furo (Well 1, Well 2, Well 3 e Pz1), De seguida apresentou-se o gráfico referente a média geral de cada furo e por fim resultados referentes a cada furo durante os cinco (5) meses de monitoramento.

De acordo com a figura 13, que representa as variações mensais do nível freático, os meses de (Outubro, Novembro, Dezembro e Janeiro), são os meses que apresentam valores médios do nível freático maiores. Para o mês de Fevereiro a valor médio é menor comparativamente aos outros meses, isso porque, registrou-se chuvas.

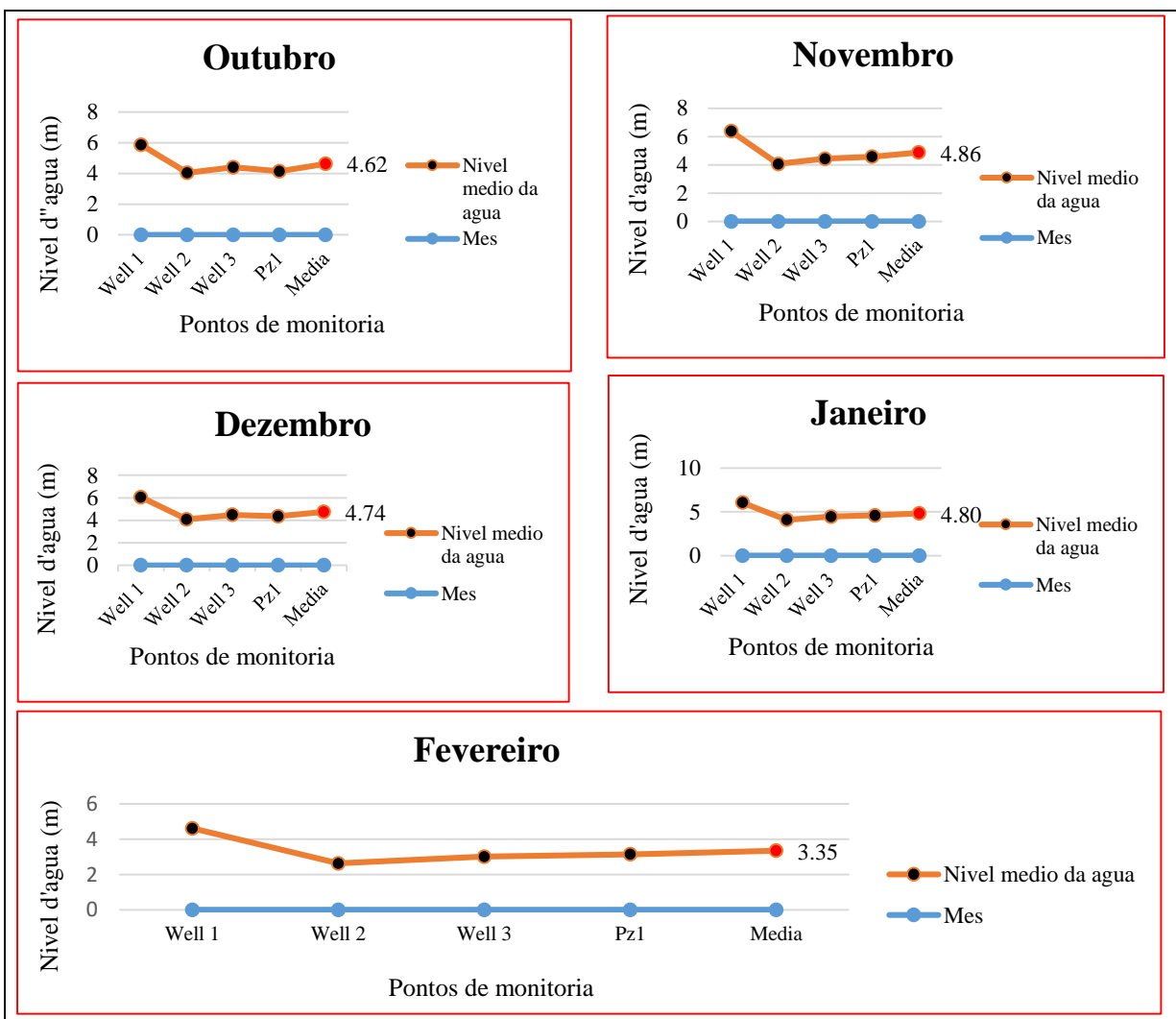


Figura 13: Nível médio do lençol freático referente aos meses de Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro.

De acordo com a figura 14, o ponto de monitoria um (Well 1), apresenta maior profundidade do nível de água, com aproximadamente 6 metros de profundidade, ou contrário disso o ponto 2 (Well 2), responde com uma profundidade do nível de água menor. Portanto, a média correspondente a todos furos é de 4.48 metros de profundidade.

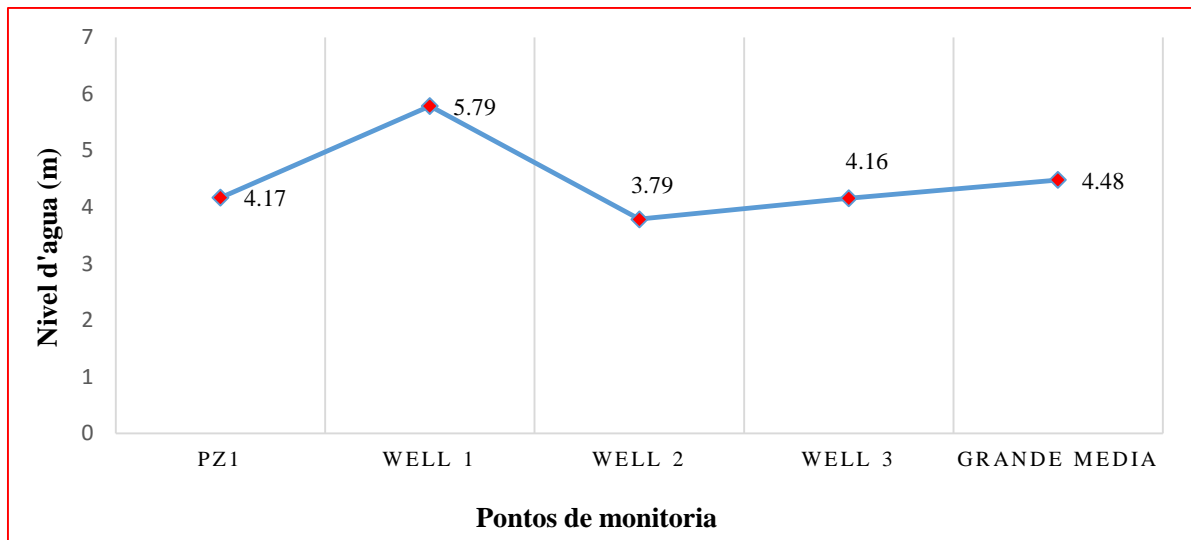


Figura 14: Médias de cada ponto de monitoria em todo período de estudo

Conforme ilustra a figura 15, nos cinco (5) mês de monitoria, registrou-se um nível mínimo do lençol freático de 2.63 m e 6.10 m como sendo o nível máximo.

Portanto nos cinco (5) meses de monitoramento, o Well 1 comportou - se com valores do nível freático maiores. Ao contrário disso, o Well 2 comportou-se com valores do nível freático menores.

De acordo com a figura 16, que ilustra a capacidade volumétrica do aquífero, constatou-se que em termos médios, o aquífero tem uma capacidade de 456000 m³. Sendo que, a capacidade máxima é de 548500 m³ e mínima de 375000 m³ e de acordo com os dados colectados durante os cinco (5) meses, mostram que o volume que variou durante esse período foi de 173500 m³. Para a determinação do volume do aquífero usou-se a equação 1 na RB.

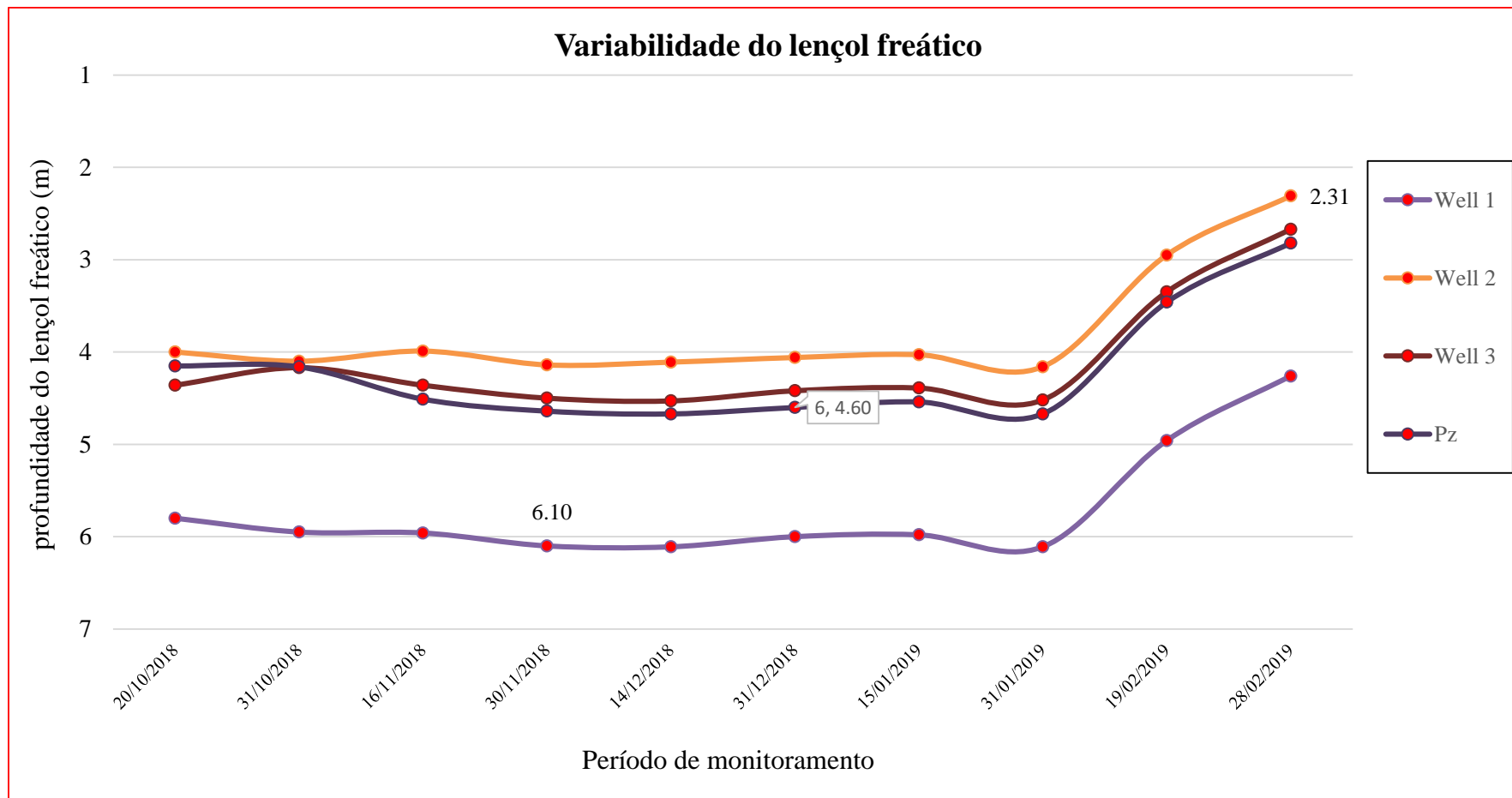


Figura 15: Resultados de oscilação do nível freático em todo período em estudo.

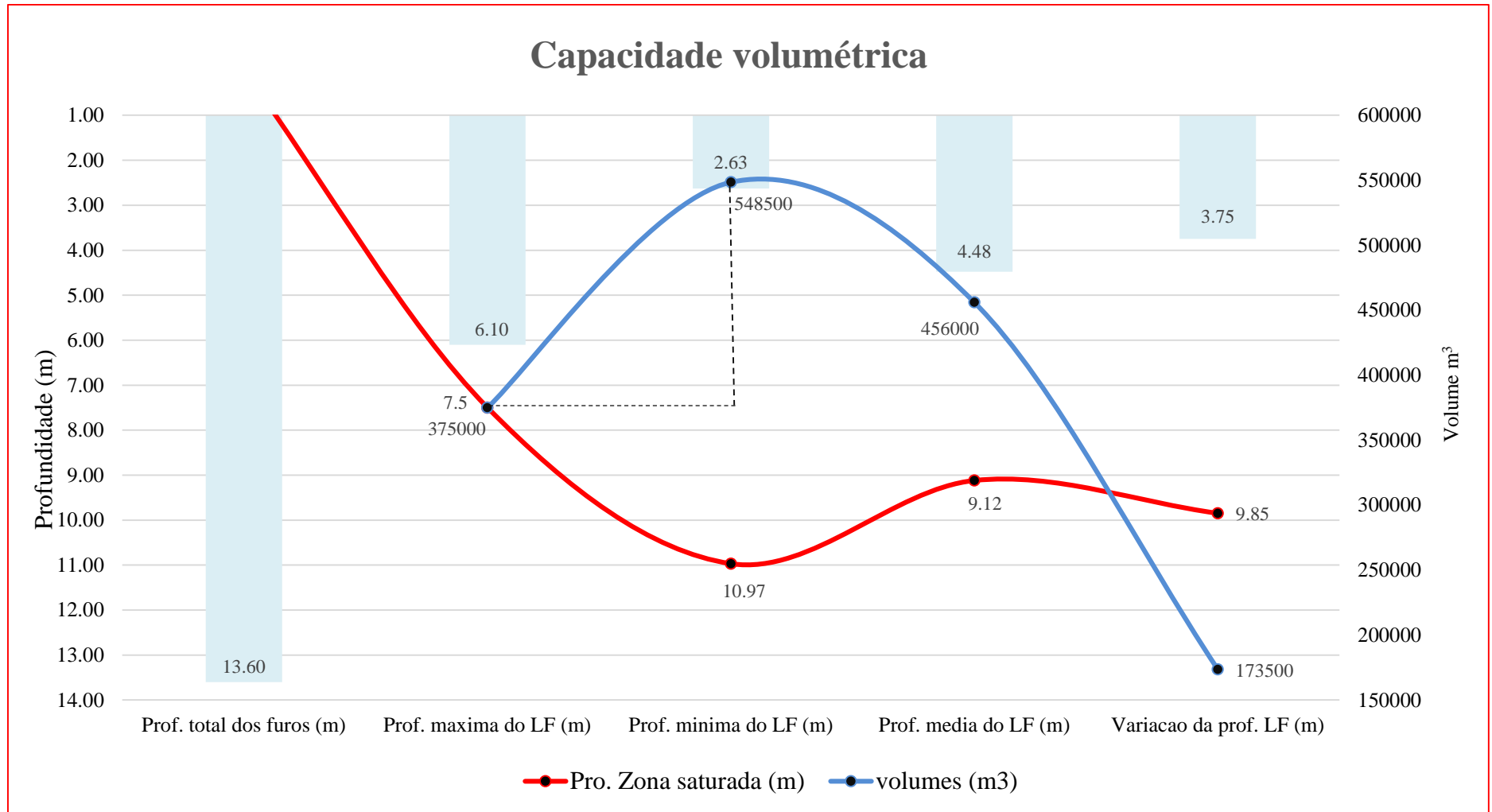


Figura 16: Resultados da capacidade volumétrica do aquífero.

4.2. Classificação das camadas litológicas e sedimentos depositados no leito seco do rio Limpopo

A figura 17, representa resultados da classificação das camadas litológicas e de sedimentos depositados no leito seco do rio Limpopo em trinta (30) pontos, em duas direcções, paralela e perpendicular ao rio Limpopo. No leito seco do rio Limpopo, predomina uma geológica de sedimentos arenosos diferenciados quanto ao tamanho, em areia fina, areia média e areia grossa.

Nos primeiros 500 metros (perto do Well 1), paralelamente ao rio há predominância das areias finas. Portanto, esta porção de areia fina em alguns pontos e em certas profundidades, está misturada com argila e matéria orgânica, sendo que, estas partículas são arrastadas das machambas pela acção da água da chuva (aluviões).

Perpendicular ao rio há predominância de areia média nos primeiros 4 metros de profundidade. Porém, após 4 metros de profundidade em todos pontos na secção transversal assim como longitudinal há ocorrência de areia grossa, num nível médio de lençol freático de 5 metros.

4.3. Conductividade Hidráulica

Os valores determinados de conductividade hidráulica (m/s) estão apresentados na figura 18. O valor de conductividade hidráulica em m/s na área de estudo, mediante o método aplicado, varia na ordem de 0.0002 a 0.006 m/s, sendo, 0.0002 m/s para areia fina, 0.0005 m/s para areia média e 0.006 m/s para areia grossa. Portanto o valor médio de conductividade hidráulica na área é de 0.002 m/s.

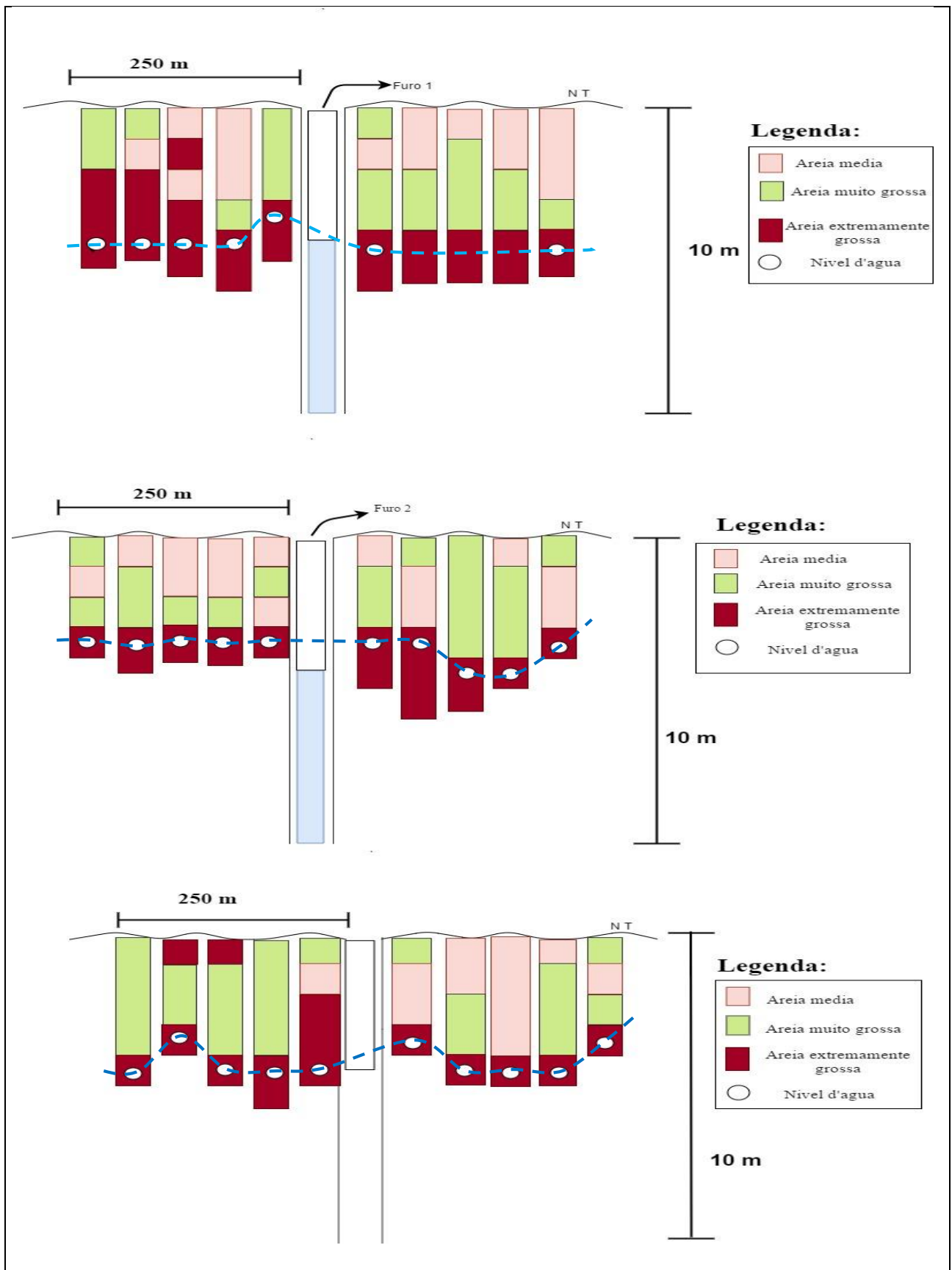


Figura 17: Classificação litológica das camadas.

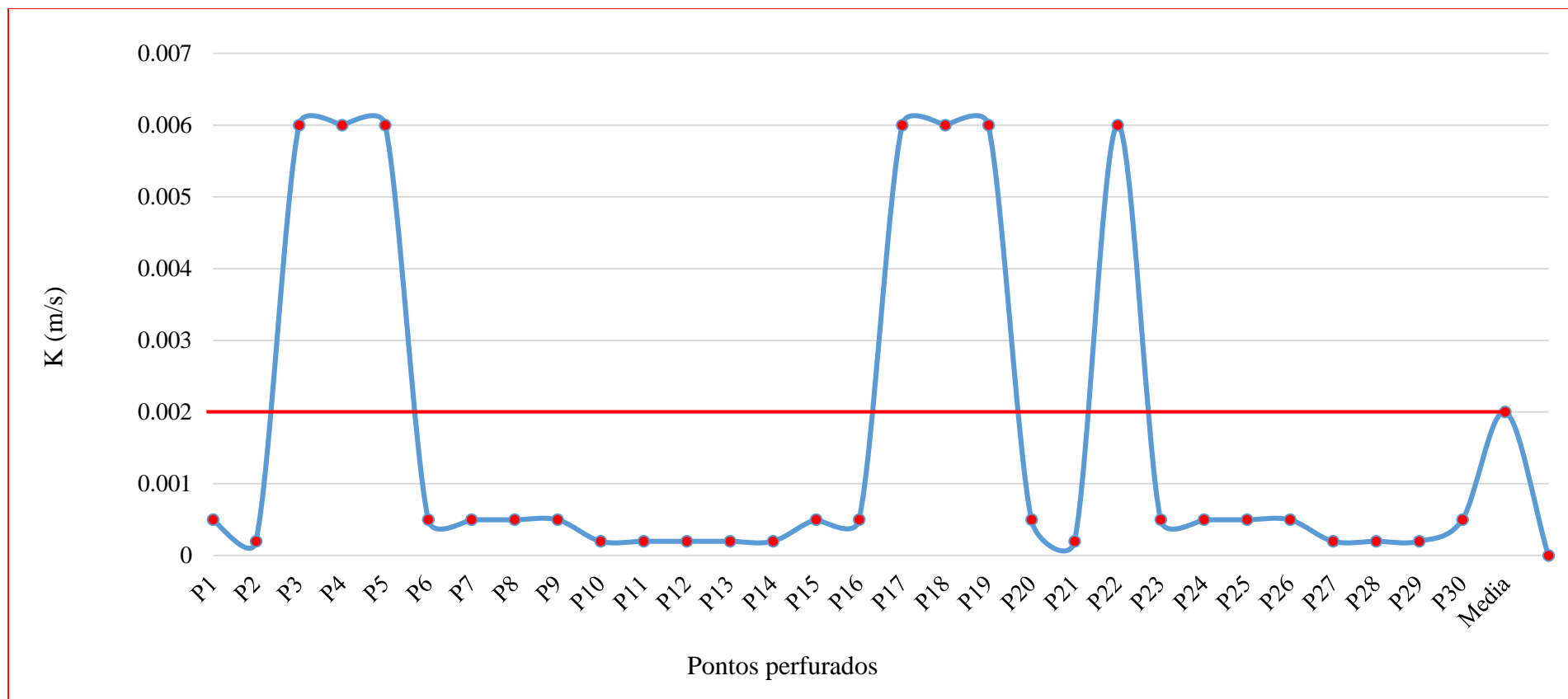


Figura 18: Resultados da condutividade hidráulica.

V. DISCUSSÃO

5.1. Monitoramento da variabilidade do lençol freático

No primeiro mês de monitoramento (Outubro de 2018), o nível médio de todos furos (Well 1, Well 2, Well 3 e Pz1) foi de 4.62 m, sendo que, a partir do segundo ao quarto mês (Novembro, Dezembro e Janeiro), os níveis tendiam cada vez mais a diminuir tendo registrado uma extrema diminuição no mês de Novembro com uma média de 4.86 m, seguido pelo mês de Janeiro com 4.80 m. Ao contrário disso, o último mês de monitoramento (Fevereiro), o nível da água começou a ser elevado tendo atingido uma média de 3.35 m, como resposta da precipitação (chuva) que se fez sentir nos primeiros e últimos dias do mês, também condicionado pelo aumento do caudal do rio Limpopo, ocasionando desta forma a recarga do aquífero.

Segundo Hirata, Zoby e Oliveira (2010), a precipitação influencia muito na variação do nível freático. Diante desta situação da influência da precipitação nos níveis freáticos, justifica o facto do aumento do nível freático no mês de Fevereiro.

Iritani e Ezaki (2012), sustentam que a profundidade do nível de água pode variar ao longo do ano, pois sofre acção da variação do clima. Assim, em períodos chuvosos, há maior infiltração de água e o nível de água subterrânea se eleva. No período de estiagem com pouca infiltração e maior processo de evapotranspiração, o nível de água pode ficar mais profundo.

Martins (2015), sustenta que o monitoramento deve ser realizado ao longo do ano, passando por diferentes períodos de regime pluviométrico, Por isso que, o presente trabalho foi realizado num período de cinco (5) meses, pois a profundidade do lençol depende das condições climáticas. Confrontando as evidências dos autores Iritani e Ezaki (2012) & Martins (2015), com os resultados deste estudo, constata-se que, no presente trabalho houve subida do lençol freático na época chuvosa e rebaixamento na época seca.

5.2. Classificação das camadas litológicas e sedimentos depositados no leito seco do rio Limpopo

O resultado da caracterização das camadas litológicas no leito seco do rio Limpopo mostra que há ocorrência de areias em diferentes pontos de colecta e em diferentes profundidades. A classificação granulométrica das camadas litológicas é composta por areias finas, médias e grossas. Portanto no primeiro ponto de sondagem (Well 1) há ocorrência da areia fina misturada com algumas proporções de argila e matéria orgânica.

FAEF (2001), realizou um estudo no mesmo lugar, onde concluiu que a geologia na maior parte da Bacia do Limpopo em Moçambique, é caracterizada por espessos depósitos de sedimentos marinhos do Pleistocénico e por depósitos arenosos do Quaternário. Esta região apresenta uma textura franco-arenosa com elevada percentagem de areia grossa. A ocorrência de areias grossas na água subterrânea localizado no leito seco do rio Limpopo, demonstra que o aquífero tem boa produtividade.

Segundo Munguambe et. al (2009), ao longo do rio Limpopo, nas curvas e meandros do rio, foram depositados sedimentos fluviais recentes, a distribuição destes depósitos fluviais é típica, com a formação de diques naturais mais elevados e depósitos arenosos mais próximos do rio e depressões pantanosas de sedimentos argilosos mais afastadas do rio.

5.3. Conductividade Hidráulica

A condutividade hidráulica pode ser entendida como a maior ou menor facilidade que um fluido encontra para percolar através de um maciço. Esse escoamento de água nos vazios do solo se dá no regime laminar (Giacheti, 2012).

A condutividade hidráulica é um importante factor para se estimar a velocidade do fluxo da água subterrânea (Ferraz, 2015).

No leito seco do rio Limpopo, onde realizou-se o estudo, em termos médios, a condutividade hidráulica obtida foi de 0.002 m/s.

Segundo Structx (2014), A condutividade hidráulica é um dos parâmetros, que fala sobre as propriedades de transmissão de um aquífero. A condutividade hidráulica pode variar em várias ordens de magnitude para o mesmo tipo de aquífero, compreendendo a validade dos dados e familiaridade com os métodos de determinar valores representativos de condutividade hidráulica. A condutividade hidráulica em areia fina é 0.0002 m/s, areia média é 0.0005 m/s e em areia grossa é 0.006m/s. em termos médios a condutividade hidráulica em solos arenosos varia entre 0.001 m/s a 0.002 m/s.

De cordo com estudo realizado por Attoumane (2018), no leito seco do rio Limpopo em Guijá, baseado no método de infiltrometro, a condutividade hidráulica obtida foi de 116.3 m/dia que em m/s é 0.001.

Portanto a condutividade hidráulica obtida neste estudo, de acordo com Structx (2014) para este tipo de solos (textura arenosa), considera-se como sendo uma condutividade hidráulica normal. Porém é uma condutividade hidráulica máxima admissível para este tipo de solo.

VI. CONCLUSÃO

O distrito de Guijá é caracterizado por condições climáticas típicas do semi – árido, o que justifica o facto de haver vulnerabilidade das fontes hídricas superficiais. O aquífero é predominantemente composto por areias finas, médias e grossas. A variabilidade hidrodinâmica da água subterrânea mostra que durante a época chuvosa os níveis freáticos aumentam significativamente até 2.63 m e que durante a época seca baixam até 6.10 m. Com a ocorrência de camadas litológicas compostas por areias grossas o aquífero é productivo com um rendimento acima de 18 m³/h e um volume médio de água disponível de 456000 m³. Diante dessa situação conclui-se que os depósitos de areia localizados no leito seco do rio Limpopo tem boa potencialidade de água subterrânea. Assim sendo, o uso da água subterrânea na região, seria uma estratégia ou alternativa para suprir as necessidades de água no sector da agricultura, alavancando desta forma promoção da agricultura irrigada em prol do desenvolvimento sócio-económico.

Com o volume da água existente nesse sistema de aquífero pode-se produzir no mínimo 20 hectares de cultura de tomate e cultura de milho durante todo ano, tomando em conta as suas necessidades de água de rega que variam entre 600 a 700 mm.

VII. RECOMENDAÇÕES

Durante o período de realização do trabalho existem alguns pontos ou actividades essenciais que por questões orçamentais não foram possíveis realizar. Portanto, Diante dessa situação, para os estudos futuros recomenda-se que se faça:

- ❖ Avaliação da qualidade da água;
- ❖ Realização do teste de bombagem para possibilitar a determinação de outros parâmetros físicos, como a transmissividade e posterior determinação da capacidade de exploração do aquífero.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrantes, H. F. (2013). *Avaliação da Variação das Condições Hidrodinâmicas em Solos Residuais*. Covilhã.
- Advocacia, B. (2011). *Importancia da agua subterranea*.
- Almeida, C. (1987). *Determinação de transmissividade e coeficiente de armazenamento por ensaios de recuperação*.
- Attoumane, A. (2018). *Assessing the groundwater dynamics, recharge and storage potential in the Limpopo River sand deposits*.
- Barreto, N. A. (2004). *Irrigação e drenagem na empresa agrícola*. Arcanjo-SE.
- Candaten, J. C. (2014). *Análise de ensaios de bombeamento de poços profundos*.
- Carvalho, N. d. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro.
- Cerqueira, H. (2017). *Critérios de projeto para instrumentação piezométrica de diversas estruturas*.
- Costa, W. D. (1998). *Avaliação de reservas, potencialidade e disponibilidade de aquíferos*. São Paulo.
- Costa, W. D. (2009). *Potencialidade e disponibilidade de aquíferos*.
- DNA. (1987). *Noticias explicativa da carta hidrogeologica de Mocambique*. Maputo.
- DNA. (1996). *Monografia hidrográfica da bacia do rio Limpopo*. Maputo.
- Ferraz, F. d. (2015). *Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo*. São Paulo.
- Freitas, M. A. (2015). *Protocolo de instalação de piezômetros em locais com nível freático pouco profundo*.
- Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (FAEF). (2001). *Região Agrícola do Chókwè, Diagnóstico da Fileira Agrícola*. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo

Avaliação hidrodinâmica da água subterrânea e sua potencialidade para a irrigação no leito seco do rio
Limpopo em Guijá

- Fukuzawa, C. M. (2008). *Influência da litologia nas águas e sedimentos do rio piranga*. Minas Gerais.
- Galvão, P. (2015). *Transmissividade de aquíferos sem ensaio de bombeamento pelo método da zona de captura*.
- GDG. (2014). *Plano local de adaptação*.
- Giacheti, H. L. (2012). *A condutividade hidráulica de um solo arenoso determinada a partir de ensaios de campo e de laboratório*.
- IRITANI, M. &. (2012). *As águas subterrâneas do estado de São Paulo*. São Paulo.
- Iritani, M. A. (2011). *Avaliação dos valores de transmissividade do aquífero sedimentar no município de caçapava*. São Paulo.
- Libardi, P. L. (2013). *Análise da determinação da condutividade do solo pelo método do perfil*.
- Martinez, M. (2018). *Geologia e Hidrografia*.
- Mendonça, J. C. (2010). *Ciclo hidrológico*.
- MICOA. (2002). *Estratégia de Prevenção e Combate às Queimadas e Desmatamento*. Maputo.
- Ministerio de administração estatal (MAE). (2005). *Perfil Do Distrito de Guija*. Maputo.
- Milhano, A. P. (2008). *Gestão dos recursos hídricos em Moçambique: Gaza – rio Limpopo*. Lisboa.
- Netto, A. (1998). *Manual de Hidráulica*. São .
- Niero, R. Z. (2011). *Acompanhamento do nível freático e determinação da condutividade hídrica do solo*. Florianópolis.
- Notiço, D. M. (2011). *Análise da Disponibilidade de Água para Implementação de Projectos de Irrigação - Bacia do Rio Limpopo - Moçambique*. Maputo.
- Pinto, R. M. (2011). *crise nas águas*.
- Riccomini, C. (2000). *Sedimentação em rios entrelaçados e anastomosados*.

Avaliação hidrodinâmica da água subterrânea e sua potencialidade para a irrigação no leito seco do rio
Limpopo em Guijá

Salemi, L. F. (2012). *Movimento das águas subterrâneas*.

Silva, L. D. (2006). *Ciclo hidrológico*.

Souza, M. d. (2013). *Aspectos hidrodinâmicos e qualidade das águas subterrâneas*. Belo Horizonte.

Structx. (2014). *Hydraulic Conductivity Ranges of Various Soil Types*.

R. Brito, S. Famba, P. Munguambe, N. Ibraimo and C. Julaiia. (2009). *Profile of the Limpopo Basin in Mozambique*. Maputo.

IX. ANEXO

Tabela 5: Material necessário para execução do estudo

#	Descrição do material/equipamento	Quantidade
1	Flash drive (8 GB)	1
2	Bloco de notas A5	1
3	Prancha (para notas no campo)	1
4	Luvas	1
5	Transporte	-
6	Lanche	-
7	Esferográfica	2
8	Marcadores permanentes	4
9	GPS	1
10	Martelo	1
11	Andaime	1
12	Baro, Diver, Sonda Eléctrica	1
13	Fita métrica e Cronometro	1/1
14	Tubos piezométricos	6
15	Cola tudo	45
16	Paty	4
17	Braçadeiras plásticas	50
18	Balde/ bomba/motor	1/1/1
19	Trado Manual	1

Tabela 6: coordenadas dos pontos perfurados

Nomes dos pontos	Coordenadas dos pontos de perfurações			Elevação (m)
	Distância (m)	S °	E °	
Esquerda do furo 1	50	24.51155	33.02397	-18
	100	24.51191	33.02441	-15
	150	24.51216	33.02481	-12
	200	24.51241	33.02519	17
	250	24.51267	33.0256	19
Direita do furo 1	50	24.51111	33.02308	22
	100	24.51082	33.02249	28
	150	24.50998	33.02251	37
	200	24.51044	33.02158	-1
	250	24.51012	33.02083	8
Esquerda do furo 2	50	24.51061	33.02045	42
	100	24.51209	33.02417	12
	150	24.5121	33.02415	12
	200	24.51272	33.02506	17
	250	24.51301	33.02569	22
Direita do furo 2	50	24.51124	33.02261	9
	100	24.51097	33.02221	-14
	150	24.51088	33.02155	70
	200	24.51067	33.02091	21
	250	24.51059	33.02044	27
Esq. ponto exacto	Ponto exacto	24.51187	33.02312	-57
	50	24.51187	33.02321	-38
	100	24.51207	33.02370	26
	150	24.51228	33.02398	26
	200	24.51244	33.02436	25
Direita do exacto	50	24.51177	33.02277	27
	100	24.51168	33.02245	26
	150	24.51155	33.02211	27
	200	24.51144	33.02177	24
	250	24.51133	33.02142	25

Avaliação hidrodinâmica da água subterrânea e sua potencialidade para a irrigação no leito seco do rio
Limpopo em Guijá

Nome	Distâncias (m)	Profundidade (m)	Nível da água (m)	Classificação
Esquerda do furo 1	50	1	4	Areia muito grossa
		2		
		3		
		4		Areia extremamente grossa
		5		
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		
	100	1	5	Areia media grossa
		2		
		3		
		4		Areia muito grossa
		5		
		6		Areia extremamente grossa
		7		
		8		
		9		
		10		
	150	1	5	Areia media grossa
		2		
		3		Areia extremamente grossa
		4		
		5		Areia media grossa
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		
	200	1	5	Areia muito grossa
		2		Areia media grossa

Avaliação hidrodinâmica da água subterrânea e sua potencialidade para a irrigação no leito seco do rio
Limpopo em Guijá

		3		Areia extremamente grossa	
		4			
		5			
		6			
		7			
		8			
		9			
		10			
		250			
2					
3	Areia extremamente grossa				
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Nome	Distâncias (m)	Profundidade (m)	Nível da água (m)	Classificação
Direita do furo 1	50	1	5	Areia muito grossa
		2		Areia média grossa
		3		Areia muito grossa
		4		Areia extremamente grossa
		5		
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		
	100	1	Sem água	Areia média grossa
		2		
		3		Areia muito grossa
		4		
		5		

Avaliação hidrodinâmica da água subterrânea e sua potencialidade para a irrigação no leito seco do rio
Limpopo em Guijá

		6		Areia extremamente grossa
		7		
		8		
		9		
		10		
	150	1	Sem água	Areia média grossa
		2		Areia muito grossa
		3		
		4		
		5		Areia extremamente grossa
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		
	200	1	Sem água	Areia média grossa
		2		
		3		Areia muito grossa
		4		
		5		Areia extremamente grossa
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		
	250	1	5	Areia média grossa
		2		
		3		
		4		Areia muito grossa
		5		Areia extremamente grossa
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		

Tabela 7: conductividade hidráulica da área de estudo

Pontos	Tipo de solo	K (m/s)
P1	Areia média	0.0005
P2	Areia fina	0.0002
P3	Areia grossa	0.006
P4	Areia grossa	0.006
P5	Areia grossa	0.006
P6	Areia média	0.0005
P7	Areia média	0.0005
P8	Areia média	0.0005
P9	Areia média	0.0005
P10	Areia fina	0.0002
P11	Areia fina	0.0002
P12	Areia fina	0.0002
P13	Areia fina	0.0002
P14	Areia fina	0.0002
P15	Areia média	0.0005
P16	Areia média	0.0005
P17	Areia grossa	0.006
P18	Areia grossa	0.006
P19	Areia grossa	0.006
P20	Areia média	0.0005
P21	Areia fina	0.0002
P22	Areia grossa	0.006
P23	Areia média	0.0005
P24	Areia média	0.0005
P25	Areia média	0.0005
P26	Areia média	0.0005
P27	Areia fina	0.0002
P28	Areia fina	0.0002
P29	Areia fina	0.0002
P30	Areia média	0.0005
Média		0.002

Tabela 8: capacidade volumétrica

Profundidade (m)		Pro. Zona saturada (m)	Área (m ²)	Volumes (m ³)
Prof. total dos furos (m)	13.60	0	50000	
Prof. máximo do LF (m)	6.10	7.5		375000
Prof. mínima do LF (m)	2.63	10.97		548500
Prof. médio do LF (m)	4.48	9.12		456000
Varição do LF (m)	3.75	9.85		173500

Tabela 9: Resultados mensais de monitoria

Nome	Mês	Nível médio da água
Well 1	Outubro	5.88
Well 2		4.05
Well 3		4.42
Pz1		4.16
Média		4.62

Nome	Mês	Nível médio da água
Well 1	Dezembro	6.06
Well 2		4.09
Well 3		4.48
Pz1		4.36
Média		4.74

Nome	Mês	Nível médio da água
Well 1	Janeiro	6.05
Well 2		4.10
Well 3		4.46
Pz1		4.61
Média		4.80

Nome	Mês	Nível médio da água
Well 1	Fevereiro	4.61
Well 2		2.63
Well 3		3.01
Pz1		3.14
Média		3.35

Mean	4.4755
Standard Error	0.22180358
Median	4.4225
Mode	#N/A
Standard Deviation	0.99193577
Sample Variance	0.98393658
Kurtosis	0.10171716
Skewness	0.32060113
Range	3.75
Minimum	2.63
Maximum	6.10
Sum	89.51
Count	20