



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

INGRID SILVEIRA ARRUDA

**DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NO AQUÍFERO
ALUVIAL DO RIO SUCURU ATRAVÉS DO ENSAIO *SLUG TEST***

CAMPINA GRANDE

2018

INGRID SILVEIRA ARRUDA

**DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NO AQUÍFERO
ALUVIAL DO RIO SUCURU ATRAVÉS DO ENSAIO *SLUG TEST***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para
encerramento do componente curricular e conclusão da
graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Janiro Costa Rêgo

Coorientadora: Msc. Bárbara Barbosa Tsuyuguchi

CAMPINA GRANDE – PB

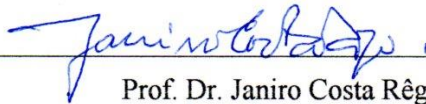
2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

INGRID SILVEIRA ARRUDA

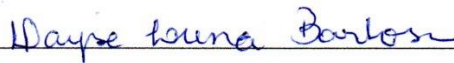
DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NO AQUÍFERO ALUVIAL DO RIO SUCURU ATRAVÉS DO ENSAIO *SLUG TEST*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, defendido no dia 12/12/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Janiro Costa Rêgo
Orientador

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande



Prof.^a Dr.^a Dayse Luna Barbosa
Membro Interno

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande



Renata Travassos de Araújo
Examinadora Externa

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental
Universidade Federal de Campina Grande

À minha mãe (*in memoriam*), pelos sentimentos mais profundos e belos que ela conseguiu despertar, por toda força que eu não supunha dispor, florescia em meu coração pelo seu amor, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Gratidão é a palavra que define o fim desse ciclo. Primeiramente, agradeço a Deus por ter me concedido saúde e todas as condições necessárias para que eu chegasse até aqui, além disso, por ter colocado pessoas tão especiais ao meu lado. Foram anos desafiantes, os quais contei com o auxílio de muitos.

Agradeço assim, à minha mãe América (*in memoriam*), por todas lições ensinadas e eternizadas em meu coração, pela sua torcida por mim, pelas inúmeras comemorações de pequenas conquistas, por acreditar que eu iria mais longe.

Ao meu Pai Humberto, um homem reto, de grande coração. Agradeço por sempre ter colocado a educação como prioridade e por ter plantado esse valor em nossa família, pelas inúmeras renúncias feitas para que pudesse fazer o melhor para mim e meus irmãos.

À Tia Angélica, personificação de doação e amor, minha segunda mãe, agradeço por sempre cuidar de mim tão bem. Nunca conseguirei ser grata por tudo que ela nos faz.

À minha irmã Isabelle, por todo auxílio prestado, pelos momentos de tristeza, alegria e dúvidas, compartilhados, pela parceria e amizade. Encontrei em você o apoio que necessitava nos momentos mais difíceis da minha vida.

À Ítalo, meu irmão, por todo companheirismo, torcida e amizade. Tenho a plena convicção que sempre posso contar com você.

Aos meus queridos amigos, sejam os que estão comigo desde a infância, colégio, universidade, intercâmbio. Agradeço a cada um por todo apoio recebido, pelos sorrisos e dificuldades compartilhadas. “Inspiradora de coragem e abnegação, a amizade enflorêsce as almas, abençoando-as com resistências para as lutas.” (Joanna de Ângelis). Com vocês, conseguir haurir forças para ir além!

Agradeço enormemente ao Professor Janiro, por quem nutro carinho e admiração, primeiramente por ter me concedido a oportunidade de ser sua orientanda como aluna PIBIC e neste trabalho de conclusão de curso. Pude aprender muito com seu vasto conhecimento, não apenas científico, mas também sobre a vida. Gratidão pelas conversas, risadas, incentivos, críticas construtivas e pelo clima de leveza ao longo desse período convivido.

Da mesma maneira, agradeço a Bárbara, coorientadora deste trabalho. Seu auxílio e contribuições foram fundamentais ao longo da minha caminhada na pesquisa. Obrigada pela paciência, gentileza e presteza.

Aos meus professores, por se dedicarem a uma profissão tão nobre, por todo saber que conseguiram fomentar. Agradeço, ainda, aos professores que compõem a banca, Dayse Luna e

Renata Travassos, por terem aceitado o convite de avaliar o presente trabalho, me sinto honrada em poder contar com a opinião acadêmica de dois profissionais tão competentes.

Não poderia deixar de agradecer ao Técnico Ismael, peça-chave nessa pesquisa, profissional de excelência que tanto me auxiliou nesses procedimentos experimentais, ajudando não apenas na execução desses, mas também fornecendo contribuições mais profundas.

Por fim, a todos que torceram por mim e que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento: muito obrigada!

“Um arado promete serviço, disciplina, aflição e cansaço; no entanto, não se deve esquecer de que, depois dele, chegam sementeiras e colheitas, pães no prato e celeiros guarnecidos.” (Emmanuel)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo determinar a condutividade hidráulica do aquífero aluvial em um trecho da Bacia Hidrográfica do Rio Sucuru através do ensaio *slug test*. Os aquíferos aluviais são formações geológicas compostas por sedimentos de diversas granulometrias como silte, argila, areia e cascalho, depositados pelas correntes hídricas nos leitos e margens de rios e riachos. Caracterizam-se por serem aquíferos do tipo frático, de pequenas dimensões e no caso do Semiárido Brasileiro, em sua maior parte, limitados por rochas cristalinas na sua base. Os ensaios foram realizados em três piezômetros de monitoramento: PZ2, PZ3 e PZ4. O ensaio *slug test* consiste na imersão de uma caçamba cilíndrica, com a posterior observação da variação do nível d'água durante sua retirada, metodologia conhecida como *bail test* ou *rising-head test*. Foram escolhidos pontos considerados como representativos para determinação da condutividade hidráulica, selecionando-se os piezômetros de maior diâmetro, e dos quais se tem as informações necessárias. Utilizou-se os Métodos teóricos de Hvorslev (1951) e Bouwer & Rice (1976) para determinação da Condutividade Hidráulica Média. Determinou-se valores de condutividade hidráulica com base na média dos valores de três ensaios, realizados em cada piezômetro. Obtiveram-se valores de alta magnitude para a Condutividade Hidráulica, na faixa de 10^{-4} a 10^{-5} m/s. Os resultados dos ensaios utilizando os dois métodos foram similares, possuindo a mesma ordem de grandeza. Esses podem ser compreendidos como condutividades hidráulicas das seções filtrantes, ou seja, representam a condutividade hidráulica média das camadas nas quais o filtro se encontra.

Palavras-chave: Aquíferos Aluviais, *Slug Test*, Condutividade Hidráulica.

ABSTRACT

This work aims to determine the hydraulic conductivity of the alluvial aquifer in a stretch of the Sucuru River basin through the slug test. The alluvial aquifers are geological formations composed of sediments of various grain sizes such as silt, clay, sand and gravel deposited by water currents in the beds and banks of rivers and streams. They form unconfined aquifers of small dimensions and in the case of the Brazilian semi-arid region, in the vast majority, limited by crystalline rocks on your base. The tests were carried out at three monitoring piezometers, PZ2, PZ3 and PZ4. The slug test consists of the immersion of a cylindrical bucket, with the subsequent observation of the variation of water level during your retreat, methodology known as bail test or rising-head test. Representative points were chosen for the determination of hydraulic conductivity selecting the piezometers of bigger diameter, and which has the necessary information. Theoretical methods of Hvorslev (1951) and Bouwer & Rice (1976) were used for determining the average hydraulic conductivity. Hydraulic conductivity values were determined based on the mean values of three tests performed on each piezometer. High-magnitude values were obtained for the Hydraulic Conductivity, in the range of 10^{-4} to 10^{-5} 10 m/s. The results of the assays using the two methods were similar, having the same order of magnitude. These can be understood as hydraulic conductivities of the filter sections, that is, they represent the average hydraulic conductivity of the layers in which the filter is located.

Keywords: Alluvial Aquifers, Slug Test, Hydraulic Conductivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seção Transversal de Aquífero Aluvial.	17
Figura 2 – Lei de Darcy.....	18
Figura 3 – Configuração de Slug Test do Tipo Pneumático.....	22
Figura 4 – Slug Test e Bail Test.	22
Figura 5 – Cone de Depressão formado num poço instalado em aquífero livre	23
Figura 6– Esquema de Ensaio para o slug test.	24
Figura 7 – Diferentes Formas de Resposta para Recuperação do Nível d’água.....	26
Figura 8 – Geometria do Piezômetro considerada para o método de Hvorslev.	28
Figura 9 – Slug Test para perfuração com o nível de água abaixo (A) e acima (B) do topo do filtro ou seção filtrante.....	29
Figura 10 - Fluxograma Metodológico da Pesquisa.....	32
Figura 11 – Mapa de Localização da Área de Pesquisa.	32
Figura 12 – Nível Estático do PZ2.	35
Figura 13 – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ4 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru.....	36
Figura 14 – Piezômetro 2 (PZ2) e Piezômetro 3 (PZ3).	37
Figura 15 – Mapa de Localização dos Piezômetros na Área de Pesquisa.	37
Figura 16 – Medidor de Nível de Água Elétrico.	39
Figura 17 – Anotação de dados do ensaio em uma planilha.	39
Figura 18 – Inserção da caçamba cilíndrica no interior do piezômetro.....	40
Figura 19 – Remoção da caçamba cilíndrica no interior do piezômetro.	40
Figura 20 – Esquema dos Parâmetros H_0 e H_t referentes ao ensaio Slug Test.	42
Figura 21 – Gráfico para o Método de Hvorslov.....	43
Figura 22 – Geometria e símbolos para um slug test em um poço parcialmente penetrante. ..	44
Figura 23 – Parâmetros A, B e C plotados em função da razão L_e/r_w	45
Figura 24 – Dados dos Ensaio do Tipo <i>Bail Test</i> no PZ2.....	46
Figura 25 – Dados dos Ensaio do Tipo <i>Bail Test</i> no PZ4.....	46
Figura 26 – Dados do Ensaio do Tipo <i>Bail Test</i> no PZ3.	47
Figura 27 – Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d’água no PZ2, 2º ensaio.....	47

Figura 28 – Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ3, 1º ensaio.....	48
Figura 29 – Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ4, 4º ensaio.....	48
Figura 30 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ2, 2º Ensaio.....	49
Figura 31 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ3, 1º Ensaio.....	50
Figura 32 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ4, 1º Ensaio.....	51
Figura 33 – Gráfico para o Método de Bouwer & Rice - PZ2, 2º Ensaio.....	53
Figura 34 – Gráfico para o Método de Bouwer & Rice - PZ3, 1º Ensaio.....	54
Figura 35 – Gráfico para o Método de Bouwer & Rice – PZ4, 1º Ensaio.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de magnitudes da condutividade hidráulica (adaptado de Freeze & Cherry,1996 e Fetter ,1994).....	19
Tabela 2 – Informações construtivas sobre os Piezômetros de Monitoramento Ensaaiados.	38
Tabela 3 – Condutividades Hidráulicas obtidas para o PZ2, Método de Hvorslev.	50
Tabela 4 – Condutividades Hidráulicas obtidas para o PZ3, Método de Hvorslev.	51
Tabela 5 – Condutividades Hidráulicas obtidas para os ensaios no PZ4, Método de Hvorslev.	52
Tabela 6 – Condutividades Hidráulicas - Método de Bouwer & Rice - PZ2	53
Tabela 7 – Condutividades Hidráulicas obtidas para o PZ3, Método de Bouwer & Rice.	54
Tabela 8 – Condutividades Hidráulicas obtidas para o PZ4, Método de Bouwer & Rice.	55
Tabela 9 - Condutividades Hidráulicas Médias nos Piezômetros pelo Método de Hvorslev e Bouwer & Rice	56
Tabela 10 – Classificação das Camadas que compreendem a seção filtrante, nos piezômetros	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

ASTM – American Society for Testing and Materials

BRAMAR – Strategies and Technologies for Water Scarcity Mitigation in Northeast of **BRA**zil: Water Reuse, **M**anaged **A**quifer **R**echarge and Integrated Water Resources Management

CalEPA – California Environmental Protection Agency

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

PCC – Permeâmetro de Carga Constante

PCD – Permeâmetro de Carga Decrescente

PG – Permeâmetro de Guelph

PZ1 – Piezômetro de Monitoramento Número Um

PZ2 – Piezômetro de Monitoramento Número Dois

PZ3 – Piezômetro de Monitoramento Número Três

PZ4 – Piezômetro de Monitoramento Número Quatro

USGS – United States Geological Survey

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 AQUÍFEROS ALUVIAIS	16
3.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K)	18
3.3 SLUG TEST	20
3.4 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K) EM AQUÍFEROS LIVRES.....	26
3.5 DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K) EM ALUVIÕES.....	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
4.2 SELEÇÃO DOS PIEZÔMETROS.....	37
4.3 EXECUÇÃO DO <i>SLUG TEST</i>	38
4.4 INTERPRETAÇÃO DE DADOS	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
5.1 MÉTODO DE HVORSLEV	49
5.2 MÉTODO DE BOUWER & RICE	52
5.3 ANÁLISE DOS VALORES ENCONTRADOS	56
5 CONCLUSÕES.....	57
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE A – DADOS DE RECUPERAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA PARA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE HVORSLEV E BOUWER & RICE	62
APÊNDICE B – GRÁFICOS REFERENTES A NATUREZA DA RECUPERAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA NOS PIEZÔMETROS.....	82

APÊNDICE C – GRÁFICOS DO MÉTODO DE HVORSLEV	85
APÊNDICE D – GRÁFICOS DO MÉTODO DE BOUWER & RICE	88
ANEXO A – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ1 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru.....	92
ANEXO B – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ2 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru.....	93
ANEXO C – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ3 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru.....	94

1 INTRODUÇÃO

Os aquíferos podem ser entendidos como formações geológicas que contêm água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais. Como exemplos, podem ser citadas formações permeáveis, tais como os arenitos e areias (CPRM, 2010).

O parâmetro hidrodinâmico que fornece uma ideia quantitativa sobre o potencial de exploração de um aquífero é chamado de condutividade hidráulica. Quanto maior a condutividade hidráulica, maior será a facilidade da água de se movimentar no solo.

Segundo Cleary (2007), a condutividade hidráulica expressa uma medida da habilidade do aquífero de conduzir água sob a influência do gradiente de uma superfície potenciométrica. Nesse contexto, o conhecimento desse parâmetro é muito importante para determinação do fluxo de água nos solos, sendo fundamental para a modelagem do fluxo de águas subterrâneas em um aquífero.

Para qualquer estudo que envolva a movimentação de água no perfil pedológico, o estudo da condutividade hidráulica é uma ferramenta essencial. Sua importância abrange tanto estudos da própria dinâmica da água e drenagem do solo, quanto estudos de potencial contaminação e exploração dos reservatórios subterrâneos (ADASA, 2016).

A condutividade hidráulica depende de vários fatores, tais como: grau de saturação do solo, distribuição granulométrica, distribuição de tamanho dos poros, índice de vazios, rugosidade das partículas minerais e viscosidade do fluido, variando muito para diferentes solos (DAS, 2007).

Há vários ensaios utilizados para determinação da condutividade hidráulica do solo. Quanto aos métodos empíricos realizados em laboratório, podem ser citados o permeâmetro de carga constante (PCC ou *the constant-head permeameter*) e o permeâmetro de carga decrescente (PCD ou *the falling head permeameter*). Também podem ser utilizadas outras relações empíricas baseadas no tamanho dos grãos em análise e outros testes *in situ*, como os Testes de Bombeamento, o Permeâmetro de Guelph e o *Slug Test*.

Nesse contexto, destaca-se o *slug test*, caracterizado pela sua viabilidade econômica e rapidez de execução. O ensaio consiste na imersão de um cilindro, com a posterior observação da variação do nível d'água durante a sua introdução ou retirada. Esse ensaio apenas determina a condutividade hidráulica (K) da área circundante ao poço/piezômetro.

A metodologia utilizada nessa pesquisa envolve a realização de ensaios *in situ*, intitulados de *bail test* (outra nomenclatura para o *slug test*), realizados no aquífero aluvial do

Rio Sucuru, no município de Sumé, Paraíba. Este trabalho está inserido no contexto do Projeto BRAMAR - *Desenvolvimento de Estratégias e Tecnologias Inovadoras para Mitigação dos Efeitos da Escassez de Água no Nordeste Brasileiro*, resultado de uma parceria entre o Ministério Federal de Educação e Pesquisa da Alemanha e a Empresa Pública Brasileira de Inovação e Pesquisa (FINEP), e que tem o caso de estudo de Sumé como uma de suas áreas de pesquisa. Diversos estudos de simulação de fluxo subterrâneo no aluvião tem demandado uma melhor caracterização dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero.

O *bail test* consiste na remoção instantânea de uma caçamba cilíndrica de volume conhecido com o deslocamento de um montante de água, seguido do acompanhamento da recuperação do nível estático da água no poço/piezômetro. A recuperação do nível de água acontece através da passagem de água de um meio com maior gradiente hidráulico para um meio de menor gradiente hidráulico, ou seja, ocorrendo o fluxo de água do aquífero para o interior do piezômetro. A observação da variação do nível d'água é feita com o auxílio de um transdutor de pressão e após isso, define-se a metodologia para análise dos resultados, escolhida com base nas condições de contorno do aquífero e do poço/piezômetro.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a condutividade hidráulica em um trecho da Bacia Hidrográfica do Rio Sucuru.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar e analisar valores de Condutividade Hidráulica (K) a partir de ensaios de campo *slug test* executados em piezômetros de monitoramento no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru;
- Comparar a Condutividade Hidráulica (K) do Aquífero Aluvial do Rio Sucuru estimada através de diferentes métodos;
- Detectar informações sobre possíveis variações espaciais da condutividade hidráulica do Aquífero Aluvial do Rio Sucuru;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

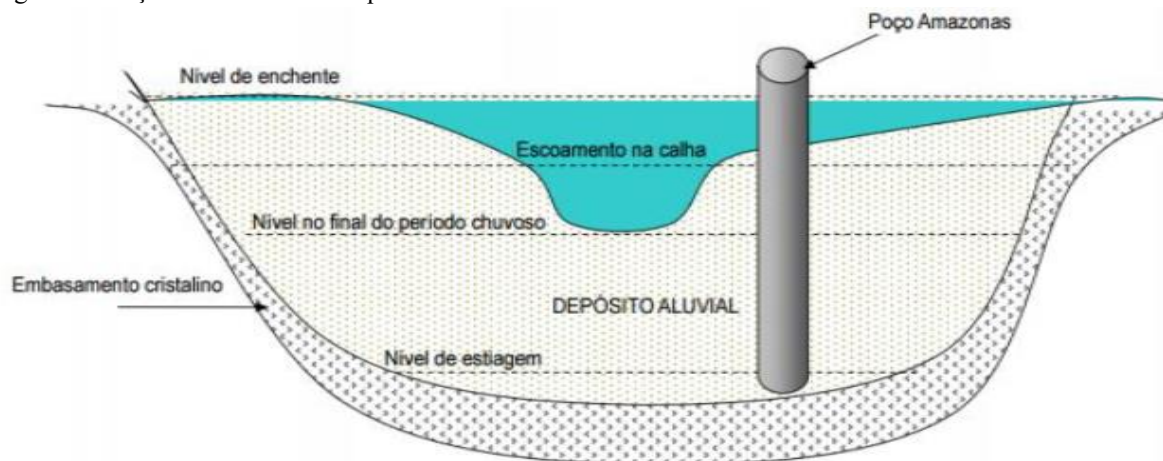
3.1 AQUÍFEROS ALUVIAIS

Scheidegger (1991 apud Vieira, 2002) define os aquíferos aluviais como formações geológicas com depósitos de origem recente (ou quaternária), originados dos processos erosivos de desenvolvimento de rios e riachos ocorridos na superfície de uma bacia hidrográfica, formando córregos e planícies de inundação. Assim, conhecidos como aluviões, esses são “pacotes” de sedimentos detríticos resultantes do carreamento pela água, formados por silte, argila, areia e cascalho de variadas granulometrias.

Pinto explica que a constituição dos aluviões depende da velocidade das águas no momento de deposição, existindo aluviões essencialmente arenosos, bem como aluviões muito argilosos, comuns nas várzeas quaternárias dos córregos e rios. Também se observa a ocorrência de camadas sobrepostas de granulometrias distintas, devidas a diversas épocas e regimes de deposição (PINTO, 2006).

Nessa pesquisa, objetiva-se estudar o Aquífero Aluvial do Rio Sucuru. Este aquífero tem como principais características ser do tipo freático, poroso, de pequenas dimensões e limitado por rochas cristalinas impermeáveis na sua base, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Seção Transversal de Aquífero Aluvial.



Fonte: COSTA FILHO (2013).

Diante do cenário de crise hídrica recorrente no semiárido brasileiro, com a predominância do embasamento cristalino, as reservas subterrâneas de aquíferos aluviais do Rio Sucuru representam um recurso hídrico estratégico na região Semiárida. Esse recurso geralmente não apresenta potencial suficiente para o abastecimento urbano, no entanto, é utilizado para o desenvolvimento de atividades agrícolas e pecuárias através da exploração de poços de grandes diâmetros.

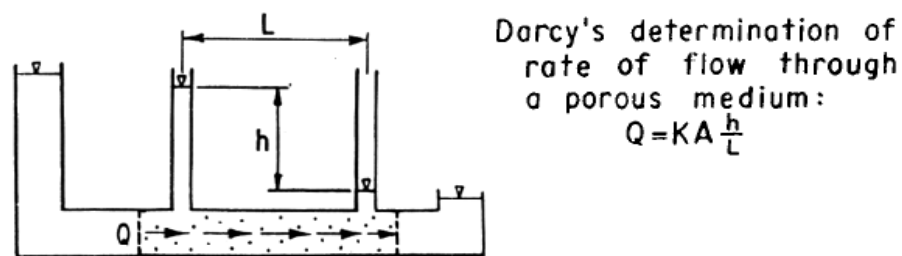
Rebouças (1983 apud Albuquerque, 1984) enfatiza a importância dos aquíferos aluviais ao suprimento hídrico da população rural no semiárido. Assim, são citados três motivos: o primeiro, por serem os mais francamente realimentados pelas chuvas e enchentes da densa rede de drenagem; segundo, por estocarem importantes reservas e terceiro, por armazenarem água subterrânea ao alcance dos meios técnicos e econômicos das populações rurais, enfatizando que o manancial desempenharia um papel muito menos importante do que sua relativa abundância permitira, com a vantagem de acusarem os efeitos dos períodos de estiagem com um grande atraso.

Segundo Albuquerque (1984), dos quatro sistemas aquíferos existentes no semiárido paraibano: Cristalino, Rio do Peixe, Serra do Martins e Aluvial, esse último é o que apresenta os menores índices de salinidade.

3.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K)

A fundação da hidráulica de águas subterrâneas é expressa pela lei de Darcy (Muskat, 1946; Theis, 1935 apud Groundwater Manual, 1995) onde afirma-se que a taxa de fluxo através de um meio poroso é proporcional à perda de carga e inversamente proporcional ao comprimento da trajetória do fluxo (Figura 2). Esta lei se aplica para fluxos laminares, sem turbulência (GROUNDWATER MANUAL, 1995).

Figura 2 – Lei de Darcy.



Fonte: U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (1995).

A lei é escrita na forma:

$$Q = -K \cdot \frac{dh}{dl} \cdot A \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Q = vazão;

A = área da seção transversal do aquífero;

dh/dl = gradiente hidráulico (variação da carga hidráulica ao longo da extensão);

K = constante de proporcionalidade.

A Lei de Darcy leva a equação a $K = V/i = Q \cdot i \cdot A$, onde K é uma constante de proporcionalidade, comumente conhecida como a condutividade hidráulica (Lohman et al., 1972 apud Groundwater Manual, 1995) e tem as dimensões $L^3/T/L^2$ que se reduz a L/T ou velocidade.

O coeficiente de proporcionalidade (K), mostrado na Eq.1, é chamado de coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica. Esse depende das características do meio poroso em estudo, isto é, porosidade, tamanho e distribuição das partículas, forma e arranjo e

também está relacionado as propriedades do fluido como massa específica, viscosidade e consequentemente, temperatura.

Com base nos valores obtidos para a condutividade hidráulica (K), Fiori (2010) classifica esse parâmetro quanto à sua magnitude, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Classificação de magnitudes da condutividade hidráulica (adaptado de Freeze & Cherry, 1996 e Fetter, 1994).

Ordem de grandeza de K (em m/s)	Magnitude	Exemplo de materiais
$> 10^{-3}$	Muito alta	Cascalho clasto-suportado / Fratura com abertura maior que 5 mm.
10^{-3} a 10^{-5}	Alta	Arenito grosso, puro e bem selecionado.
10^{-6}	Moderada	Arenito fino a médio, com pequena quantidade de matriz / Solo arenoso.
10^{-7} a 10^{-8}	Baixa	Solo argiloso / Siltito pouco fraturado / Grauvaca / Arenito cimentado.
$< 10^{-8}$	Muito Baixa	Siltito argiloso / Solo argiloso sem estruturação / Folhelho.

Fonte: FIORI (2010).

Poucos parâmetros físicos variam tanto como a Condutividade Hidráulica (HEATH, 1982). Uma pequena quantidade de silte e argila presente num solo arenoso, pode mudar de maneira significativa o valor da condutividade hidráulica (DAS, 2007). Essa difere para diferentes tipos de rochas e para diferentes locais em uma mesma rocha. Quando a condutividade hidráulica é a mesma em uma área, tal aquífero é denominado *homogêneo*. Se a condutividade hidráulica for diferente para diferentes partes de uma mesma área, o aquífero é dito *heterogêneo*.

Conforme Freeze & Cherry (1979), se a Condutividade Hidráulica é independente da direção de medição em um ponto em uma formação geológica, a formação é isotrópica nesse ponto. Se essa varia direccionalmente em determinado ponto na formação geológica, a formação é anisotrópica naquele ponto.

Convenientemente, em muitas análises, assume-se que os aquíferos são homogêneos e isotrópicos, no entanto, esses tipos de aquífero são raros, se existirem. Geralmente, para muitas rochas e depósitos inconsolidados e em rocha horizontalizadas, tem-se que a condutividade hidráulica horizontal é maior do que a condutividade hidráulica vertical (HEATH, 1982).

Essa diferença se dá devido à complexidade do sistema aquífero. Essas formações geológicas são muito complexas e variáveis uma vez que as vazões de águas subterrâneas ocorrem em escala espacial, verticalmente e horizontalmente. É comum que o aquífero detenha camadas de diferentes materiais geológicos. Frequentemente, observa-se lentes de areia acumuladas por deposição no interior de materiais geológicos impermeáveis, como siltes e argilas (DAVIS E MASTEN, 2016).

3.3 SLUG TEST

O *slug test* é um método bastante interessante para a determinação do coeficiente de permeabilidade (K). Segundo Fitts (2015):

Os testes *slug* são um modo relativamente rápido e barato de se obter estimativas da condutividade hidráulica horizontal no ambiente natural e, em alguns casos, do armazenamento específico. Os testes *slug* mobilizam pouca água e testam apenas os materiais imediatamente adjacentes ao filtro instalado do poço.

Este ensaio consiste na introdução ou remoção de um cilindro sólido, também conhecido como “tarugo” ou na introdução ou remoção de volume, V, de água, com o auxílio de uma caçamba cilíndrica que armazena água. Assim, a partir da metodologia escolhida, ocorre uma variação instantânea do nível de água do poço e posteriormente, acompanha-se o aumento ou rebaixamento do nível d’água no interior do poço ou piezômetro, a depender do procedimento adotado (ABGE, 2013).

Quanto ao termo *slug*, entende-se como um volume de água ou objeto sólido usado para induzir uma mudança súbita de carga hidráulica em um poço ou piezômetro (ASTM, 2015).

Nesse contexto, há várias vantagens para a utilização do ensaio. Segundo a U.S. Geological Survey – USGS (2010) são:

- A depender do método utilizado, a água potencialmente contaminada que requer disposição especial não é removida do poço;
- Os testes *slug* podem ser conduzidos rapidamente e, portanto, são relativamente baratos;
- Apenas um poço/piezômetro é necessário para a realização do teste (não há necessidade de poços de observação) e não é necessária a utilização de bombas;
- Como os dados do *slug test* para a estimativa da condutividade hidráulica são coletados com poucos minutos do início do teste, a técnica pode ser utilizada próximo de poços bombeados ou onde a interferência no poço é esperada, desde que as mudanças esperadas no nível de água ocorram lentamente em comparação com o tempo que as informações do test *slug* serão analisadas;

Há ainda outras vantagens, conforme citadas pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE (2013):

- Adequado para uma ampla gama de poços de pequeno diâmetro;
- Apresenta resultados compatíveis com outros métodos;
- Gera quantidade reduzida de efluentes;
- Pode ser realizado por apenas uma pessoa, caso seja utilizado o transdutor de pressão;

- É possível, em um mesmo poço, fazer os dois tipos de ensaios, de rebaixamento e recuperação, um sucessivo ao outro.

Como desvantagens, conforme a ABGE (2013), também pode-se mencionar:

- Realizado apenas em poços/piezômetros convenientemente instalados (com pré-filtro e filtro), ou em trechos de sondagens isolados por obturadores;
- O raio de influência do ensaio é de apenas 1 m a partir do poço;
- Para aquíferos muito permeáveis é necessário utilizar transdutores de pressão;
- Necessita que o poço esteja muito bem desenvolvido.

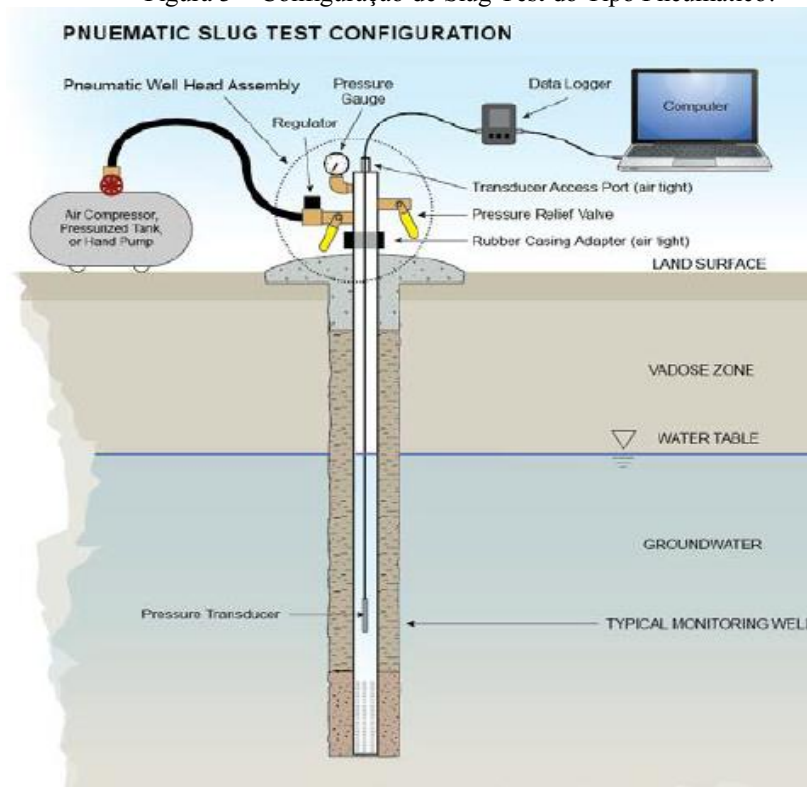
Conforme afirmam os autores Todd e Mays (2005), os testes *slug* ganharam notoriedade desde os anos 80:

- Na obtenção de estimativas das propriedades hidráulicas de aquíferos contaminados, onde o tratamento da água bombeada não é desejável ou viável;
- Em investigações de campo de materiais de baixa permeabilidade, particularmente para estudos de locais potenciais de armazenamento ou eliminação de resíduos. Os materiais nesses locais podem ter uma condutividade hidráulica muito baixa para realização de testes de bombeamento.

O *slug test* também pode ser do tipo pneumático. A Figura 3 mostra a configuração desse tipo de experimento e os materiais utilizados. O método envolve a pressurização da coluna de ar presente no interior do poço selado. A pressurização do ar promove o rebaixamento do nível d'água no interior do poço. Conforme explicado por Todd e Mays (2005), o rebaixamento do nível de água no interior do poço/piezômetro continua até que o decréscimo na pressão em coluna d'água iguale-se a magnitude do acréscimo da pressão da coluna de ar. Assim, o teste é iniciado despressurizando o ar rapidamente. De acordo com a California Environmental Protection Agency – CalEPA (2015), esse tipo de teste é recomendado para poços contaminados.

Há na literatura várias terminologias no que concerne ao *slug test*. Segundo a Roscoe Moss Company (1990) e Freeze (1979), o *bail test* se refere a remoção de água do piezômetro/poço, seguido da medição da recuperação do nível d'água, enquanto o *slug test* refere-se à injeção de um volume de água no poço/piezômetro, com o monitoramento do decaimento do nível de água. Bluter (1998) refere-se aos testes iniciados com aumento do nível de água nos termos de *falling-head*, *slug*, *slug-in* e *injection tests*. Quanto aos testes iniciados por um rebaixamento do nível de água, são referidos nos termos de *rising-head*, *bail-down*, *bailer*, *slug-out* e *drawal tests*.

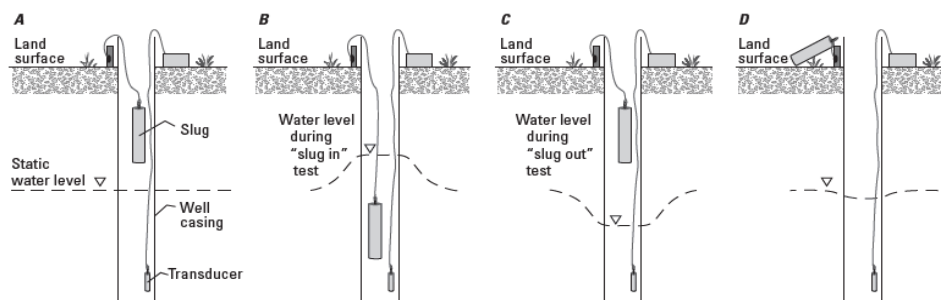
Figura 3 – Configuração de Slug Test do Tipo Pneumático.



Fonte: CalEPA (2015).

A Figura 4 mostra as duas possibilidades quanto ao posicionamento do nível de água no ensaio após o início deste.

Figura 4 – Slug Test e Bail Test.

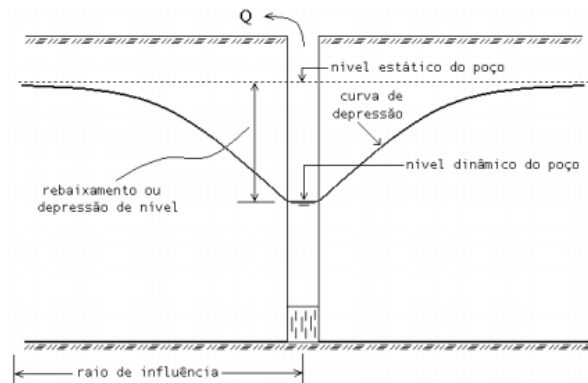


Fonte: USGS (2010).

A Figura 5 mostra o cone de depressão formado durante a realização de um teste de bombeamento, no entanto, para o test slug, especificamente no caso do *bail test*, o raciocínio é análogo.

Após a remoção de um volume V de água com o auxílio de uma caçamba cilíndrica, forma-se um cone de depressão, resultante do rebaixamento do nível d'água no aquífero. Assim, ocorrerá um rebaixamento máximo, que é a diferença de cota entre o nível estático e o nível dinâmico no poço. Haverá fluxo do aquífero para o poço, ou seja, da maior carga para a menor carga hidráulica, recuperando, portanto, o nível estático do poço.

Figura 5 – Cone de Depressão formado num poço instalado em aquífero livre



Fonte: Barbosa Júnior (2015).

Esse tipo de ensaio pode ser realizado manualmente com auxílio de medidor de nível d'água com cabo graduado ou utilizando-se um transdutor de pressão que deverá ser colocado poucos centímetros acima do final do poço/piezômetro.

Geralmente, ao adotar o procedimento manual, é necessária a participação de três pessoas no ensaio. A primeira é responsável pela imersão e retirada do medidor de nível no interior do poço/piezômetro e leitura do nível d'água. A segunda, pela imersão e retirada do tarugo ou caçamba cilíndrica do poço, e finalmente, a última, pelo preenchimento da ficha de ensaio, anotação de dados e controle do tempo com o cronômetro. Esse procedimento não se aplica a aquíferos de grande condutividade hidráulica, uma vez que se exige o monitoramento do nível de água em intervalos de tempo muito pequenos (ABGE, 2013).

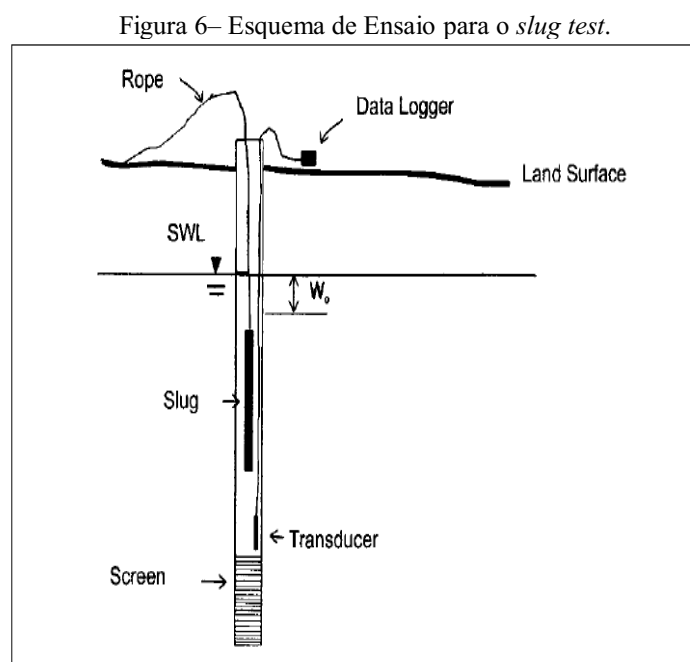
De posse do transdutor de pressão (diver), é possível realizar o ensaio de maneira mais simples, pois esse medirá a variação do nível d'água no interior do poço/piezômetro em função do intervalo de tempo estabelecido como representativo para a natureza do local, sendo possível detectar a pressão em metros de coluna d'água. Portanto, para altas condutividades, recomenda-se a adoção de baixo intervalo de tempo para o monitoramento da variação do nível de água.

Weight (2008) adverte para alguns erros comuns relacionados a execução do *slug test* que podem estar associados à configuração hidrogeológica onde os testes são executados e a problemas nos equipamentos. Assim, podem ocorrer:

- i. problemas de completação em poços e piezômetros: comumente, os poços/piezômetros de monitoramento não são perfurados ou desenvolvidos com o objetivo de estimar as propriedades dos aquíferos. Caso os materiais dos filtros ou pré-filtros sejam menores que o diâmetro dos materiais que compõe o aquífero, as propriedades hidráulicas do aquífero não serão testadas. Nesse caso, estes dispositivos devem ser usados apenas para medição do nível estático e monitoramento das propriedades qualitativas da água.

- ii. problemas no desenvolvimento do poço: durante a perfuração, ao atingir camadas de argila ou silte, pode haver a criação de uma película ao redor do poço/piezômetro de baixa permeabilidade ao longo da parede perfurada, fazendo com que a permeabilidade do material geológico próximo do poço seja reduzida, podendo produzir estimativas para as propriedades hidráulicas que não condizem com a realidade do aquífero. Este efeito é conhecido como efeito do envoltório do poço (*skin effect*). Yang & Gates (1997 apud Fetter, 2001) ainda destacam a ocorrência de um efeito oposto. Se o desenvolvimento do poço for muito vigoroso, pode ocorrer a remoção de materiais finos do poço, criando uma zona com condutividade hidráulica maior do que a formação, conhecida como envoltório negativo (*negative skin*).
- iii. problemas no equipamento: ao colocar-se o transdutor ao longo do poço/piezômetro, deve-se ter cuidado para não produzir dobras ao longo da corda que conecta o transdutor a superfície do poço/piezômetro e ao data-logger, pois pode haver problemas na transmissão dos dados. Também é importante estabelecer um nível de referência para o transdutor de pressão, de forma que não haja confusão na interpretação dos dados. Além disso, deve-se respeitar o limite de carga hidráulica a ser aferido/suportado pelo transdutor de pressão, para não haver estresse ou danificação do equipamento.

A Figura 6 mostra o esquema de ensaio para um test *slug* utilizando um transdutor de pressão:



Fonte: Weight (2008).

A execução de um *slug test* ocorre de forma simples e prática, levando aproximadamente menos que meia hora por furo, a menos que a condutividade hidráulica seja muito baixa (WEIGHT, 2008).

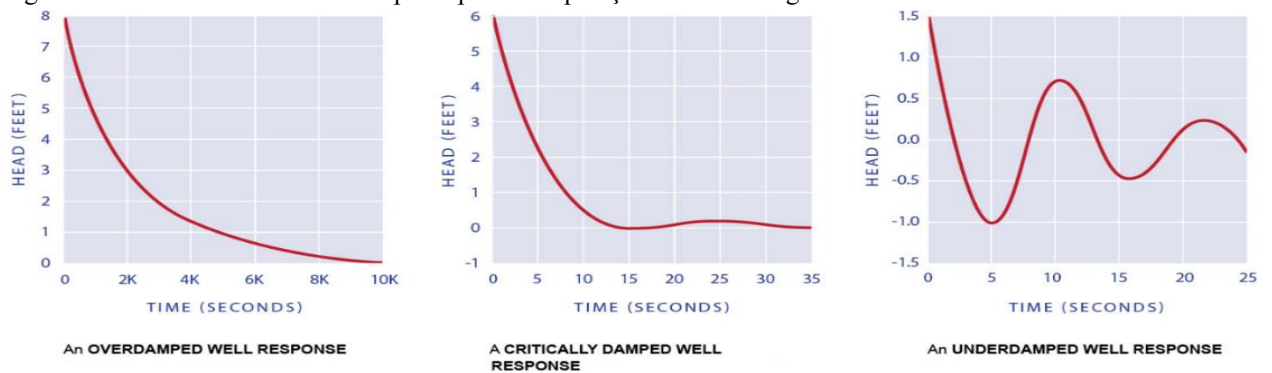
O procedimento de campo para o *slug test* é normatizado pela American Society for Testing and Materials (ASTM), especificamente pela ASTM Standard Test Method D4044. De posse dos dados obtidos a partir da realização do experimento, parte-se para a análise dos resultados. É necessário escolher adequadamente o método utilizado para a determinação da condutividade hidráulica e interpretação dos resultados pois esses dependem de alguns fatores, tais como: o tipo de aquífero (I), as condições de construção do poço/piezômetro (II) e a natureza da recuperação do nível d'água (III).

Assim, conforme a hidráulica de águas subterrâneas:

- I) Quanto aos tipos de aquífero, esses podem ser confinados ou não confinados. Os primeiros são aqueles onde a pressão da água em seu topo é maior que a pressão atmosférica. Os segundos, também chamados de freáticos ou não confinados, são aqueles nos quais todos os seus pontos se encontram submetidos à pressão atmosférica, ou seja, seu limite superior é a superfície freática.
- II) Quanto às condições de construção do poço/piezômetro, deve-se observar a extensão de captação desse ao longo do aquífero. Os poços totalmente penetrantes são aqueles que captam toda a extensão do aquífero, portanto, os que não possuem essa característica são denominados de parcialmente penetrantes.
- III) Conforme a CalEPA (2015), há diferentes naturezas de resposta para a recuperação do nível d'água, tal como comentado abaixo e exemplificado pela Figura 7:

Uma resposta amortecida ou não oscilatória (*the damped case ou overdamped well response*) significa que o nível de água num poço/piezômetro retorna para o nível do pré-teste de forma aproximadamente exponencial ao longo de um período de segundos, minutos ou horas. Uma resposta não amortecida ou oscilatória (*the underdamped case ou underdamped well response*) apresenta uma recuperação do nível de água em um poço/piezômetro que oscila ao redor do nível estático após a imersão do tarugo, diminuindo a amplitude de oscilação com o tempo como uma função sinusoidal em decaimento exponencial. Isso pode ocorrer em aquíferos confinados altamente transmissivos ou em poços profundos com longas colunas de água. A resposta à imersão do cilindro ocorre ao longo de segundos e pode ser concluída em menos de um minuto. Uma resposta criticamente amortecida (*critically damped well response*) é a transição entre as respostas não amortecidas e amortecidas.

Figura 7 – Diferentes Formas de Resposta para Recuperação do Nível d'água.



Fonte: CalEPA (2015).

Todd e Mays (2005) ainda consideram oito possíveis configurações para o *slug test*, variando quanto à posição do nível de água (acima ou abaixo da seção filtrante), tipo de aquífero (livre ou confinado) e modo totalmente ou parcialmente penetrante do poço/piezômetro, explicando os métodos aplicáveis para cada caso.

CalEPA (2015) comenta algumas referências e citações da ASTM, com as condições básicas para utilização de cada método, tais como descritas a seguir:

- Bouwer & Rice (1976) / ASTM (2004): condições homogêneas, isotrópicas e não confinadas (livres); poços parcialmente ou totalmente penetrantes; resposta amortecida/não oscilatória do nível d'água;
- Cooper et. al. (1967) / ASTM (2010c): condições confinadas; poços totalmente penetrantes; resposta não amortecida/oscilatória do nível d'água;
- Kipp, (1985) / ASTM (2013b): condições homogêneas, isotrópicas e confinadas; poços totalmente penetrantes; resposta criticamente amortecida;
- Van der Kamp, 1976. ASTM (2013c): condições homogêneas, isotrópicas e confinadas; poços totalmente penetrantes; resposta não amortecida/oscilatória do nível d'água;

3.4 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K) EM AQUÍFEROS LIVRES

É interessante e útil ter mais de um método para calcular a condutividade hidráulica, especialmente para a verificação cruzada de valores para fins de comparação. Em caso de os resultados de um método diferirem significativamente do outro, isso é útil na detecção de erros de cálculo (WEIGHT, 2008).

A fim de determinar-se o método a ser utilizado, parte-se da análise do aquífero em estudo, observando as suas condições de contorno. Nessa pesquisa, objetiva-se estudar a

condutividade hidráulica (K) no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru. Quanto à superfície superior (segundo a pressão da água), este classifica-se como sendo do tipo livre ou freático.

Portanto, o escopo dessa pesquisa contemplará apenas os métodos que podem ser utilizados nas discussões de dados de aquíferos livres, tais como o Método de Hvorslev e o Método de Bouwer e Rice.

A principal diferença entre os métodos é que o Método de Bouwer & Rice considera a espessura saturada do aquífero e os efeitos associados a poços parcialmente penetrantes, enquanto que o Método de Hvorslev não leva em consideração esses fatores.

3.4.1 Método de Hvorslev

Há casos que são instalados piezômetros ou furos de trado que não penetram completamente um aquífero. Eles geralmente são instalados em uma profundidade específica para monitorar a carga hidráulica e a qualidade da água subterrânea da amostra. Nesse contexto, existe um método conveniente para utilizar estes piezômetros a fim de determinar a condutividade hidráulica da formação no qual o filtro está instalado, chamada de método de Hvorslev (HVORSLEV, 1951 apud FETTER, 2001). No entanto, esse método também pode ser utilizado para poços totalmente penetrantes (TODD e MAYS, 2005; ABGE, 2013).

Consoante Weight (2008), esse é provavelmente o método mais rápido e simples de ser utilizado. O método de Hvorslev é restrito para a determinação da condutividade hidráulica dentro da zona filtrada de um poço/piezômetro e pode ser aplicado para aquíferos livres ou confinados.

Segundo a AqteSolv (2018), as suposições feitas pelo método são:

- O aquífero é homogêneo e de espessura uniforme;
- O aquífero tem extensão infinita;
- A superfície potenciométrica do aquífero é inicialmente horizontal;
- O poço/piezômetro é totalmente ou parcialmente penetrante;
- Um volume de água, V , é instantaneamente injetado ou descarregado no poço/piezômetro;
- O aquífero é confinado ou não confinado;
- O fluxo é constante.

Segundo a ABGE (2013), o método apresenta como restrições ou limitações:

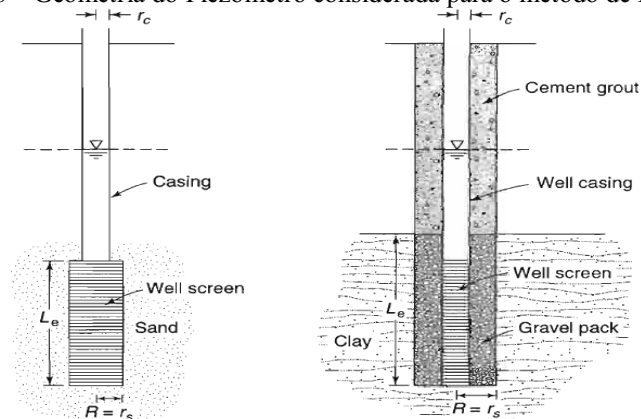
1. O comprimento do filtro do poço deve ser maior do que oito vezes o raio interno do poço. Normalmente, essa restrição não é problema, a não ser para poços muito rasos ou de diâmetros muito grandes;

2. O método ignora os efeitos de armazenamento compressivo (aquífero confinado);
3. É assumido que o aquífero tem uma espessura infinita e o fator de espessura saturada não é considerado (aquífero livre).

Todd e Mays (2005) e Fetter (2001) explicam que para aplicação do método, deve-se observar a geometria do piezômetro instalado no aquífero, fazendo diferentes considerações para o Raio (R) e comprimento da seção filtrante (L_e), a depender da condutividade hidráulica do meio. Assim, esses parâmetros são diferentes para poços/piezômetros instalados em materiais com alta ou baixa condutividade.

Portanto, para poços/piezômetros instalados em solos de alta condutividade hidráulica, como a areia, o raio (R) e o comprimento do filtro (L_e) utilizados são os do próprio filtros. No entanto, para poços/piezômetros instalados em solos de baixa condutividade hidráulica, como a argila, essas medidas devem ser alteradas adicionando-se os valores para o pré-filtro, tal como o comprimento deste e o seu raio, tal como mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Geometria do Piezômetro considerada para o método de Hvorslev.



Fonte: Todd e Mays (2005).

De todos os parâmetros utilizados como entradas para os modelos teóricos, o comprimento do filtro é o que pode introduzir o maior erro na estimativa da condutividade hidráulica (BUTLER, 1998, apud CalEPA, 2015). Assim, quanto as considerações anteriores da Figura 8 para os piezômetros instalados em regiões de alta e baixa condutividade hidráulica, Butler (1996) tece algumas recomendações, conforme destacado pela CalEPA (2015):

Em última análise, Butler recomenda que o comprimento do filtro do diagrama de construção do poço seja utilizado como o "comprimento efetivo da seção filtrante" em vez do comprimento do filtro mais o pacote do pré-filtro, pois é duvidoso que o desenvolvimento do poço/piezômetro tenha afetado as extremidades distais do pacote do pré-filtro. Assim, se o comprimento de toda a seção filtrante (incluindo o pré-filtro) for usado no cálculo, a estimativa da condutividade hidráulica pode ser subestimada.

3.4.2 Método de Bouwer & Rice

Esse método, desenvolvido por Bouwer & Rice, envolve a determinação da condutividade hidráulica para aquíferos confinados e livres que leva em conta a geometria do aquífero e os efeitos decorrentes de poço/piezômetro parcialmente penetrante (TODD E MAYS, 2005).

As duas principais suposições desse método são que os efeitos dos mecanismos de armazenamento elástico podem ser negligenciados e que o nível do lençol freático não muda; conseqüentemente a espessura saturada da formação também não muda durante o teste (TODD E MAYS, 2005)

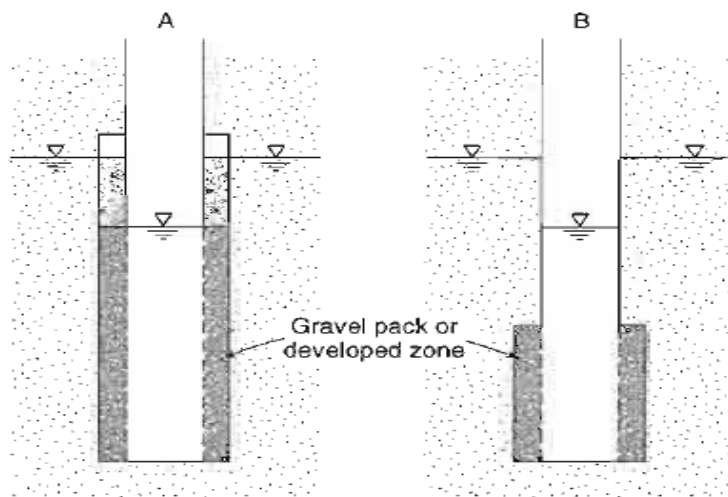
Conforme Fetter (2001), o teste foi originalmente desenvolvido para aquíferos não confinados, no entanto, pode ser usado em aquíferos confinados se a parte superior do filtro do poço estiver a alguma distância abaixo da parte inferior da camada confinante. O método possibilita a obtenção de resultados razoáveis para a condutividade hidráulica em formações confinadas, semiconfinadas ou em aquíferos estratificados (TODD e MAYS, 2005).

Todd e Mays (2005) explicam que os métodos *slug test* para aquíferos livres são primeiramente classificados baseados na localização do nível da água com relação a seção filtrante. Bluter (1998 apud Todd e Mays, 2005) classifica os testes como:

- a) O filtro está abaixo do nível freático;
- b) O filtro intercepta o nível freático;
- c) O filtro está abaixo do nível freático, caso em que os métodos podem ser subdivididos de acordo com o mecanismo de armazenamento.

As classificações a) e b), citadas por Butler (1998) podem ser vistas na Figura 9:

Figura 9 – Slug Test para perfuração com o nível de água abaixo (A) e acima (B) do topo do filtro ou seção filtrante.



Fonte: Todd e Mays (2005).

Bouwer (1989 apud Weight, 2008) sugere que se o nível de água intercepta a seção filtrante do poço, o valor para o raio do revestimento do poço (r_c) precisa ser calculado levando em conta a porosidade do material do revestimento. Uma vez que o nível de água está acima da seção filtrante, esse ajuste não é necessário. Sobre isso, Todd e Mays (2005) comentam:

Quando o filtro se encontra abaixo do nível d'água, a mudança na espessura saturada durante o teste é tipicamente pequena, assim, um modelo linear pode ser usado. Quando o filtro intercepta o nível d'água, premissas sobre uma espessura saturada constante ou comprimento de filtro constante podem não ser corretas, resultando em um modelo não linear.

3.5 DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K) EM ALUVIÕES

Carvalho et al. (2013) utilizaram o *slug test* para determinação da condutividade hidráulica de uma área contaminada no município de Santo André. Bluter et al. (1993) apud Carvalho et al. (2013) estudaram a aplicação do *slug test* em um conjunto de camadas hidrogeológicas diferentes e comprovaram que há erros associados ao ensaiar essas porções conjuntamente. Assim, recomenda-se a análise de uma camada hidrogeológica por vez.

A área em análise foi utilizada como um bota-fora de solo contaminado provenientes de indústrias de variados tipos. O perfil geológico-geotécnico da área em estudo mostrou um aquífero heterogêneo, de composição variada composto por uma camada de aterro com entulhos (0 a 5 m), seguido de aluvião (2 a 7 m), linha de seixos em algumas áreas (1 a 7 m), solo residual (0,5 m a 12 m) e solo de alteração de rocha (a partir de 12 a 18 m). O aquífero foi caracterizado como genericamente livre com a presença de porções confinadas.

Selecionaram-se os poços que apresentassem a seção filtrante em uma camada litológica mais homogênea possível, com características semelhantes, como o solo residual, aluvião, solo de alteração e aterro, obtendo-se dados de diferentes porções litológicas.

Realizaram-se ensaios em 8 poços no aluvião, 6 poços no solo residual, 2 em solo de alteração de rocha, 1 em aterro, 1 na porção de seixos e 1 cuja porção filtrante encontra-se em mais de um tipo de camada litológica. Utilizaram-se os métodos de Hvorslev (1951) e Bouwer & Rice (1976), nos quais obtiveram-se valores similares através da aplicação de cada método. Desse modo, demonstrou-se que o solo caracterizado por aluvião apresentou os maiores valores para a condutividade hidráulica, variando de $6,13 \cdot 10^{-6}$ m/s a $6,57 \cdot 10^{-8}$ m/s, com média geométrica de $3,13 \cdot 10^{-6}$ m/s e mediana de $3,51 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Jesus, Fernandes e Giachetti (2013) também investigaram a Condutividade Hidráulica dos solos de uma área de aterro de resíduos sólidos urbanos por meio de ensaios de laboratório e de campo. Nos ensaios de laboratório, utilizaram-se os permeâmetros de parede rígida e de

parede flexível. Quanto aos ensaios de campo, foram utilizados o Permeâmetro de Guelph (PG) e o *Slug test*.

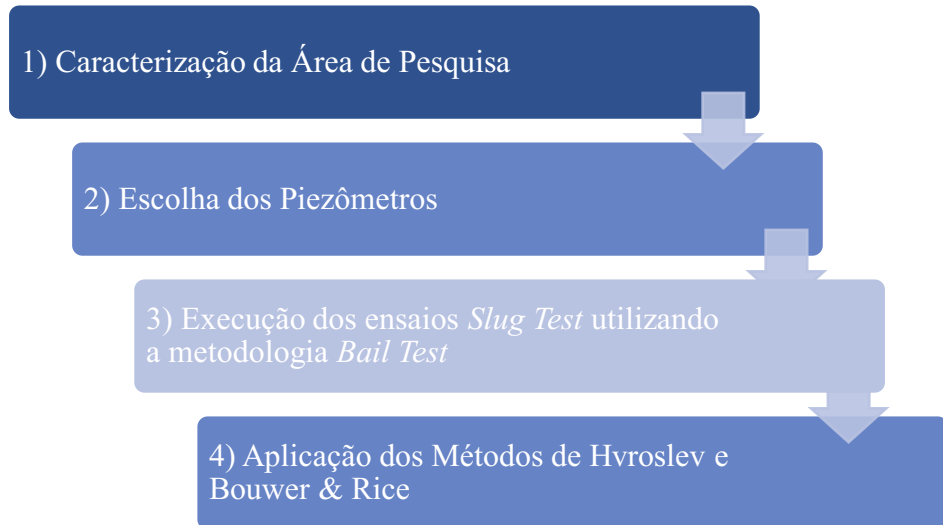
A área do aterro possui uma grande heterogeneidade, com a ocorrência de vários tipos de solos, classificados quanto à sua origem em: coluvião, residual de arenito, arenito e aluvião. Foram selecionados cinco poços que estavam distribuídos ao longo da área do aterro para execução do *slug test*. Os poços escolhidos foram os que continham mais informações do perfil geológico-geotécnico próximo à região do pré-filtro, de modo que se fizesse possível associar o valor obtido para a Condutividade Hidráulica (K) com o tipo de solo. Foram utilizados os Métodos de Hvorslev (1951) e Bouwer & Rice (1976), nos quais obtiveram-se resultados similares para a condutividade hidráulica com a aplicação dos dois métodos.

Conclui-se que os valores de K que foram determinados com auxílio do PG tinham uma ordem de grandeza maior que os encontrados em laboratório para o solo aluvionar. No solo aluvionar foram determinados valores médios de K de $1,1 \times 10^{-4}$ m/s com o PG e $1,9 \times 10^{-5}$ m/s para os ensaios de laboratório. No poço com seção filtrante no aluvião, o valor de K de campo foi de $7,9 \times 10^{-7}$ m/s. Como os resultados de campo podem ser considerados mais representativos, assumiu-se para camada superficial do aluvião um valor de $1,1 \times 10^{-4}$ m/s, desde que o ensaio com o PG foi realizado em uma profundidade média de 0,5 m. Para a porção mais profunda desse, no caso dos poços de monitoramento, obteve-se o valor de $7,9 \times 10^{-7}$ m/s para o condutividade hidráulica através do *slug test*.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada nesta pesquisa foi composta das seguintes etapas detalhadas pelos tópicos subsequentes, resumidas pelo Fluxograma Metodológico abaixo:

Figura 10 - Fluxograma Metodológico da Pesquisa



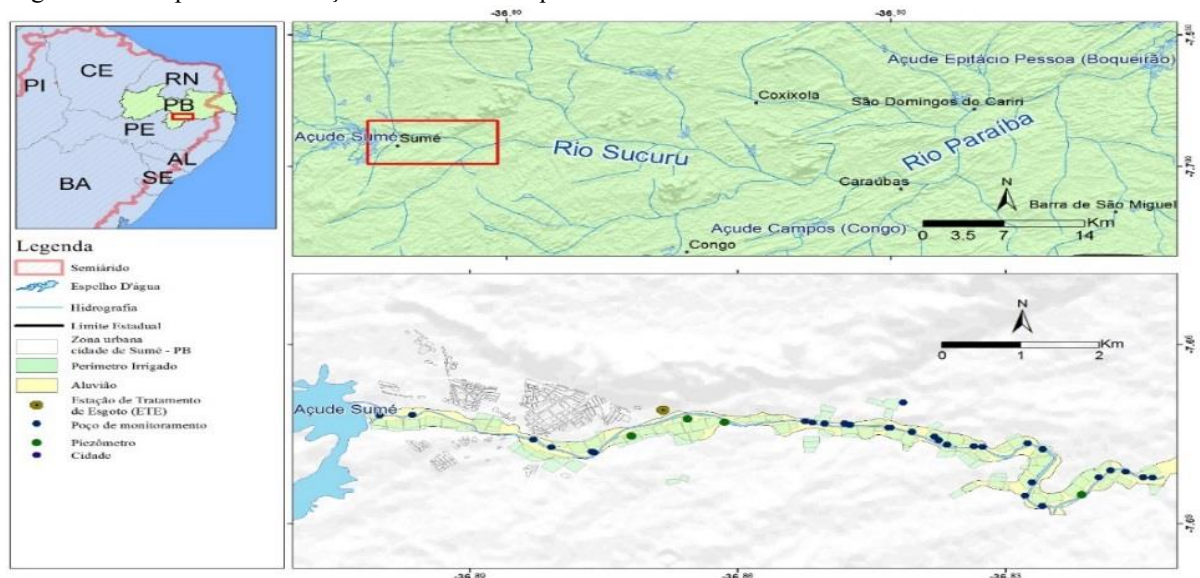
Fonte: O autor (2018).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de pesquisa é caracterizada pelo aquífero aluvial do Rio Sucuru, a jusante do açude de Sumé, construído pelo DNOCS, até o limite do Perímetro Irrigado de Sumé, também estabelecido pelo mesmo órgão, na cidade de Sumé, Paraíba. O trecho estudado tem extensão de 12 km e diz respeito, de maneira mais específica, a alguns piezômetros de monitoramento instalados ao longo do aluvião.

A Figura 11 mostra o mapa de Localização da Área de Pesquisa:

Figura 11 – Mapa de Localização da Área de Pesquisa.



Fonte: PONTES FILHO (2018).

O município de Sumé está localizado no Semiárido Brasileiro, na região do Cariri Paraibano. Essa é uma microrregião do Cariri Ocidental e está localizada na bacia hidrográfica do Rio Sucuru. O município de Sumé está inserido na Folha de Sumé.

A Folha Sumé está localizada, principalmente, no estado da Paraíba, com um pequeno segmento no estado de Pernambuco, abrangendo os municípios de Monteiro, Camalaú, Congo, São João do Cariri, Sumé, Serra Branca e São José dos Cordeiros, na Paraíba, e Jataúba em Pernambuco. Corresponde a uma área de 3.000km² limitada pelos paralelos 7 30' e 8 00' de latitude sul e 36 30' a 37 00' de longitude oeste (CPRM, 2000).

Quanto à província hidrogeológica, pode-se dizer que o aquífero se encontra na província hidrogeológica Escudo Oriental, na subprovíncia do Nordeste. Essa delimitação é caracterizada pela pequena disponibilidade hídrica, devido à sua formação rochosa cristalina. Frequentemente, observa-se águas com elevado teor de sais nessa região, o que muitas vezes pode impossibilitar a sua utilização.

4.1.1 Aspectos Fisiográficos

4.1.1.1 Clima

Segundo Vieira (2002), o regime pluviométrico atuante na bacia, onde está inserido o perímetro irrigado de Sumé, apresenta variações no intervalo de 350 mm-600 mm anuais. De acordo com a classificação Koppen, o Perímetro Irrigado está situado numa zona de clima do tipo BSH seco (semi-árido). Uma característica importante desse clima é a alternância de duas estações claramente distintas: a estação seca, que se estende de junho a janeiro, caracterizada por precipitações baixas ou na maioria das vezes nula e a estação chuvosa ou inverno que está compreendida basicamente no período de fevereiro a maio.

4.1.1.2 Vegetação

A vegetação é constituída pela caatinga xerofítica, comum do sertão nordestino (CPRM, 2000). Vieira (2002) destaca como as principais espécies nativas: Xiquexique, Mandacaru, Braúna, Favela, Quixaba, Aroeira, Umbuzeiro, Pinhão, Macambira, Marmeleiro e Catingueira.

4.1.1.3 Hidrografia

Conforme a CPRM (2000), por fazer parte da Folha de Sumé, a rede hidrográfica é constituída principalmente, pela bacia do rio Paraíba e seus afluentes, os quais caracterizam-se por serem intermitentes e, em sua maioria, têm seus leitos comandados pela rede de faturamento da área.

4.1.1.4 Solos

Segundo Silva (2006), há dois tipos de solo predominantes no Perímetro Irrigado de Sumé, sendo: o Aluvial Eutrófico e o Bruno não Cálculo. Sobre esses tipos de solo, o autor destaca:

Os solos Aluviais Eutróficos ocorrem em áreas de várzeas localizadas nas margens dos cursos de água e, com intensidade maior, no Rio Sucuru, formados por sedimentos aluviais não consolidados, sendo de grande potencialidade agrícola em virtude de apresentarem fertilidade natural alta; são originados de sedimentos recentes em geral de origem pluvial, e se constituem de camadas alternadas, frequentemente de classes texturais distintas. Os solos aluviais são muito importantes para manterem a área produzindo na maior parte do ano, por se localizarem em locais baixos, normalmente, são cultivados com gramíneas para alimentação animal e culturas de subsistência embora exista, na área, alguma fruteira.

Os solos Bruno não Cálculos são também encontrados na área do Perímetro Irrigado de Sumé, sendo moderadamente rasos e característicos de regiões semiáridas, caracterizando-se por seus arbustos espinhosos, plantas herbáceas e cactos. A maior limitação desses solos para a agricultura reside na pequena espessura do perfil e no excesso de pedras na superfície, não havendo limitações quanto a fertilidade, sendo os solos bastante ricos.

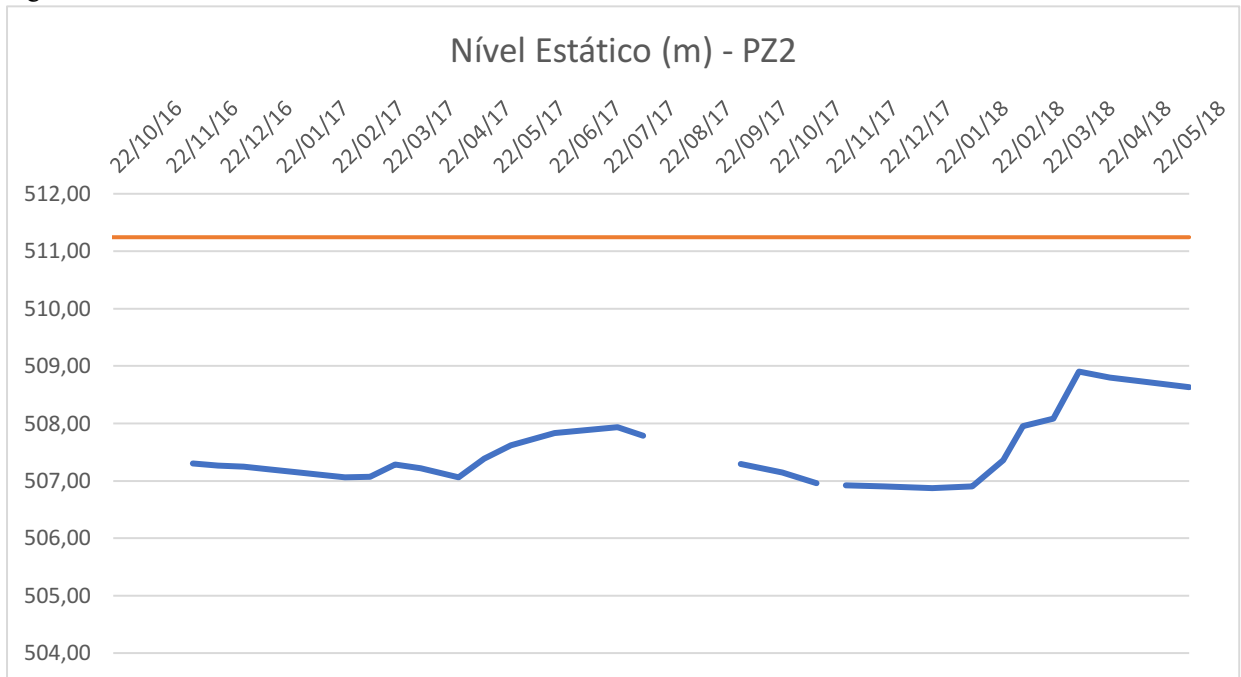
4.1.2 LITOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

Segundo Vieira (2002), os aluviões do Rio Sucuru são predominantemente arenosos, de grãos poucos rolados, às vezes cascalhentos, principalmente na base do perfil litológico, ocorrendo camadas de argila em espessuras significativas (variando de 1 a 4 metros), caracterizando, portanto, ao pacote aluvial, boas condições de armazenamento e circulação de água subterrânea, apesar dos grãos e seixos apresentarem baixo grau de rolamento.

Quanto às condições de armazenamento e circulação de água subterrânea, a Figura 12 mostra a evolução do Nível Estático do Piezômetro nº 2 (PZ2), instalados no Aquífero Aluvial. Assim, pode-se observar através do gráfico, que durante o período chuvoso da região semiárida do ano de 2018, sobretudo nos meses de fevereiro e março, ocorreu uma recarga significativa do Aquífero.

Na Figura 12, pode-se ver algumas lacunas quanto aos dados dos níveis estáticos em alguns meses. Tal fato pode ser atribuído a valores incoerentes de nível estático, associados a erros do operador, bem como a falta de dados oriundas da impossibilidade de medição no piezômetro, devido a fatores técnicos e operacionais.

Figura 12 – Nível Estático do PZ2.

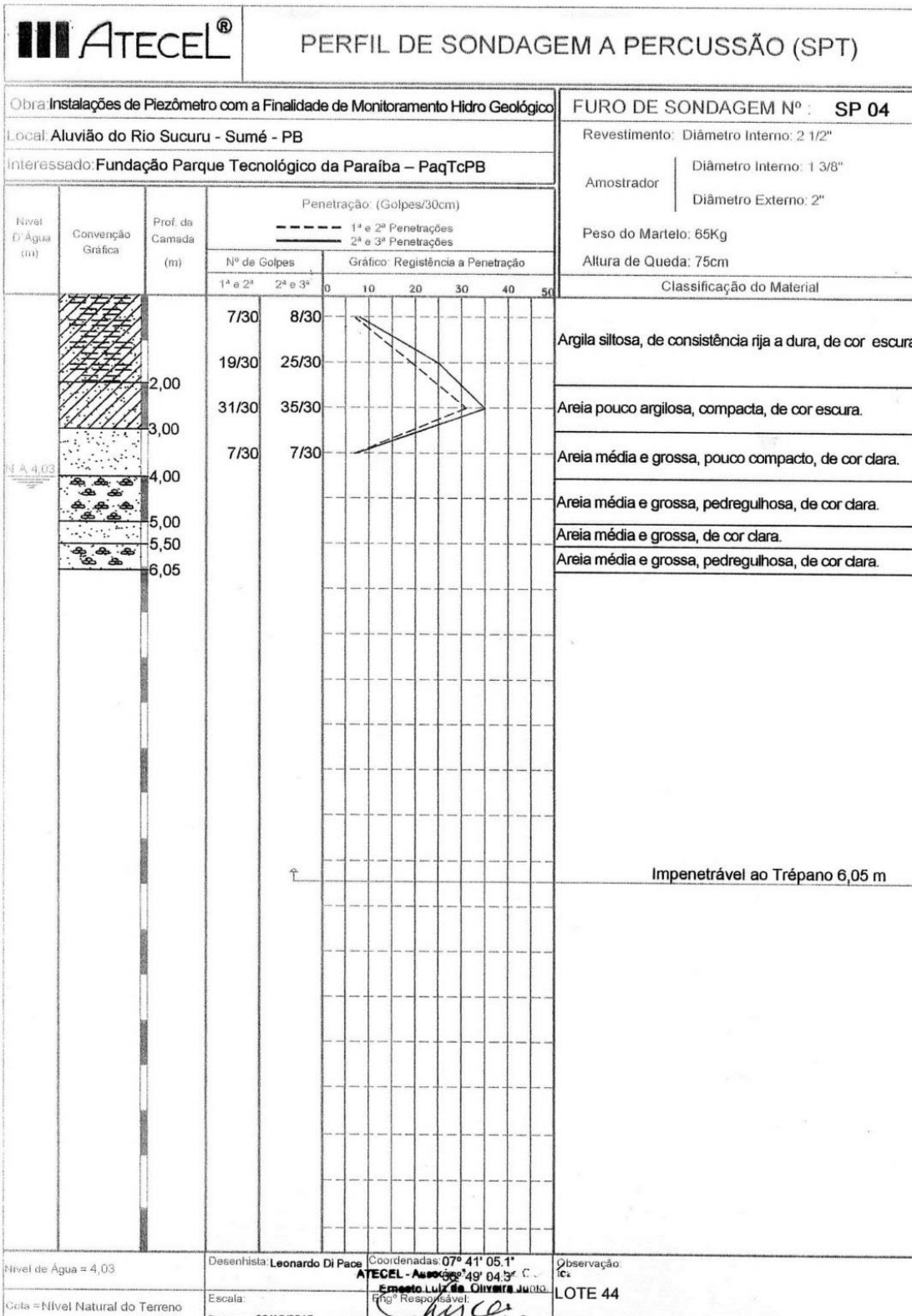


Fonte: PROJETO BRAMAR (2018).

Os aquíferos aluviais são classificados como livres e porosos, são compostos por sedimentos não consolidados, decorrentes da desintegração de rochas da bacia hidrográfica que se depositam nas regiões de baixa declividade dos leitos dos rios e são limitados na base e na lateral por rochas cristalinas (RÊGO et al., 1999). É significativa a predominância da formação cristalina nos Aluviões, fato que pode ser evidenciado pelos perfis de sondagem dos piezômetros instalados ao longo do Aquífero Aluvial do Rio Sucuru, em Sumé, Paraíba. A Figura 16 mostra um desses perfis, do PZ4, respectivamente. Outros perfis de sondagem estão em anexo, nesse trabalho.

Conforme pode ser visto na Figura 13, a partir da profundidade 6,05 m, a penetração do trépano não se faz mais possível, caracterizando assim, o início da formação rochosa cristalina.

Figura 13 – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ4 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru.



Fonte: ATECEL (2015).

4.2 SELEÇÃO DOS PIEZÔMETROS

A seleção consistiu na escolha de piezômetros de monitoramento compreendidos na área do Aquífero Aluvial que fossem melhores construídos e que se dispusesse do maior número de informações sobre a sua construção. Assim, sabe-se que estes provavelmente apresentaram as etapas construtivas bem executadas, tal como o projeto, perfuração, completação, limpeza e desenvolvimento, a fim de evitar possíveis erros na determinação da Condutividade Hidráulica (K) atribuídos a má execução de uma dessas etapas. Os Testes *Slug* foram executados nos piezômetros PZ2 (Figura 14), PZ3 (Figura 14) e PZ4.

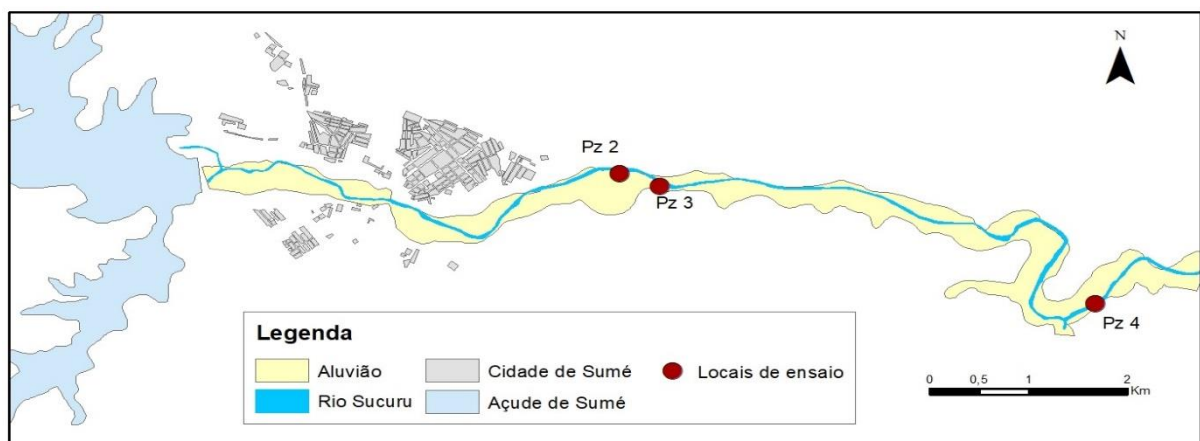
Figura 14 – Piezômetro 2 (PZ2) e Piezômetro



Fonte: O autor (2018).

A localização dos piezômetros ensaiados é mostrada na Figura 14, pelo mapa de localização dos piezômetros na área de pesquisa:

Figura 15 - Mapa de Localização dos Piezômetros na Área de Pesquisa.



Fonte: O autor (2018).

Para aplicação dos métodos, fez-se necessária a obtenção de informações construtivas dos piezômetros. Tais informações estão dispostas na Tabela 2. Algumas informações contidas na tabela, tais como os diâmetros e as profundidades dos piezômetros não condizem com as informações contidas no perfil de sondagem da página 36 e nos perfis que estão em anexo neste trabalho, no entanto, todas estas foram certificadas em campo.

Todos os piezômetros ensaiados (PZ2, PZ3 e PZ4) são do tipo totalmente penetrantes e possuem pré-filtro de material cascalho. As profundidades mostradas na Tabela 2 foram medidas como sendo a distância vertical entre o nível do terreno até o final do piezômetro, enquanto que as alturas dos piezômetros (h) representam a distância vertical medida entre o nível do terreno até o início dos piezômetros, tal como mostrado pela Figura 14.

Tabela 2 – Informações construtivas sobre os Piezômetros de Monitoramento Ensiados.

Piezômetro (PZn°)	2	3	4
Altura (h) (m)	0,90	0,35	0,7
Raio (r_c)	0,0381	0,0381	0,0381
Raio do PZ + Pré-filtro (R) (m)	0,0431	0,0431	0,0431
Raio da Perfuração (r_w) (m)	0,04445	0,04445	0,04445
Comprimento do Filtro (L_c) (m)	7	5	4
Nível Medido (m)	3,48	1,94	3,51
Nível de Água no PZ (m)	2,58	1,59	2,81
Profundidade (m)	11,3	8,4	6,37
Distância vertical entre o Nível Estático e a Profundidade Final do PZ (L_w) (m)	8,72	6,81	3,56
Razão (L_c/r_w)	157,48	112,49	89,99
Constante C (Ábaco – Página 18)	5,7	4,4	3,8

Fonte: O autor (2018).

4.3 EXECUÇÃO DO *SLUG TEST*

Foram executados os ensaios do tipo *bail test* ou *rising-head test*. Tal nomenclatura é adotada quando há a retirada de um volume e posterior análise da recuperação do nível de água.

4.3.1 Equipamentos

Para a execução do ensaio foram necessários os seguintes equipamentos:

- Caçamba cilíndrica de volume conhecido;
- Cabo resistente para introdução e retirada da caçamba cilíndrica do interior do poço;
- Fio de náilon;
- Transdutor de pressão (Diver);
- Barômetro;
- Aparelho de medição de nível;
- Planilhas para anotação dos dados de campo;

4.3.2 Procedimento Experimental

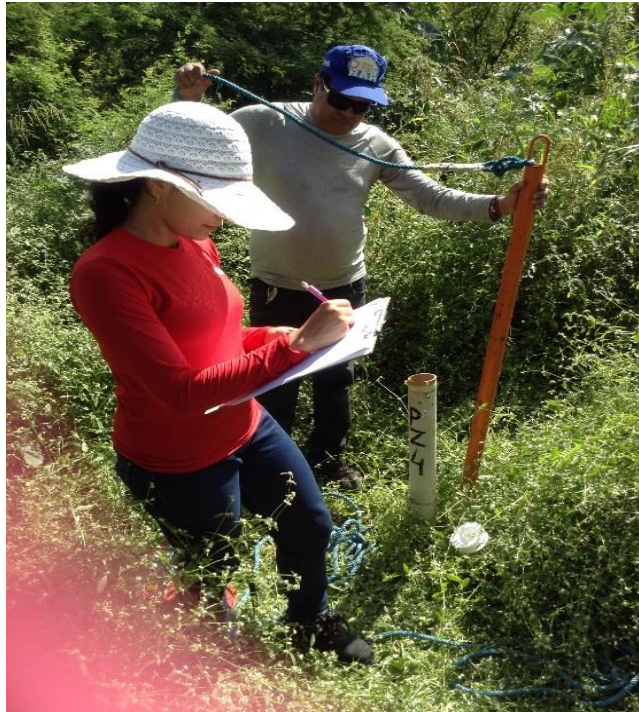
1. Mediu-se o nível estático de água no interior do piezômetro do ensaio com um medidor de nível de água elétrico (Figura 16), anotando os dados em uma planilha (Figura 17);

Figura 16 – Medidor de Nível de Água Elétrico.



Fonte: O autor (2018).

Figura 17 – Anotação de dados do ensaio em uma planilha.



Fonte: O autor (2018).

2. Inseriu-se o transdutor de pressão no interior do PZ, amarrando-o a um fio de náilon na tampa desse, mergulhando-o até posicioná-lo a aproximadamente trinta a quarenta centímetros acima do fundo do PZ;
3. Posicionou-se o barômetro nas proximidades do piezômetro ensaiado, de modo que este estivesse localizado num local estático;

4. Inseriu-se instantaneamente a caçamba cilíndrica no interior do piezômetro (Figura 18);

Figura 18 – Inserção da caçamba cilíndrica no interior do piezômetro.



Fonte: O autor (2018).

5. Após a caçamba cilíndrica ter sido preenchida por água, retirou-a instantaneamente do interior do piezômetro (Figura 19);

Figura 19 – Remoção da caçamba cilíndrica no interior do piezômetro.



Fonte: O autor (2018).

6. O ensaio foi encerrado quando o nível d'água retornou ao nível estático inicial ou quando houve uma recuperação de cerca de 90% em relação à variação da carga

hidráulica inicial. Repetiu-se o procedimento mais três vezes em cada piezômetro, com o objetivo de verificar se os comportamentos dos ensaios foram similares;

7. Obtiveram-se as medidas de rebaixamento e recuperação do nível d'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;
8. Para a coleta de dados do barômetro, procedeu-se de forma análoga ao transdutor de pressão, gerando-se assim os dados da pressão barométrica, em centímetros de coluna d'água.

Os testes *bail* foram executadas nos três piezômetros de monitoramento no dia treze (13) de junho de 2018. É importante ressaltar que o aquífero recebeu uma recarga de água considerável devido as chuvas ocorridas na região durante o período chuvoso, especialmente nos meses de fevereiro, março e abril.

Os ensaios foram executados utilizando uma caçamba cilíndrica de aço inoxidável, de 1,3 m de comprimento, de diâmetro interno de 40 mm, totalizando um volume de aproximadamente 1,7 L.

A medição dos níveis d'água alcançados durante a execução dos ensaios foi realizada a partir de um transdutor de pressão, *mini-diver water level logger*, modelo da *Eijkelkamp Soil & Water*. A medição foi feita em termos de pressão absoluta, ou seja, pressão barométrica acrescida da pressão efetiva pela presença da coluna d'água.

Foi definido na calibragem do transdutor de pressão o menor intervalo de tempo possível para a medição da variação da carga hidráulica, meio segundo (0,5 s), respectivamente, a fim de obter-se um melhor monitoramento da variação da carga hidráulica.

4.4 INTERPRETAÇÃO DE DADOS

A determinação dos valores para a Condutividade Hidráulica (K) foram realizadas a partir da aplicação dos métodos teóricos desenvolvidos por Hvorslev e Bouwer & Rice .

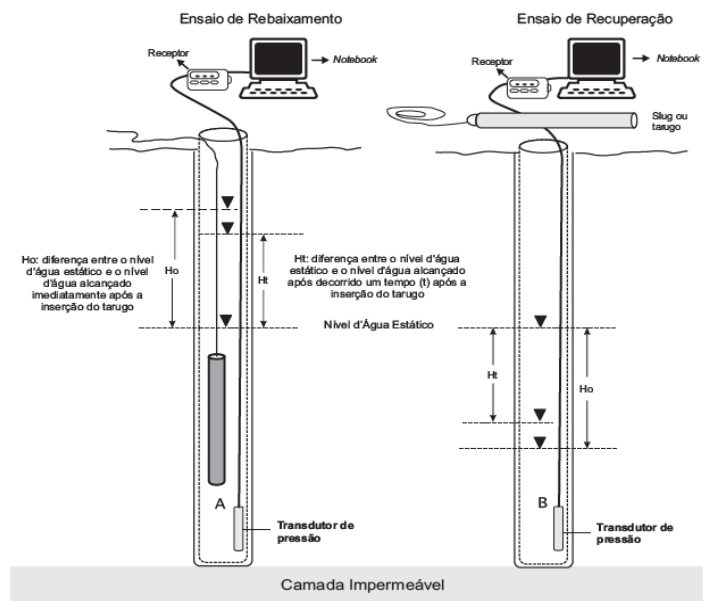
4.4.1 Método de Hvorslev

A Figura 19 apresenta alguns parâmetros envolvidos para o cálculo do ensaio utilizando o método de Hvorslev, onde no caso da utilização do *Bail test*:

H_0 = rebaixamento no tempo $t = 0$, que corresponde ao rebaixamento máximo ocorrido no piezômetro. É a diferença entre o nível d'água estático e o nível d'água alcançado imediatamente após a retirada do tarugo ou caçamba cilíndrica.

H_t = recuperação no tempo $t = t$, que corresponde a diferença entre o nível d'água estático e o nível d'água alcançado depois de decorrido um tempo (t) após a retirada do tarugo ou caçamba cilíndrica;

Figura 20 – Esquema dos Parâmetros H_0 e H_t referentes ao ensaio *Slug Test*.



Fonte: ABGE (2013).

Para poços/piezômetros que possuem um comprimento do filtro maior que 8 vezes o raio do poço ($L_e/R > 8$), faz-se possível a aplicação da fórmula:

$$K = \frac{r^2 \cdot \ln\left(\frac{L_e}{R}\right)}{2LeT_0} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

K = condutividade hidráulica (L/T; ft/d, m/d, ou cm/s)

r = raio interno do poço/piezômetro, ou seja, raio do revestimento (L; ft, m, ou cm);

L_e = comprimento do filtro (seção filtrante) (L; ft, m, ou cm);

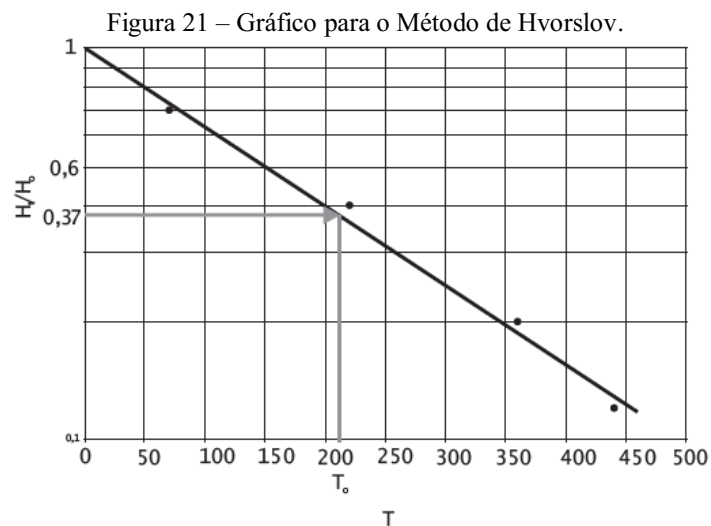
R = raio do poço com o pré-filtro ou raio efetivo (m);

$T_0 = T_{37}$ = tempo necessário para atingir 37% de recuperação do nível de H_0

Segundo a ABGE (2013), o procedimento para o cálculo do ensaio pelo método de Hvorslev envolve:

1. Determinação da relação H_t/H_0 para os vários instantes de tempo t depois que a caçamba cilíndrica ou tarugo é introduzido ou removido;
2. Plotar em um gráfico semilogarítmico a relação H_t/H_0 versus o tempo t decorrido desde o início do ensaio, sendo H_t/H_0 , em escala logarítmica, plotada no eixo das ordenadas e t , na escala decimal, plotada no eixo das abscissas;

3. Traçar uma linha reta, interpolada entre os pontos plotados no gráfico, conforme mostrado na Figura 21.



4. Obter, no eixo do tempo, o valor correspondente a 0,37 do valor da relação H_t/H_0 , correspondente ao tempo de resposta básico, denominado T_0 (ver Figura 21);
5. Substituir o valor do tempo de resposta básico (T_0) obtido na equação 2, para calcular a condutividade hidráulica.

4.4.2 Método de Bouwer & Rice

A solução analítica para o método é (BOUWER e RICE, 1976; BOUWER, 1989; e ZLOTNIK, 1994 apud TODD e MAYS, 2005):

$$K = [r_c^2 \ln (R_e/r_w)/2L_e] (1/t) \ln (H_0/H_t) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

K = condutividade hidráulica [L/T];

r_c = raio interno do revestimento do poço [L];

R_e = a distância radial efetiva sobre a qual a carga é dissipada [L];

r_w = raio da perfuração [L];

L_e = comprimento da seção filtrante [L];

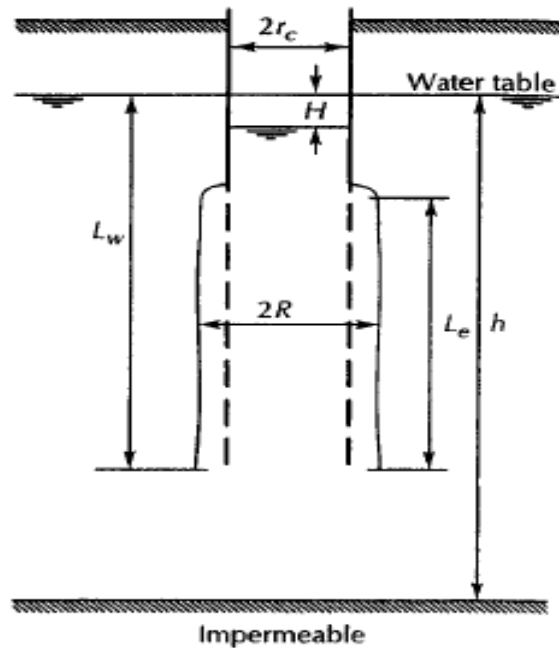
H_0 = rebaixamento no tempo $t = 0$ [L];

H_t = recuperação no tempo $t = t$ [L];

t = o tempo desde que $H = H_t$ [T];

A Figura 22 mostra algumas variáveis relacionadas ao *slug test* em um poço parcialmente penetrante com pré-filtro:

Figura 22 – Geometria e símbolos para um *slug test* em um poço parcialmente penetrante.



Fonte: Fetter (2001).

A distância efetiva sobre a qual a carga é dissipada, R_e , também é a distância característica a partir do poço no qual o valor médio de K está sendo medido. Entretanto, não há como saber qual o valor do parâmetro R_e para um determinado poço. Bouwer (Bouwer & Rice 1976; Bouwer 1989) apresentou um método para estimar a relação adimensional (R_e/r_w) encontrada na Equação 3 (FETTER, 2001).

Para avaliar R_e , expressa em termos de $\ln(R_e/r_w)$, Fetter (2001), Todd e Mays (2005) e ABGE (2013), apresentam as equações para poços parcialmente e totalmente penetrantes:

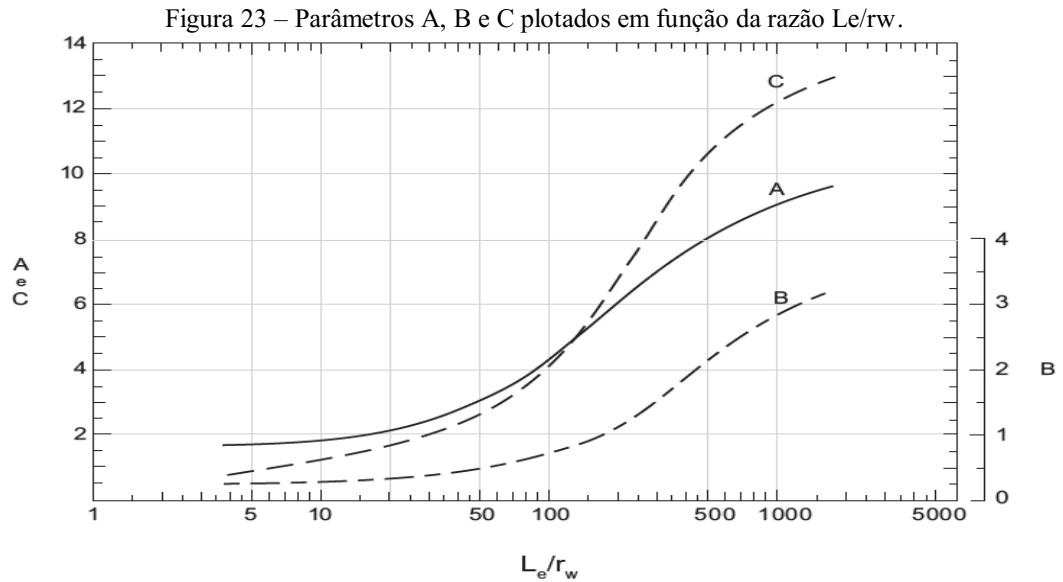
Para poços parcialmente penetrantes

$$\ln(R_e/r_w) = \{1,1/\ln(L_w/r_w) + A + B.\ln[(h-L_w)/r_w]/(L_e/r_w)\}^{-1} \quad (\text{Equação 4})$$

Para poços totalmente penetrantes

$$\ln(R_e/r_w) = [1,1/\ln(L_w/r_w) + C/(L_e/r_w)]^{-1} \quad (\text{Equação 5})$$

A, B e C são coeficientes adimensionais determinados em função de L_e/r_w , utilizando o ábaco da Figura 23:



Desde que K , r_c , r_w , R_e e L_e na equação 3 são constantes, $(1/t)\ln(H_o/H_t)$ também é uma constante. Assim, quando os valores de h são plotados em função de t num papel semi-log (h na escala logarítmica), os pontos plotados cairão em uma linha reta. Com o procedimento abaixo, este gráfico linear é usado para avaliar o valor de $(1/t)\ln(H_o/H_t)$. (KRUSEMAN e RIDDER, 2000)

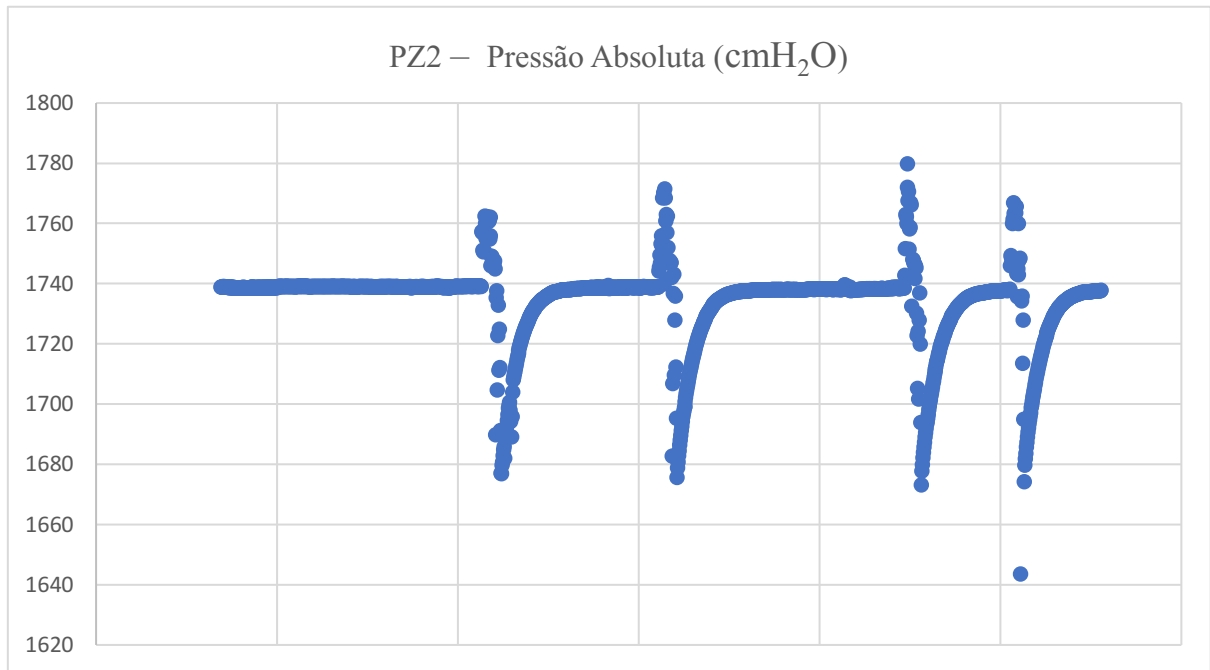
O procedimento utilizado para o método de Bouwer e Rice é descrito por Kruseman e Ridder (2000):

- Num papel semi-log, plote a carga H_t (recuperação) observada no eixo das ordenadas com o correspondente tempo t no eixo das abcissas;
- Ajuste uma linha reta aos pontos plotados;
- Usando a linha reta, calcule $(1/t)\ln(H_o/H_t)$, para um valor correspondente de tempo t e o seu H_t correspondente;
- Sabendo o valor de L_e/r_w , determine A e B pelo ábaco da Figura 13 no caso de poço/piezômetro parcialmente penetrante ou determine C no caso de geometria totalmente penetrante;
- Se o poço é parcialmente penetrante, substitua os valores de A , B , h , L_w , L_e e r_w na Eq.4 e calcule $\ln(R_e/r_w)$;
- Se o poço é totalmente penetrante, substitua os valores de C , h , L_w , L_e e r_w na Eq.5 e calcule $\ln(R_e/r_w)$;
- Conhecendo $\ln(R_e/r_w)$, $(1/t)\ln(H_o/H_t)$, r_c e L_e , calcule a condutividade hidráulica, K , na Equação 3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

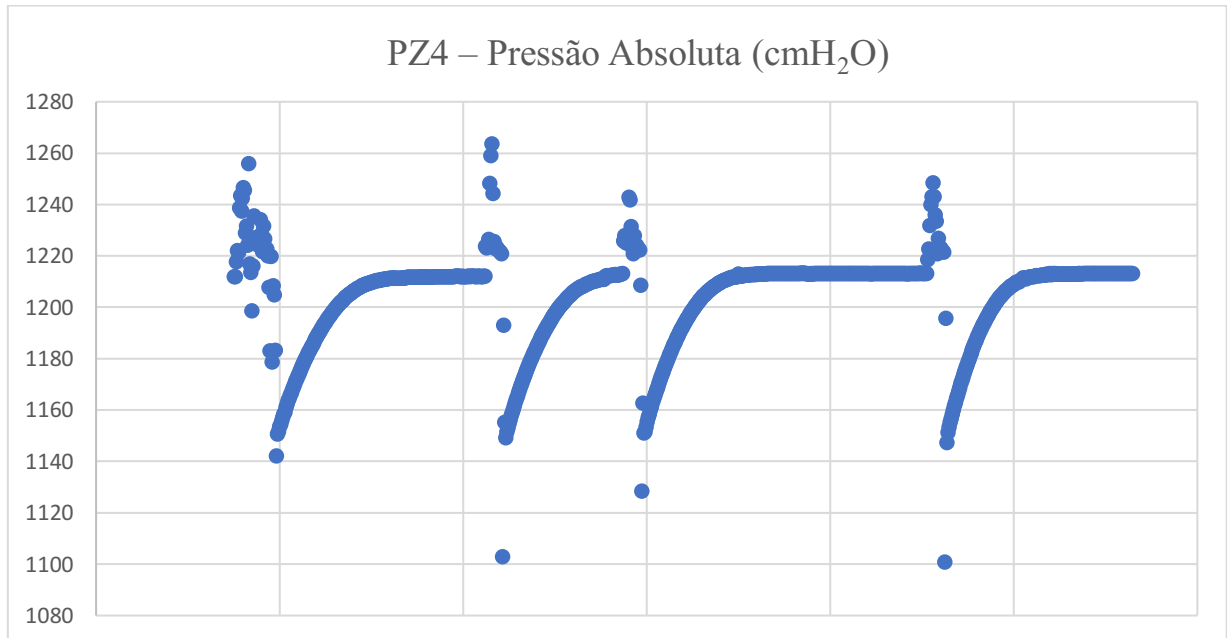
Conforme explicado no procedimento experimental, os dados foram obtidos em termos de pressão absoluta. Portanto, as Figuras 24, 25 e 26 mostram o conjunto de dados do rebaixamento e recuperação do nível de água ocasionados pela retirada da caçamba cilíndrica, por quatro vezes consecutivas.

Figura 24 – Dados dos Ensaio do Tipo *Bail Test* no PZ2.



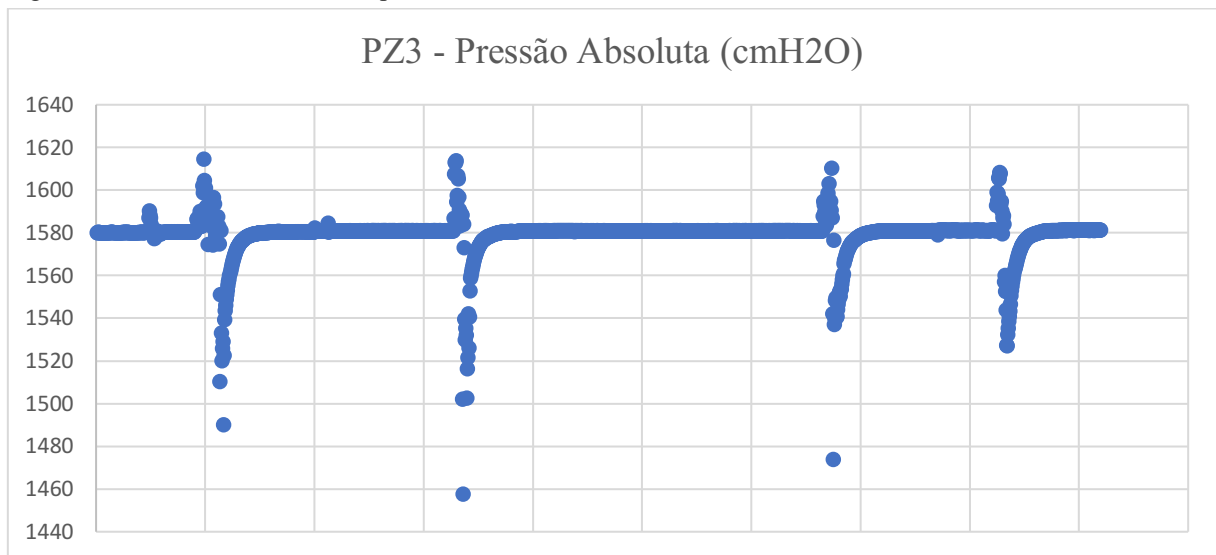
Fonte: O Autor (2018)

Figura 25 – Dados dos Ensaio do Tipo *Bail Test* no PZ4.



Fonte: O autor (2018)

Figura 26 – Dados do Ensaio do Tipo *Bail Test* no PZ3.

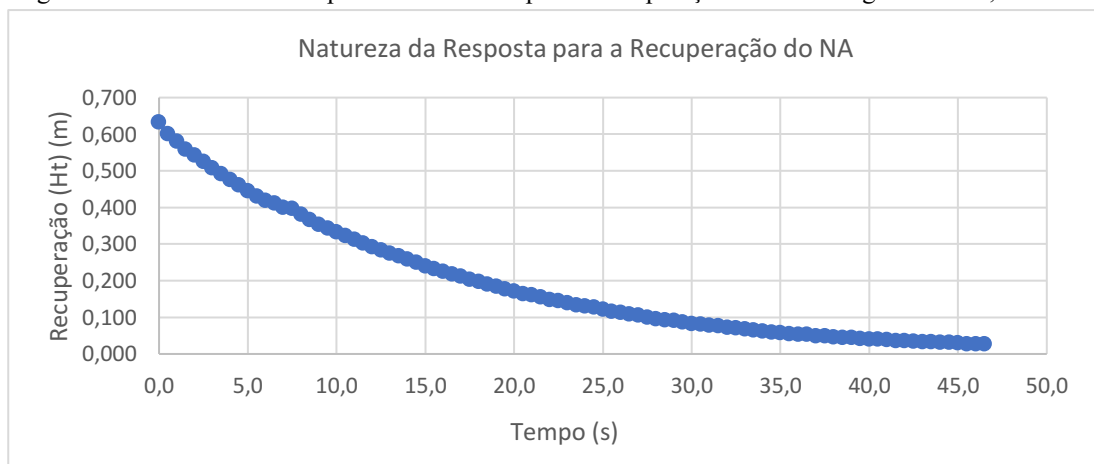


Fonte: O autor (2018)

As Figuras 27, 28 e 29 mostram a natureza de resposta para a recuperação do nível d'água em um dos ensaios feitos nos piezômetros de monitoramento. Assim, constata-se que o nível de água no piezômetro retorna para o nível de água estático de forma aproximadamente exponencial ao longo de um período de segundos. Evidenciou-se, portanto, uma resposta amortecida, também conhecida como não oscilatória (*overdamped well response*), em todos os ensaios nos piezômetros. Os gráficos relativos aos ensaios realizados que reforçam essa natureza, encontram-se no Apêndice B.

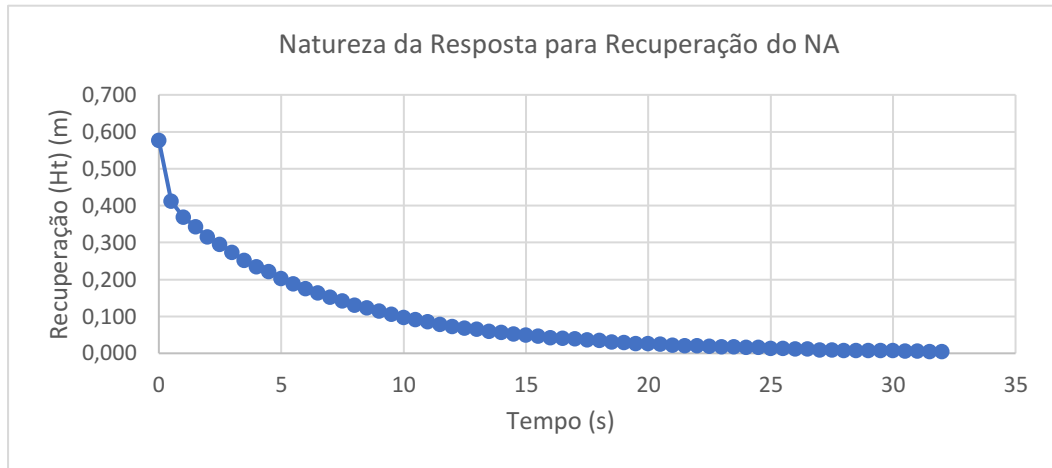
Demonstrou-se a validade da Lei de Darcy, no qual há a predominância das forças viscosas sobre as forças inerciais, impedindo que a coluna de água oscilasse na recuperação.

Figura 27 – Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ2, 2º ensaio.



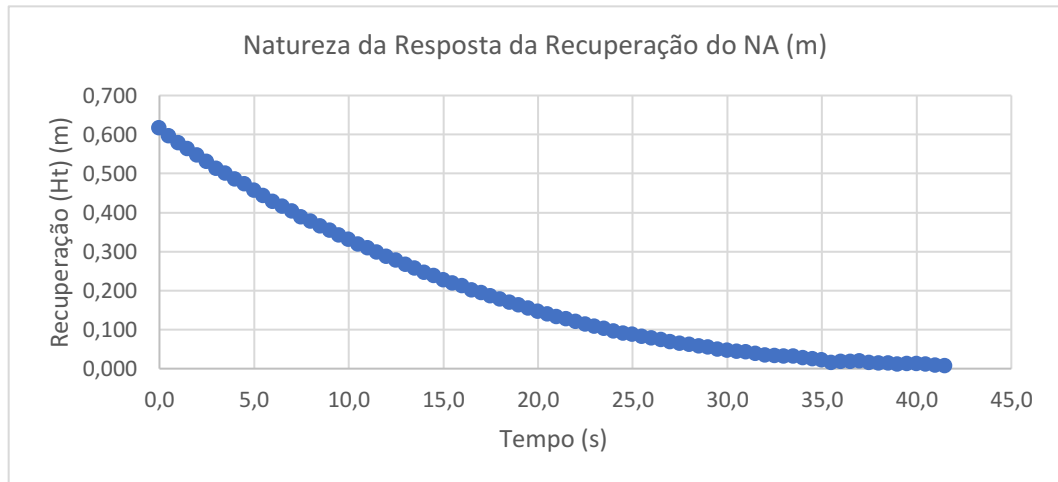
Fonte: O autor (2018).

Figura 28 – Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ3, 1º ensaio.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 29 – Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ4, 4º ensaio.



Fonte: O Autor (2018).

Para a análise dos dados do *Bail Test*, considerando o tipo de resposta para recuperação do nível d'água, bem como para o tipo de aquífero em questão, freático, utilizaram-se os Métodos de Hvorslev (1951) e Bouwer & Rice (1976). Seguiram-se os procedimentos dos métodos de Hvorslev) e Bouwer & Rice a fim de obter-se os valores de condutividade hidráulica (K) para os piezômetros. As condutividades hidráulicas obtidas foram classificadas quanto à magnitude, segundo a classificação estabelecida por Fiori (2010), de acordo com a Tabela 1.

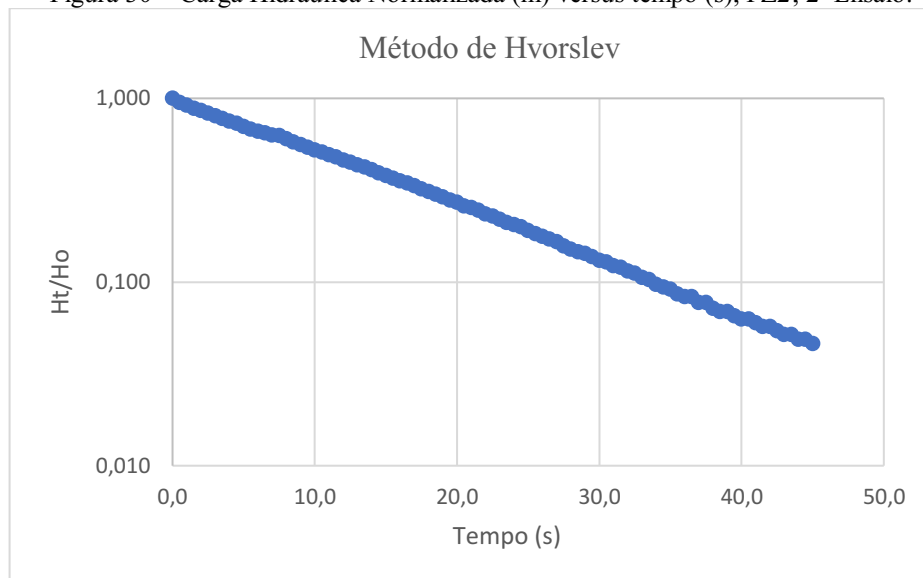
Para isso, utilizou-se os dados dos três ensaios para cada piezômetro que apresentaram maior uniformidade, apresentando, portanto, um ajuste de reta mais refinado, com maior interceptação de dados. Também se utilizou os valores de condutividade hidráulica de três ensaios, de forma a obter-se um valor médio representativo para a condutividade hidráulica (\bar{K}), conforme recomendação da ASTM. Os cálculos e os ajustes das retas dos gráficos obtidos a partir da aplicação dos métodos foram feitos com auxílio do *software Microsoft Excel*.

5.1 MÉTODO DE HVORSLEV

5.1.1 Piezômetro 2

Utilizou-se um gráfico semi-logarítmico para obter-se a linearização da curva exponencial, segundo o método de Hvorslev, no qual os valores das cargas hidráulicas normalizadas (H_t/H_o) foram plotados numa escala logarítmica e os valores de tempo, numa escala decimal. A Tabela 10, Apêndice A, mostra os dados do segundo ensaio realizado no PZ2. Assim, com base nos dados do ensaio, obteve-se o gráfico da Figura 29:

Figura 30 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ2, 2º Ensaio.



Fonte: O Autor (2018).

A equação obtida pelo ajuste dos pontos do ensaio graficamente, no Excel, foi:

$$\frac{H_t}{H_o} = 1,0368e^{-0,069t} \quad \text{Equação 6}$$

Portanto, aplicando a propriedade logarítmica em ambos os lados da Equação 6, tem-se:

$$\log\left(\frac{H_t}{H_o}\right) = \log(1,0368e^{-0,069t})$$

O método de Hvorslev (1951) é baseado no cálculo da inclinação da reta, observando-se o tempo (t) quando $H_t/H_o = 0,37$. Assim:

$$\log(0,37) = \log 1,0368 - 0,069t \times \log e$$

$$T_o = 14,93 \text{ s}$$

Substituindo T_o e alguns dados da Tabela 2, na equação do método (Equação 2), tem-se:

$$K = \frac{rc^2 \times \ln\left(\frac{Le}{R}\right)}{2LeT_o} = \frac{0,0381 \text{ m}^2 \times \ln\left(\frac{7 \text{ m}}{0,0431 \text{ m}}\right)}{2 \times 7 \text{ m} \times 14,93 \text{ s}} = 3,535 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

De forma análoga, procedeu-se para o terceiro e quarto ensaio realizado no PZ2. As tabelas e gráficos referentes a esses ensaios encontram-se nos Apêndices A, B e C. A Tabela 3 mostra os resultados dos experimentos e a condutividade hidráulica média (\bar{K}) obtida para o PZ2:

Tabela 3 – Condutividades Hidráulicas obtidas para o PZ2, Método de Hvorslev.

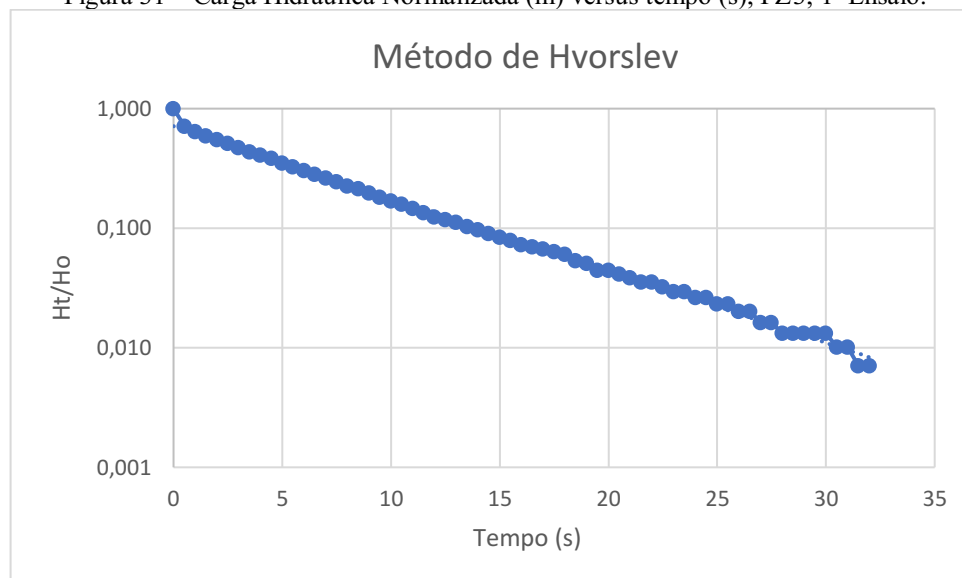
Condutividade Hidráulica (K) (m/s)		
PZ2	Método de Hvorslev	Magnitude
2º Ensaio	$3,535 \times 10^{-5}$	Alta
3º Ensaio	$3,612 \times 10^{-5}$	Alta
4º Ensaio	$3,759 \times 10^{-5}$	Alta
\bar{K}	$3,635 \times 10^{-5}$	Alta

Fonte: O autor (2018).

5.1.2 Piezômetro 3

A Tabela 13, Apêndice A, mostra os dados do primeiro ensaio realizado no PZ3. Assim, com base nos dados do ensaio, obteve-se o gráfico da Figura 30:

Figura 31 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ3, 1º Ensaio.



Fonte: O Autor (2018).

A equação obtida pelo ajuste dos pontos no Excel, foi:

$$\frac{Ht}{Ho} = 0,7128e^{-0,139t} \quad (\text{Equação 7})$$

Assim, para:

$$\frac{Ht}{Ho} = 0,37 \Rightarrow To = 4,72 \text{ s}$$

Substituindo To e alguns dados da Tabela 2, na equação do Método de Hvorslev (Equação 2), tem-se que:

$$K = \frac{rc^2 \times \ln\left(\frac{Le}{R}\right)}{2LeT_o} = \frac{0,0381 \text{ m}^2 \times \ln\left(\frac{5 \text{ m}}{0,0431 \text{ m}}\right)}{2 \times 5 \text{ m} \times 4,72} = 1,462 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

De forma análoga, procedeu-se para o segundo e quarto ensaio realizado no PZ3. As tabelas e gráficos referentes a esses ensaios encontram-se nos Apêndices A, B e C. A Tabela 4 mostra os resultados dos experimentos e a condutividade hidráulica média (\bar{K}) obtida para o PZ3:

Tabela 4 – Condutividades Hidráulicas obtidas para o PZ3, Método de Hvorslev.

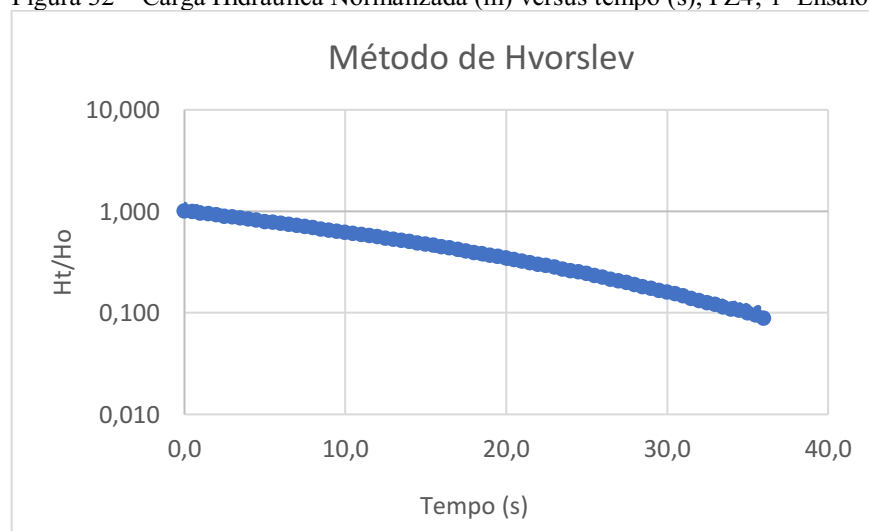
Condutividade Hidráulica (K) (m/s)		
PZ3	Método de Hvorslev	Magnitude
1º Ensaio	$1,462 \times 10^{-4}$	Alta
2º Ensaio	$3,812 \times 10^{-4}$	Alta
4º Ensaio	$1,079 \times 10^{-4}$	Alta
\bar{K}	$2,118 \times 10^{-4}$	Alta

Fonte: O autor (2018).

5.1.3 Piezômetro 4

A Tabela 16, Apêndice A, mostra os dados do primeiro ensaio realizado no PZ4. Assim, com base nos dados do ensaio, obteve-se o gráfico da Figura 31:

Figura 32 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ4, 1º Ensaio.



Fonte: O autor (2018).

A equação obtida pelo ajuste dos pontos do ensaio graficamente, no Excel, foi:

$$\frac{Ht}{H_o} = 1,1637e^{-0,066t} \quad (\text{Equação 8})$$

Assim, para:

$$\frac{Ht}{H_o} = 0,37 \Rightarrow T_o = 17,36 \text{ s}$$

Substituindo T_0 e alguns dados da Tabela 2, na equação do método (Equação 2), tem-se que:

$$K = \frac{rc^2 \times \ln\left(\frac{Le}{R}\right)}{2LeT_0} = \frac{0,0381 \text{ m}^2 \times \ln\left(\frac{4 \text{ m}}{0,0431 \text{ m}}\right)}{2 \times 4 \text{ m} \times 17,36 \text{ s}} = 4,735 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

De forma análoga, procedeu-se para o segundo e quarto ensaio realizado no PZ4. As tabelas e gráficos referentes a esses ensaios encontram-se nos Apêndices A, B e C. A Tabela 5 mostra os resultados dos experimentos e a condutividade hidráulica média (\bar{K}) obtida para o PZ4:

Tabela 5 – Condutividades Hidráulicas obtidas para os ensaios no PZ4, Método de Hvorslev.

Condutividade Hidráulica (K) (m/s)		
PZ4	Método de Hvorslev	Magnitude
1º Ensaio	$4,735 \times 10^{-5}$	Alta
2º Ensaio	$5,324 \times 10^{-5}$	Alta
4º Ensaio	$6,108 \times 10^{-5}$	Alta
\bar{K}	$5,359 \times 10^{-5}$	Alta

Fonte: O autor (2018).

5.2 MÉTODO DE BOUWER & RICE

5.2.1 Piezômetro 2

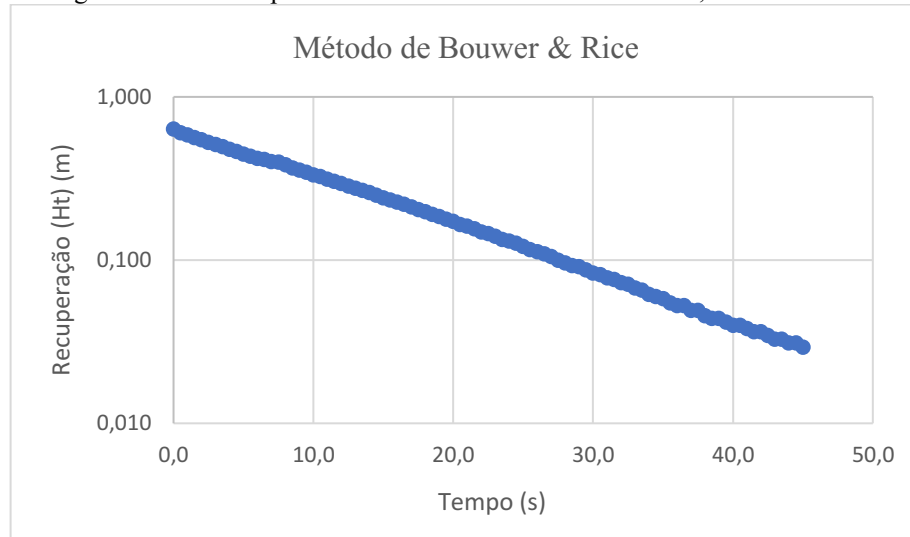
Para poços totalmente penetrantes, utiliza-se Equação 5. Assim, de posse das informações da Tabela 2, para o PZ2, tem-se:

$$\ln(R_e/r_w) = [1,1 / \ln(8,72 \text{ m} / 0,0445 \text{ m}) + 5,7 / (7 \text{ m} / 0,04445)]^{-1}$$

$$\ln(R_e/r_w) = 4,089$$

Utilizando os dados do segundo ensaio, dispostos na Tabela 10, Apêndice A, gera-se o gráfico para o Método de Bouwer & Rice, mostrado na Figura 32.

Figura 33 – Gráfico para o Método de Bouwer & Rice - PZ2, 2º Ensaio.



Fonte: O Autor (2018).

A equação obtida pelo ajuste dos pontos do ensaio no Excel, foi:

$$Ht = 0,6556e^{-0,069t} \quad (\text{Equação 7})$$

Assim, tomando $t = 11$ segundos, a recuperação (Ht) é igual a 0,307 m. Substituindo-se os valores fornecidos na Tabela 2, na equação do Método (Eq.3), tem-se:

$$K = \frac{0,03812^2 \times 4,089}{2 \times 7} \times \left(\frac{1}{11}\right) \times \ln\left(\frac{0,632}{0,307}\right) = 2,783 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Similarmente, procedeu-se para o segundo e quarto ensaio realizado no PZ4. As tabelas e gráficos referentes aos demais ensaios realizados no PZ2 encontram-se nos Apêndices A, B e D. A Tabela 6 mostra os resultados dos experimentos e a condutividade hidráulica média (\bar{K}) obtida para o PZ4:

Tabela 6 – Condutividades Hidráulicas - Método de Bouwer & Rice - PZ2

Condutividade Hidráulica (K) (m/s)		
PZ2	Método de Bouwer & Rice	Magnitude
2º Ensaio	$2,783 \times 10^{-5}$	Alta
3º Ensaio	$2,836 \times 10^{-5}$	Alta
4º Ensaio	$2,900 \times 10^{-5}$	Alta
\bar{K}	$2,840 \times 10^{-5}$	Alta

Fonte: O autor (2018).

5.2.2 Piezômetro 3

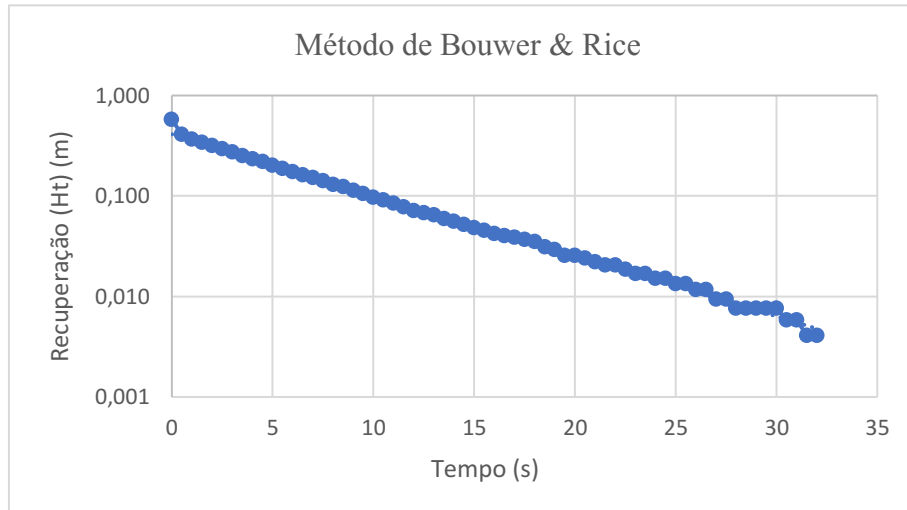
Para o PZ3, tem-se:

$$\ln(R_e/r_w) = [1,1 / \ln(6,81 \text{ m} / 0,0445 \text{ m}) + 4,4 / (5 \text{ m} / 0,04445 \text{ m})]^{-1}$$

$$\ln(R_e/r_w) = 3,880$$

Utilizando os dados do primeiro ensaio, na Tabela 13, Apêndice A, gera-se o gráfico para o Método de Bouwer & Rice, mostrado na Figura 33.

Figura 34 – Gráfico para o Método de Bouwer & Rice - PZ3, 1º Ensaio.



Fonte: O Autor (2018).

A equação obtida pelo ajuste dos pontos do ensaio no Excel, foi:

$$Ht = 0,4112e^{-0,139t}$$

Fazendo, tomando $t = 5$ segundos, a recuperação (Ht) é igual a 0,205 m. Substituindo os valores relacionados na equação 3, fornecidos na tabela 2, tem-se:

$$K = \frac{0,0381m^2 \times 3,880}{2 \times 5m} \times \left(\frac{1}{5}\right) \times \ln\left(\frac{0,577m}{0,205m}\right) = 1,166 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Outrossim, procedeu-se para os dados do segundo e quarto experimento realizado no PZ3. As tabelas e gráficos referentes aos demais ensaios encontram-se nos Apêndices A, B e D. A tabela 7 mostra os resultados dos experimentos e a condutividade hidráulica média (\bar{K}) obtida para o PZ3:

Tabela 7 – Condutividades Hidráulicas obtidas para o PZ3, Método de Bouwer & Rice.

Condutividade Hidráulica (K) (m/s)		
PZ3	Método de Bouwer & Rice	Magnitude
1º Ensaio	$1,666 \times 10^{-4}$	Alta
2º Ensaio	$1,400 \times 10^{-4}$	Alta
4º Ensaio	$8,633 \times 10^{-5}$	Alta
\bar{K}	$1,143 \times 10^{-4}$	Alta

Fonte: O autor (2018).

5.2.3 Piezômetro 4

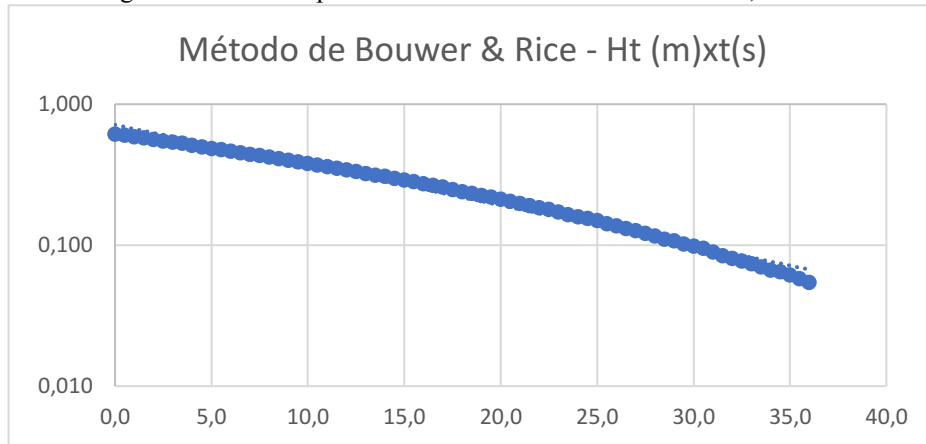
Para o PZ4, tem-se:

$$\ln(R_e/r_w) = [1,1/\ln(3,56 \text{ m}/0,0445 \text{ m}) + 3,8/(4 \text{ m}/0,04445 \text{ m})]^{-1}$$

$$\ln (R_e/r_w) = 3,411$$

Utilizando os dados da Tabela 7, do segundo ensaio, gera-se o gráfico para o Método de Bouwer & Rice, mostrado na Figura 34.

Figura 35 – Gráfico para o Método de Bouwer & Rice – PZ4, 1º Ensaio



Fonte: O Autor (2018).

A equação obtida pelo ajuste dos pontos do ensaio no Excel, foi:

$$Ht = 0,7141e^{-0,066t}$$

Fazendo $t = 12$ segundos, a recuperação (Ht) é igual a $0,323$ m. Substituindo-se os valores relacionados na equação 3, fornecidos na tabela 2, tem-se:

$$K = \frac{0,0381^2 \times 3,411}{2 \times 4} \times \left(\frac{1}{12}\right) \times \ln\left(\frac{0,614}{0,323}\right) = 3,313 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Do mesmo modo, procedeu-se para os dados do segundo e terceiro experimento realizado no PZ4. As tabelas e gráficos referentes aos demais ensaios encontram-se nos Apêndices A, B e D. A tabela 8 mostra os resultados dos experimentos e a condutividade hidráulica média (\bar{K}) obtida para o PZ4:

Tabela 8 – Condutividades Hidráulicas obtidas para o PZ4, Método de Bouwer & Rice.

Condutividade Hidráulica (K) (m/s)		
PZ4	Método de Bouwer & Rice	Magnitude
1º Ensaio	$3,313 \times 10^{-5}$	Alta
2º Ensaio	$3,673 \times 10^{-5}$	Alta
3º Ensaio	$3,915 \times 10^{-5}$	Alta
\bar{K}	$3,634 \times 10^{-5}$	Alta

Fonte: O autor (2018).

5.3 ANÁLISE DOS VALORES ENCONTRADOS

Ao comparara-se os valores obtidos, notou-se que o Método de Hvorslev produziu maiores valores para a condutividade hidráulica em todos os piezômetros, conforme a Tabela 9. Isso pode ser explicado pelo fato de que esse método não leva em consideração a geometria do aquífero. Nesse método, é assumido que o aquífero tem uma espessura infinita e o valor da espessura saturada não é considerado.

Tabela 9 - Condutividades Hidráulicas Médias nos Piezômetros pelo Método de Hvorslev e Bouwer & Rice

Condutividade Média (\bar{K}) (m/s)	Hidráulica	Método de Hvorslev	Método de Bouwer & Rice
PZ2		$3,635 \times 10^{-5}$	$2,840 \times 10^{-5}$
PZ3		$2,118 \times 10^{-4}$	$1,143 \times 10^{-4}$
PZ4		$5,359 \times 10^{-5}$	$3,634 \times 10^{-5}$

Fonte: O autor (2018).

Weight (2008) destaca que na hidráulica de aquíferos, um método pode apresentar um valor maior ou menor que o outro, no entanto, devem produzir tendências semelhantes. Observou-se tal característica para os ensaios nos piezômetros de monitoramento PZ2, PZ3 e PZ4, uma vez que cada piezômetro apresentou a mesma ordem de grandeza para a condutividade hidráulica média calculada pelos dois métodos. Os valores foram situados entre 10^{-5} e 10^{-4} m/s, todos classificados como valores de alta magnitude para a condutividade hidráulica.

Quanto aos resultados obtidos, esses podem ser encarados como condutividades hidráulicas médias das seções filtrantes. É importante ressaltar que para todos os piezômetros, os filtros começam na base do aquífero, ou seja, iniciam-se logo acima do embasamento cristalino, no começo da espessura saturada, perpassando em muitos casos, por diferentes litologias.

Assim, de acordo com as sondagens dos piezômetros, os valores para a condutividade hidráulica expressam as condutividades hidráulicas médias (\bar{K}) das camadas descritas na Tabela 10:

Tabela 10 – Classificação das Camadas que compreendem a seção filtrante, nos piezômetros

Piezômetros	Litologia da Camada
PZ2	- Areia média e grossa, pedregulhosa, compacta a medianamente compacta; - Argila arenosa;
PZ3	Areia média e grossa, pedregulhosa, medianamente compacta
PZ4	- Areia pouco argilosa, compacta; - Areia média e grossa, compacta; - Areia média e grossa, pedregulhosa;

Fonte: O Autor (2018).

Arruda e Rêgo (2018) encontraram valores similares aos obtidos pelo *slug test*, utilizando o Permeâmetro de Guelph (PG), também na localidade do aquífero aluvial do Rio

Sucuru, em ensaios realizados próximos a outros piezômetros de monitoramento. Foram relatados os valores de $1,46 \times 10^{-4}$ m/s para areia média e grossa e $7,20 \times 10^{-5}$ m/s para solo arenoso em geral.

Para o PZ3, que possui a seção filtrante unicamente inserida numa camada de areia média e grossa, encontrou-se valores de $2,118 \times 10^{-4}$ m/s pelo Método de Hvorslev e $1,143 \times 10^{-4}$ m/s pelo Método de Bouwer & Rice, ressaltando-se principalmente o último valor que encontra-se muito próximo do obtido por Arruda e Rêgo (2018), para a mesma classificação da camada de solo. Esse valor também está condizente com intervalo fornecido por Pinto (2006) para areias médias, 10^{-4} m/s e por Das (2007), que fornece valores da ordem de 1×10^{-2} a 10^{-4} m/s para areias grossas.

Os autores encontraram um valor de $1,46 \times 10^{-7}$ m/s e $1,67 \times 10^{-5}$ m/s para a condutividade hidráulica saturada de campo de granulometria de argila a silte e para sedimentos de granulometria compreendida nos limites de argila a areia grossa, respectivamente. Assim, especialmente para os Piezômetros 2 e 4, que possuem seção filtrante em camadas argilosas e arenosas, o valor de condutividade hidráulica da ordem de 10^{-5} m/s encontrados para os dois métodos, reforçam a ideia da representatividade desta condutividade hidráulica como sendo uma condutividade hidráulica média da seção filtrante.

5 CONCLUSÕES

O ensaio *slug test* para a determinação da condutividade hidráulica do Aquífero Aluvial do Rio Sucuru indicou valores que variam entre 10^{-4} e 10^{-5} m/s. As altas condutividades hidráulicas encontradas reforçam a existência de boas condições de fluxo subterrâneo no aquífero que é composto predominantemente por sedimentos arenosos.

A metodologia *bail test* mostrou-se viável para o estudo em questão. Esse tipo de metodologia reduz a interferência da zona insaturada acima do nível de água em questão, pois a água flui somente do aquífero para o interior do piezômetro.

O uso do transdutor de pressão permitiu a realização dos testes de forma precisa e seria a única maneira de realizar os testes *slug* nos piezômetros de monitoramento PZ2, PZ3 e PZ4, devido as altas condutividades hidráulicas encontradas e a rapidez da recuperação do nível de água estático em todos eles.

A utilização dos dois métodos de análise, Método de Hvorslev e Bouwer & Rice, trouxe uma maior confiabilidade para os dados em questão, devido à similaridade dos resultados

da condutividade hidráulica média que apresentaram a mesma ordem de grandeza para cada piezômetros, conforme mostrado pelas tabelas resumo com os resultados dos ensaios.

Os ensaios *in situ*, tal como o *Slug Test*, fornecem valores mais realistas para a condutividade hidráulica. Nos ensaios realizados em campo considera-se um fluxo multidimensional e as heterogeneidades ao redor de cada piezômetro. A utilização desse método faz-se interessante para o estudo da condutividade hidráulica de poços e piezômetros com seções filtrantes inseridos em diferentes litologias, uma vez que o valor obtido representa a condutividade hidráulica média da região na qual o filtro está inserido, em oposição ao PG, por exemplo, que fornece valores pontuais.

O conhecimento da condutividade hidráulica é fundamental para o entendimento do comportamento do aquífero e para o estabelecimento de futuras medidas para a gestão dos recursos hídricos, a partir da modelagem de águas subterrâneas. Assim, a continuidade do monitoramento dos níveis estáticos através dos piezômetros instaladas na região do aquífero e a realização de diferentes métodos para determinação da condutividade hidráulica para complementarem as informações, são fundamentais para a obtenção de melhores resultados.

Sugere-se ainda para futuros trabalhos: a realização de ensaios em mais piezômetros de monitoramento ao longo do aquífero Aluvial do Rio Sucuru; a utilização da metodologia de análise da recuperação do nível de água (*rising-head test*), conforme utilizada no escopo desta pesquisa; a utilização da metodologia de análise do rebaixamento do nível de água pela (*falling-head test*), para fins comparativos; a realização de ensaios *slug test* em piezômetros de monitoramento a montante da zona urbana a fim de verificar a influência da contaminação do solo e das águas no valor da condutividade hidráulica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGE. **Ensaio de permeabilidade em solos: orientações para sua execução no campo**. São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2013.

ADASA. **Resumo Teórico e Prático para Testes de Aquíferos na Zona Saturada e Não Saturada: Ensaio de Infiltração in situ, Slug Test e Testes de Bombeamento**. Disponível em: <http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/ensaio_infiltracao_testes_bombeamento.pdf>. Acesso em: 6 out. 2018.

ALBUQUERQUE, J. P. T. **Os recursos de água subterrânea do trópico semi-árido do Estado da Paraíba**. Campina Grande, Dissertação (mestrado) 183 f. – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1984.

AQTESOLV. **Hvorslev Slug Test Solution for Confined Aquifers**. Disponível em: <<http://www.aqtesolv.com/hvorslev.htm>>. Acesso em: 20 de junho de 2018.

ARRUDA, I.S.; RÊGO, J. C. **Estimativa de Parâmetros de Permeabilidade no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru**. In: XV Congresso de Iniciação Científica da UFCG, 2018, Campina Grande. XV Congresso de Iniciação Científica da UFCG, 218.

ASTM D4044 / D4044M-15, **Standard Test Method for (Field Procedure) for Instantaneous Change in Head (Slug) Tests for Determining Hydraulic Properties of Aquifers**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

ATECEL – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior. **Relatório Nº 180/2015**. Campina Grande: ATECEL, 2015. 13 p.

BARBOSA JR, Antenor Rodrigues. **Água Subterrânea / Hidráulica de Poços**. 2015. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%208/Hidraulica%20de%20Pocos_Anteor%20R%20Barbosa%20Jr.pdf>. Acesso em: 21 set. 2018.

BLUTER, J. J. Jr. **The Design, Performance, and Analysis of Slug Tests**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1998.

California Environmental Protection Agency (CalEPA), 2015. **Aquifer Testing at Contaminated Sites**. Department of Toxic Substances Control. Disponível em: <https://www.dtsc.ca.gov/PublicationsForms/upload/Aquifer_Testing_Guidance_Final.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2018.

CARVALHO, A. M. et al. **Determinação da Condutividade Hidráulica de uma área contaminada da Grande São Paulo utilizando-se Método Slug Test**. 2013. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27394>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

CLEARY, R. W. **Águas Subterrâneas**. Clean Environment Brasil, Princeton Groundwater Inc, ABRH, 2007.

COSTA FILHO, Waldir Duarte. **Águas Subterrâneas: Suporte para uma Revolução Agrícola no Nordeste**. 2013. 30 slides. Disponível em:

<<http://siteantigo.sudene.gov.br/system/resources/W1siZiIsIjIwMTMvMTAvMTQvMTRfMzdfNDFfNTY3X19ndWFzX1N1YnRlcnJfbmVhcy5wZGYiXV0/%C3%81guas%20Subterr%C3%A2neas.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (Brasil). **Programa de Água Subterrânea para o Semiárido Brasileiro**. Brasil: CPRM, 2000. 36 p.

CPRM. **Aquíferos**. 2010. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Aquiferos-1377.html>>. Acesso em: 17. Jun. 2018.

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6.ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de Engenharia Ambiental**. 3.ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2016.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. 4. ed. Estados Unidos da América: Prentice-Hall, 2001.

FIORI, J. P. O. **Avaliação de Métodos de Campo para Determinação da Condutividade Hidráulica em meios saturados e não saturados**. 2012. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Hidrologia e Meio Ambiente, Instituto de Geociências - Unb, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

FITTS, C.R. **Águas Subterrâneas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. Tradução de: Daniel Vieira.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1979.

HEATH, R. C. **Hidrologia Básica de Água Subterrânea**. Carolina do Norte: U.S. Government Printing Office, 1982.

JESUS, L. S.; FERNANDES, J. B.; GIACHETI, H. L. **Investigação da Condutividade Hidráulica dos solos de uma área de aterro de resíduos sólidos urbanos por meio de ensaios de campo e laboratório**. *Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal)*, Bauru, v. 21-28, n. 22, p.1-8, jun. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315937925_Investigacao_da_condutividade_hidraulica_dos_solos_de_uma_area_de_aterro_de_residuos_solidos_urbanos_por_meio_de_ensaios_de_campo_e_laboratorio>. Acesso em: 18 jul. 2018.

KRUSEMAN, G. P.; RIDDER, N.A. de. **Analysis and Evaluation of Pumping Test Data**. 2. ed. Wageningen, Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 2000.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PONTES FILHO, João Dehon de Araújo. **Da Recarga Não Gerenciada à Recarga Gerenciada: Estratégia para Aquífero Aluvial no Semiárido Brasileiro**. 2018. 66 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018. Disponível em:<<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/385/1/JO%C3%83O%20DEHON%20DE%20ARA%C3%9AJO%20PONTES%20FILHO%20%E2%80%93%20DISSERTA%C3%87%C3%83O%20%28PPGECA%29%202018.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

PROJETO BRAMAR (Brazil Managed Aquifer Recharge). **Dados de Nível Estático em Piezômetros de Monitoramento.** Planilha Formato .xlsx.

RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; VIEIRA, L. J. S. **Reativação de perímetros de irrigação através da exploração de aquíferos aluviais - o caso de Sumé.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999.

ROSCUE MOSS COMPANY. **Handbook of Ground Water Development.** Los Angeles, Ca. Roscue Moss Company, 1990.

SILVA, L. F. D. **AVALIAÇÃO DE UNIDADES PRODUTIVAS DA AGRICULTURA FAMILIAR NO PERÍMETRO IRRIGADO DE SUMÉ, PB.** 2006. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

TODD, D. K.; MAYS, L. W. **Groundwater Hydrology.** 3. ed. Estados Unidos: Wiley John Wiley & Sons, Inc., 2005.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION. **Ground Water Manual,** 2 ed. Denver, CO: U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1995.

U.S. Geological Survey (USGS). **Conducting an instantaneous change in head (slug) test with a mechanical slug and submersible pressure transducer.** 2010. Disponível em:<<https://pubs.usgs.gov/tm/1a1/pdf/GWPD17.pdf>>. Acesso: 20 ago. 2018.

VIEIRA, J. S. **Emprego de um Modelo Matemático de Simulação do Fluxo Subterrâneo para Definição de Alternativas de Exploração de um Aquífero Aluvial,** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

WEIGHT, W. D. **Hydrogeology Field Manual.** 2. ed. Montana: McGraw-Hill, 2008.

APÊNDICE A – DADOS DE RECUPERAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA PARA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE HVORSLEV E BOUWER & RICE

Tabela 11 – Dados do segundo ensaio realizado no PZ2 utilizando a metodologia *Bail Test*.

Data e Hora	NA estático medido antes do ensaio	1738,75 cmH ₂ O	17,388 mH ₂ O	Ht (m)	Ht/Ho
	Tempo (t)	Pressão Diver (cmH ₂ O)	Pressão Diver (mH ₂ O)		
13/06/2018 09:45:15,0	0,0	1675,517	16,755	0,632	1,000
13/06/2018 09:45:15,5	0,5	1678,725	16,787	0,600	0,949
13/06/2018 09:45:16,0	1,0	1680,708	16,807	0,580	0,918
13/06/2018 09:45:16,5	1,5	1682,867	16,829	0,559	0,884
13/06/2018 09:45:17,0	2,0	1684,500	16,845	0,543	0,858
13/06/2018 09:45:17,5	2,5	1686,308	16,863	0,524	0,829
13/06/2018 09:45:18,0	3,0	1687,942	16,879	0,508	0,804
13/06/2018 09:45:18,5	3,5	1689,575	16,896	0,492	0,778
13/06/2018 09:45:19,0	4,0	1691,150	16,912	0,476	0,753
13/06/2018 09:45:19,5	4,5	1692,608	16,926	0,461	0,730
13/06/2018 09:45:20,0	5,0	1694,242	16,942	0,445	0,704
13/06/2018 09:45:20,5	5,5	1695,700	16,957	0,430	0,681
13/06/2018 09:45:21,0	6,0	1696,925	16,969	0,418	0,661
13/06/2018 09:45:21,5	6,5	1697,683	16,977	0,411	0,649
13/06/2018 09:45:22,0	7,0	1698,733	16,987	0,400	0,633
13/06/2018 09:45:22,5	7,5	1699,083	16,991	0,397	0,627
13/06/2018 09:45:23,0	8,0	1700,717	17,007	0,380	0,601
13/06/2018 09:45:23,5	8,5	1702,175	17,022	0,366	0,578
13/06/2018 09:45:24,0	9,0	1703,400	17,034	0,353	0,559
13/06/2018 09:45:24,5	9,5	1704,508	17,045	0,342	0,542
13/06/2018 09:45:25,0	10,0	1705,558	17,056	0,332	0,525
13/06/2018 09:45:25,5	10,5	1706,492	17,065	0,323	0,510
13/06/2018 09:45:26,0	11,0	1707,542	17,075	0,312	0,494
13/06/2018 09:45:26,5	11,5	1708,475	17,085	0,303	0,479
13/06/2018 09:45:27,0	12,0	1709,525	17,095	0,292	0,462
13/06/2018 09:45:27,5	12,5	1710,458	17,105	0,283	0,447
13/06/2018 09:45:28,0	13,0	1711,333	17,113	0,274	0,434
13/06/2018 09:45:28,5	13,5	1712,092	17,121	0,267	0,422
13/06/2018 09:45:29,0	14,0	1712,967	17,130	0,258	0,408
13/06/2018 09:45:29,5	14,5	1713,842	17,138	0,249	0,394
13/06/2018 09:45:30,0	15,0	1714,775	17,148	0,240	0,379
13/06/2018 09:45:30,5	15,5	1715,475	17,155	0,233	0,368
13/06/2018 09:45:31,0	16,0	1716,233	17,162	0,225	0,356

13/06/2018 09:45:31,5	16,5	1716,933	17,169	0,218	0,345
13/06/2018 09:45:32,0	17,0	1717,633	17,176	0,211	0,334
13/06/2018 09:45:32,5	17,5	1718,392	17,184	0,204	0,322
13/06/2018 09:45:33,0	18,0	1719,092	17,191	0,197	0,311
13/06/2018 09:45:33,5	18,5	1719,792	17,198	0,190	0,300
13/06/2018 09:45:34,0	19,0	1720,375	17,204	0,184	0,291
13/06/2018 09:45:34,5	19,5	1721,075	17,211	0,177	0,280
13/06/2018 09:45:35,0	20,0	1721,600	17,216	0,171	0,271
13/06/2018 09:45:35,5	20,5	1722,358	17,224	0,164	0,259
13/06/2018 09:45:36,0	21,0	1722,708	17,227	0,160	0,254
13/06/2018 09:45:36,5	21,5	1723,233	17,232	0,155	0,245
13/06/2018 09:45:37,0	22,0	1723,933	17,239	0,148	0,234
13/06/2018 09:45:37,5	22,5	1724,342	17,243	0,144	0,228
13/06/2018 09:45:38,0	23,0	1724,867	17,249	0,139	0,220
13/06/2018 09:45:38,5	23,5	1725,392	17,254	0,134	0,211
13/06/2018 09:45:39,0	24,0	1725,742	17,257	0,130	0,206
13/06/2018 09:45:39,5	24,5	1726,092	17,261	0,127	0,200
13/06/2018 09:45:40,0	25,0	1726,675	17,267	0,121	0,191
13/06/2018 09:45:40,5	25,5	1727,200	17,272	0,115	0,183
13/06/2018 09:45:41,0	26,0	1727,550	17,276	0,112	0,177
13/06/2018 09:45:41,5	26,5	1727,900	17,279	0,108	0,172
13/06/2018 09:45:42,0	27,0	1728,250	17,283	0,105	0,166
13/06/2018 09:45:42,5	27,5	1728,833	17,288	0,099	0,157
13/06/2018 09:45:43,0	28,0	1729,183	17,292	0,096	0,151
13/06/2018 09:45:43,5	28,5	1729,533	17,295	0,092	0,146
13/06/2018 09:45:44,0	29,0	1729,708	17,297	0,090	0,143
13/06/2018 09:45:44,5	29,5	1730,058	17,301	0,087	0,137
13/06/2018 09:45:45,0	30,0	1730,467	17,305	0,083	0,131
13/06/2018 09:45:45,5	30,5	1730,642	17,306	0,081	0,128
13/06/2018 09:45:46,0	31,0	1730,992	17,310	0,078	0,123
13/06/2018 09:45:46,5	31,5	1731,167	17,312	0,076	0,120
13/06/2018 09:45:47,0	32,0	1731,517	17,315	0,072	0,114
13/06/2018 09:45:47,5	32,5	1731,692	17,317	0,071	0,112
13/06/2018 09:45:48,0	33,0	1732,042	17,320	0,067	0,106
13/06/2018 09:45:48,5	33,5	1732,217	17,322	0,065	0,103
13/06/2018 09:45:49,0	34,0	1732,625	17,326	0,061	0,097
13/06/2018 09:45:49,5	34,5	1732,800	17,328	0,059	0,094
13/06/2018 09:45:50,0	35,0	1732,975	17,330	0,058	0,091
13/06/2018 09:45:50,5	35,5	1733,325	17,333	0,054	0,086
13/06/2018 09:45:51,0	36,0	1733,500	17,335	0,052	0,083
13/06/2018 09:45:51,5	36,5	1733,500	17,335	0,052	0,083
13/06/2018 09:45:52,0	37,0	1733,850	17,339	0,049	0,077
13/06/2018 09:45:52,5	37,5	1733,850	17,339	0,049	0,077
13/06/2018 09:45:53,0	38,0	1734,200	17,342	0,045	0,072
13/06/2018 09:45:53,5	38,5	1734,375	17,344	0,044	0,069

13/06/2018 09:45:54,0	39,0	1734,375	17,344	0,044	0,069
13/06/2018 09:45:54,5	39,5	1734,608	17,346	0,041	0,065
13/06/2018 09:45:55,0	40,0	1734,783	17,348	0,040	0,063
13/06/2018 09:45:55,5	40,5	1734,783	17,348	0,040	0,063
13/06/2018 09:45:56,0	41,0	1734,958	17,350	0,038	0,060
13/06/2018 09:45:56,5	41,5	1735,133	17,351	0,036	0,057
13/06/2018 09:45:57,0	42,0	1735,133	17,351	0,036	0,057
13/06/2018 09:45:57,5	42,5	1735,308	17,353	0,034	0,054
13/06/2018 09:45:58,0	43,0	1735,483	17,355	0,033	0,052
13/06/2018 09:45:58,5	43,5	1735,483	17,355	0,033	0,052
13/06/2018 09:45:59,0	44,0	1735,658	17,357	0,031	0,049
13/06/2018 09:45:59,5	44,5	1735,658	17,357	0,031	0,049
13/06/2018 09:46:00,0	45,0	1735,833	17,358	0,029	0,046
13/06/2018 09:46:00,5	45,5	1736,008	17,360	0,027	0,043
13/06/2018 09:46:01,0	46,0	1736,008	17,360	0,027	0,043
13/06/2018 09:46:01,5	46,5	1736,008	17,360	0,027	0,043
Desloc. (S) (Ho) (m)			0,632		

Fonte: O autor (2018).

Tabela 12– Dados do terceiro ensaio realizado no PZ2 utilizando a metodologia *Bail Test*.

Data e Hora	NA estático medido antes do ensaio	1738,167 cmH ₂ O	17,382 mH ₂ O	Ht (m)	Ht/Ho
	Tempo (t)	Pressão Diver (cmH ₂ O)	Pressão Diver (mH ₂ O)		
13/06/18 09:49:08,5	0,00	1673,183	16,732	0,650	1,000
13/06/18 09:49:09,0	0,5	1677,675	16,777	0,605	0,931
13/06/18 09:49:09,5	1,0	1679,833	16,798	0,583	0,898
13/06/18 09:49:10,0	1,5	1682,167	16,822	0,560	0,862
13/06/18 09:49:10,5	2,0	1683,975	16,840	0,542	0,834
13/06/18 09:49:11,0	2,5	1685,608	16,856	0,526	0,809
13/06/18 09:49:11,5	3,0	1687,358	16,874	0,508	0,782
13/06/18 09:49:12,0	3,5	1688,992	16,890	0,492	0,757
13/06/18 09:49:12,5	4,0	1690,450	16,905	0,477	0,734
13/06/18 09:49:13,0	4,5	1691,908	16,919	0,463	0,712
13/06/18 09:49:13,5	5,0	1693,308	16,933	0,449	0,690
13/06/18 09:49:14,0	5,5	1694,067	16,941	0,441	0,679
13/06/18 09:49:14,5	6,0	1695,292	16,953	0,429	0,660
13/06/18 09:49:15,0	6,5	1696,400	16,964	0,418	0,643
13/06/18 09:49:15,5	7,0	1698,033	16,980	0,401	0,618
13/06/18 09:49:16,0	7,5	1699,258	16,993	0,389	0,599
13/06/18 09:49:16,5	8,0	1700,542	17,005	0,376	0,579
13/06/18 09:49:17,0	8,5	1701,417	17,014	0,368	0,566

13/06/18 09:49:17,5	9,0	1702,700	17,027	0,355	0,546
13/06/18 09:49:18,0	9,5	1703,575	17,036	0,346	0,532
13/06/18 09:49:18,5	10,0	1704,683	17,047	0,335	0,515
13/06/18 09:49:19,0	10,5	1705,733	17,057	0,324	0,499
13/06/18 09:49:19,5	11,0	1707,017	17,070	0,312	0,479
13/06/18 09:49:20,0	11,5	1707,717	17,077	0,305	0,469
13/06/18 09:49:20,5	12,0	1708,825	17,088	0,293	0,452
13/06/18 09:49:21,0	12,5	1709,875	17,099	0,283	0,435
13/06/18 09:49:21,5	13,0	1710,808	17,108	0,274	0,421
13/06/18 09:49:22,0	13,5	1711,508	17,115	0,267	0,410
13/06/18 09:49:22,5	14,0	1712,267	17,123	0,259	0,399
13/06/18 09:49:23,0	14,5	1713,317	17,133	0,249	0,382
13/06/18 09:49:23,5	15,0	1714,250	17,143	0,239	0,368
13/06/18 09:49:24,0	15,5	1714,600	17,146	0,236	0,363
13/06/18 09:49:24,5	16,0	1715,475	17,155	0,227	0,349
13/06/18 09:49:25,0	16,5	1716,408	17,164	0,218	0,335
13/06/18 09:49:25,5	17,0	1717,108	17,171	0,211	0,324
13/06/18 09:49:26,0	17,5	1717,633	17,176	0,205	0,316
13/06/18 09:49:26,5	18,0	1718,567	17,186	0,196	0,302
13/06/18 09:49:27,0	18,5	1719,092	17,191	0,191	0,294
13/06/18 09:49:27,5	19,0	1719,792	17,198	0,184	0,283
13/06/18 09:49:28,0	19,5	1720,375	17,204	0,178	0,274
13/06/18 09:49:28,5	20,0	1720,900	17,209	0,173	0,266
13/06/18 09:49:29,0	20,5	1721,250	17,213	0,169	0,260
13/06/18 09:49:29,5	21,0	1722,125	17,221	0,160	0,247
13/06/18 09:49:30,0	21,5	1722,533	17,225	0,156	0,241
13/06/18 09:49:30,5	22,0	1723,058	17,231	0,151	0,232
13/06/18 09:49:31,0	22,5	1723,408	17,234	0,148	0,227
13/06/18 09:49:31,5	23,0	1724,108	17,241	0,141	0,216
13/06/18 09:49:32,0	23,5	1724,692	17,247	0,135	0,207
13/06/18 09:49:32,5	24,0	1725,217	17,252	0,130	0,199
13/06/18 09:49:33,0	24,5	1725,567	17,256	0,126	0,194
13/06/18 09:49:33,5	25,0	1725,917	17,259	0,123	0,189
13/06/18 09:49:34,0	25,5	1726,500	17,265	0,117	0,180
13/06/18 09:49:34,5	26,0	1726,850	17,269	0,113	0,174
13/06/18 09:49:35,0	26,5	1727,200	17,272	0,110	0,169
13/06/18 09:49:35,5	27,0	1727,550	17,276	0,106	0,163
13/06/18 09:49:36,0	27,5	1727,900	17,279	0,103	0,158
13/06/18 09:49:36,5	28,0	1728,250	17,283	0,099	0,153
13/06/18 09:49:37,0	28,5	1728,833	17,288	0,093	0,144
13/06/18 09:49:37,5	29,0	1729,183	17,292	0,090	0,138
13/06/18 09:49:38,0	29,5	1729,533	17,295	0,086	0,133
13/06/18 09:49:38,5	30,0	1729,708	17,297	0,085	0,130

13/06/18 09:49:39,0	30,5	1729,883	17,299	0,083	0,127
13/06/18 09:49:39,5	31,0	1730,233	17,302	0,079	0,122
13/06/18 09:49:40,0	31,5	1730,642	17,306	0,075	0,116
13/06/18 09:49:40,5	32,0	1730,817	17,308	0,074	0,113
13/06/18 09:49:41,0	32,5	1731,167	17,312	0,070	0,108
13/06/18 09:49:41,5	33,0	1731,342	17,313	0,068	0,105
13/06/18 09:49:42,0	33,5	1731,692	17,317	0,065	0,100
13/06/18 09:49:42,5	34,0	1731,867	17,319	0,063	0,097
13/06/18 09:49:43,0	34,5	1732,042	17,320	0,061	0,094
13/06/18 09:49:43,5	35,0	1732,392	17,324	0,058	0,089
13/06/18 09:49:44,0	35,5	1732,625	17,326	0,055	0,085
13/06/18 09:49:44,5	36,0	1732,800	17,328	0,054	0,083
13/06/18 09:49:45,0	36,5	1732,975	17,330	0,052	0,080
13/06/18 09:49:45,5	37,0	1733,150	17,332	0,050	0,077
13/06/18 09:49:46,0	37,5	1733,325	17,333	0,048	0,075
13/06/18 09:49:46,5	38,0	1733,500	17,335	0,047	0,072
13/06/18 09:49:47,0	38,5	1733,675	17,337	0,045	0,069
13/06/18 09:49:47,5	39,0	1733,850	17,339	0,043	0,066
13/06/18 09:49:48,0	39,5	1733,850	17,339	0,043	0,066
13/06/18 09:49:48,5	40,0	1734,025	17,340	0,041	0,064
13/06/18 09:49:49,0	40,5	1734,200	17,342	0,040	0,061
13/06/18 09:49:49,5	41,0	1734,375	17,344	0,038	0,058
13/06/18 09:49:50,0	41,5	1734,608	17,346	0,036	0,055
13/06/18 09:49:50,5	42,0	1734,783	17,348	0,034	0,052
13/06/18 09:49:51,0	42,5	1734,783	17,348	0,034	0,052
13/06/18 09:49:51,5	43,0	1734,958	17,350	0,032	0,049
13/06/18 09:49:52,0	43,5	1735,133	17,351	0,030	0,047
13/06/18 09:49:52,5	44,0	1735,308	17,353	0,029	0,044
13/06/18 09:49:53,0	44,5	1735,308	17,353	0,029	0,044
13/06/18 09:49:53,5	45,0	1735,308	17,353	0,029	0,044
13/06/18 09:49:54,0	45,5	1735,658	17,357	0,025	0,039
13/06/18 09:49:54,5	46,0	1735,658	17,357	0,025	0,039
13/06/18 09:49:55,0	46,5	1735,658	17,357	0,025	0,039
13/06/18 09:49:55,5	47,0	1735,833	17,358	0,023	0,036
13/06/18 09:49:56,0	47,5	1735,833	17,358	0,023	0,036
13/06/18 09:49:56,5	48,0	1736,008	17,360	0,022	0,033
Desloc. (S) (Ho) (m)			0,650		

Fonte: O autor (2018).

Tabela 13 – Dados do quarto ensaio realizado no PZ2 utilizando a metodologia *Bail Test*.

Data e Hora	NA estático medido antes do ensaio	1737,817 cmH ₂ O	17,378 mH ₂ O	Ht(m)	Ht/Ho
	Tempo (t)	Pressão Diver (cmH ₂ O)	Pressão Diver (mH ₂ O)		
13/06/2018 09:50:47,0	0,0	1674,233	16,742	0,636	1,000
13/06/2018 09:50:47,5	0,5	1679,658	16,797	0,582	0,915
13/06/2018 09:50:48,0	1,0	1681,817	16,818	0,560	0,881
13/06/2018 09:50:48,5	1,5	1683,625	16,836	0,542	0,852
13/06/2018 09:50:49,0	2,0	1685,608	16,856	0,522	0,821
13/06/2018 09:50:49,5	2,5	1687,183	16,872	0,506	0,796
13/06/2018 09:50:50,0	3,0	1688,992	16,890	0,488	0,768
13/06/2018 09:50:50,5	3,5	1690,625	16,906	0,472	0,742
13/06/2018 09:50:51,0	4,0	1692,083	16,921	0,457	0,719
13/06/2018 09:50:51,5	4,5	1693,483	16,935	0,443	0,697
13/06/2018 09:50:52,0	5,0	1694,767	16,948	0,431	0,677
13/06/2018 09:50:52,5	5,5	1695,875	16,959	0,419	0,660
13/06/2018 09:50:53,0	6,0	1697,100	16,971	0,407	0,640
13/06/2018 09:50:53,5	6,5	1698,733	16,987	0,391	0,615
13/06/2018 09:50:54,0	7,0	1699,608	16,996	0,382	0,601
13/06/2018 09:50:54,5	7,5	1700,892	17,009	0,369	0,581
13/06/2018 09:50:55,0	8,0	1702,175	17,022	0,356	0,561
13/06/2018 09:50:55,5	8,5	1703,050	17,031	0,348	0,547
13/06/2018 09:50:56,0	9,0	1704,158	17,042	0,337	0,529
13/06/2018 09:50:56,5	9,5	1705,033	17,050	0,328	0,516
13/06/2018 09:50:57,0	10,0	1706,142	17,061	0,317	0,498
13/06/2018 09:50:57,5	10,5	1707,192	17,072	0,306	0,482
13/06/2018 09:50:58,0	11,0	1708,300	17,083	0,295	0,464
13/06/2018 09:50:58,5	11,5	1709,175	17,092	0,286	0,450
13/06/2018 09:50:59,0	12,0	1710,108	17,101	0,277	0,436
13/06/2018 09:50:59,5	12,5	1710,808	17,108	0,270	0,425
13/06/2018 09:51:00,0	13,0	1711,858	17,119	0,260	0,408
13/06/2018 09:51:00,5	13,5	1712,617	17,126	0,252	0,396
13/06/2018 09:51:01,0	14,0	1713,492	17,135	0,243	0,383
13/06/2018 09:51:01,5	14,5	1714,250	17,143	0,236	0,371
13/06/2018 09:51:02,0	15,0	1715,125	17,151	0,227	0,357
13/06/2018 09:51:02,5	15,5	1715,825	17,158	0,220	0,346
13/06/2018 09:51:03,0	16,0	1716,583	17,166	0,212	0,334
13/06/2018 09:51:03,5	16,5	1717,283	17,173	0,205	0,323
13/06/2018 09:51:04,0	17,0	1717,983	17,180	0,198	0,312
13/06/2018 09:51:04,5	17,5	1718,742	17,187	0,191	0,300

13/06/2018 09:51:05,0	18,0	1719,442	17,194	0,184	0,289
13/06/2018 09:51:05,5	18,5	1719,967	17,200	0,179	0,281
13/06/2018 09:51:06,0	19,0	1720,725	17,207	0,171	0,269
13/06/2018 09:51:06,5	19,5	1721,250	17,213	0,166	0,261
13/06/2018 09:51:07,0	20,0	1721,775	17,218	0,160	0,252
13/06/2018 09:51:07,5	20,5	1722,358	17,224	0,155	0,243
13/06/2018 09:51:08,0	21,0	1722,883	17,229	0,149	0,235
13/06/2018 09:51:08,5	21,5	1723,583	17,236	0,142	0,224
13/06/2018 09:51:09,0	22,0	1723,933	17,239	0,139	0,218
13/06/2018 09:51:09,5	22,5	1724,517	17,245	0,133	0,209
13/06/2018 09:51:10,0	23,0	1725,042	17,250	0,128	0,201
13/06/2018 09:51:10,5	23,5	1725,392	17,254	0,124	0,195
13/06/2018 09:51:11,0	24,0	1725,917	17,259	0,119	0,187
13/06/2018 09:51:11,5	24,5	1726,325	17,263	0,115	0,181
13/06/2018 09:51:12,0	25,0	1726,675	17,267	0,111	0,175
13/06/2018 09:51:12,5	25,5	1727,200	17,272	0,106	0,167
13/06/2018 09:51:13,0	26,0	1727,550	17,276	0,103	0,161
13/06/2018 09:51:13,5	26,5	1727,900	17,279	0,099	0,156
13/06/2018 09:51:14,0	27,0	1728,250	17,283	0,096	0,150
13/06/2018 09:51:14,5	27,5	1728,833	17,288	0,090	0,141
13/06/2018 09:51:15,0	28,0	1729,008	17,290	0,088	0,139
13/06/2018 09:51:15,5	28,5	1729,358	17,294	0,085	0,133
13/06/2018 09:51:16,0	29,0	1729,708	17,297	0,081	0,128
13/06/2018 09:51:16,5	29,5	1730,058	17,301	0,078	0,122
13/06/2018 09:51:17,0	30,0	1730,467	17,305	0,074	0,116
13/06/2018 09:51:17,5	30,5	1730,642	17,306	0,072	0,113
13/06/2018 09:51:18,0	31,0	1730,817	17,308	0,070	0,110
13/06/2018 09:51:18,5	31,5	1731,167	17,312	0,067	0,105
13/06/2018 09:51:19,0	32,0	1731,517	17,315	0,063	0,099
13/06/2018 09:51:19,5	32,5	1731,692	17,317	0,061	0,096
13/06/2018 09:51:20,0	33,0	1732,042	17,320	0,058	0,091
13/06/2018 09:51:20,5	33,5	1732,217	17,322	0,056	0,088
13/06/2018 09:51:21,0	34,0	1732,392	17,324	0,054	0,085
13/06/2018 09:51:21,5	34,5	1732,625	17,326	0,052	0,082
13/06/2018 09:51:22,0	35,0	1732,800	17,328	0,050	0,079
13/06/2018 09:51:22,5	35,5	1732,975	17,330	0,048	0,076
13/06/2018 09:51:23,0	36,0	1733,150	17,332	0,047	0,073
13/06/2018 09:51:23,5	36,5	1733,500	17,335	0,043	0,068
13/06/2018 09:51:24,0	37,0	1733,675	17,337	0,041	0,065
13/06/2018 09:51:24,5	37,5	1733,675	17,337	0,041	0,065
13/06/2018 09:51:25,0	38,0	1734,025	17,340	0,038	0,060
13/06/2018 09:51:25,5	38,5	1734,025	17,340	0,038	0,060
13/06/2018 09:51:26,0	39,0	1734,200	17,342	0,036	0,057
13/06/2018 09:51:26,5	39,5	1734,375	17,344	0,034	0,054
13/06/2018 09:51:27,0	40,0	1734,375	17,344	0,034	0,054

13/06/2018 09:51:27,5	40,5	1734,783	17,348	0,030	0,048
13/06/2018 09:51:28,0	41,0	1734,783	17,348	0,030	0,048
13/06/2018 09:51:28,5	41,5	1734,958	17,350	0,029	0,045
13/06/2018 09:51:29,0	42,0	1734,958	17,350	0,029	0,045
13/06/2018 09:51:29,5	42,5	1735,308	17,353	0,025	0,039
13/06/2018 09:51:30,0	43,0	1735,308	17,353	0,025	0,039
13/06/2018 09:51:30,5	43,5	1735,483	17,355	0,023	0,037
13/06/2018 09:51:31,0	44,0	1735,483	17,355	0,023	0,037
13/06/2018 09:51:31,5	44,5	1735,658	17,357	0,022	0,034
13/06/2018 09:51:32,0	45,0	1735,658	17,357	0,022	0,034
13/06/2018 09:51:32,5	45,5	1735,833	17,358	0,020	0,031
13/06/2018 09:51:33,0	46,0	1735,833	17,358	0,020	0,031
13/06/2018 09:51:33,5	46,5	1736,008	17,360	0,018	0,028
Rebaixamento (Ho) (m)			0,636		

Fonte: O autor (2018).

Tabela 14 – Dados do primeiro ensaio realizado no PZ3 utilizando a metodologia *Bail Test*.

Hora	NA estático medido antes do ensaio	1580,200 cmH ₂ O	15,802 mH ₂ O	Ht (m)	Ht/Ho
	Tempo (s)	Pressão Diver (cmH ₂ O)	Pressão Diver (mH ₂ O)		
13/06/18 11:05:56,5	0	1522,508	15,225	0,577	1,000
13/06/18 11:05:57,0	0,5	1539,075	15,391	0,411	0,713
13/06/18 11:05:57,5	1	1543,392	15,434	0,368	0,638
13/06/18 11:05:58,0	1,5	1545,958	15,460	0,342	0,594
13/06/18 11:05:58,5	2	1548,642	15,486	0,316	0,547
13/06/18 11:05:59,0	2,5	1550,800	15,508	0,294	0,510
13/06/18 11:05:59,5	3	1552,958	15,530	0,272	0,472
13/06/18 11:06:00,0	3,5	1555,117	15,551	0,251	0,435
13/06/18 11:06:00,5	4	1556,750	15,568	0,234	0,406
13/06/18 11:06:01,0	4,5	1558,150	15,582	0,220	0,382
13/06/18 11:06:01,5	5	1559,958	15,600	0,202	0,351
13/06/18 11:06:02,0	5,5	1561,417	15,614	0,188	0,326
13/06/18 11:06:02,5	6	1562,700	15,627	0,175	0,303
13/06/18 11:06:03,0	6,5	1563,925	15,639	0,163	0,282
13/06/18 11:06:03,5	7	1565,033	15,650	0,152	0,263
13/06/18 11:06:04,0	7,5	1566,083	15,661	0,141	0,245
13/06/18 11:06:04,5	8	1567,192	15,672	0,130	0,225
13/06/18 11:06:05,0	8,5	1567,892	15,679	0,123	0,213
13/06/18 11:06:05,5	9	1568,825	15,688	0,114	0,197
13/06/18 11:06:06,0	9,5	1569,700	15,697	0,105	0,182
13/06/18 11:06:06,5	10	1570,458	15,705	0,097	0,169
13/06/18 11:06:07,0	10,5	1571,042	15,710	0,092	0,159
13/06/18 11:06:07,5	11	1571,742	15,717	0,085	0,147
13/06/18 11:06:08,0	11,5	1572,442	15,724	0,078	0,134

13/06/18 11:06:08,5	12	1573,025	15,730	0,072	0,124
13/06/18 11:06:09,0	12,5	1573,375	15,734	0,068	0,118
13/06/18 11:06:09,5	13	1573,725	15,737	0,065	0,112
13/06/18 11:06:10,0	13,5	1574,250	15,743	0,059	0,103
13/06/18 11:06:10,5	14	1574,600	15,746	0,056	0,097
13/06/18 11:06:11,0	14,5	1575,008	15,750	0,052	0,090
13/06/18 11:06:11,5	15	1575,358	15,754	0,048	0,084
13/06/18 11:06:12,0	15,5	1575,650	15,757	0,045	0,079
13/06/18 11:06:12,5	16	1576,000	15,760	0,042	0,073
13/06/18 11:06:13,0	16,5	1576,175	15,762	0,040	0,070
13/06/18 11:06:13,5	17	1576,350	15,764	0,039	0,067
13/06/18 11:06:14,0	17,5	1576,525	15,765	0,037	0,064
13/06/18 11:06:14,5	18	1576,700	15,767	0,035	0,061
13/06/18 11:06:15,0	18,5	1577,108	15,771	0,031	0,054
13/06/18 11:06:15,5	19	1577,283	15,773	0,029	0,051
13/06/18 11:06:16,0	19,5	1577,633	15,776	0,026	0,044
13/06/18 11:06:16,5	20	1577,633	15,776	0,026	0,044
13/06/18 11:06:17,0	20,5	1577,808	15,778	0,024	0,041
13/06/18 11:06:17,5	21	1577,983	15,780	0,022	0,038
13/06/18 11:06:18,0	21,5	1578,158	15,782	0,020	0,035
13/06/18 11:06:18,5	22	1578,158	15,782	0,020	0,035
13/06/18 11:06:19,0	22,5	1578,333	15,783	0,019	0,032
13/06/18 11:06:19,5	23	1578,508	15,785	0,017	0,029
13/06/18 11:06:20,0	23,5	1578,508	15,785	0,017	0,029
13/06/18 11:06:20,5	24	1578,683	15,787	0,015	0,026
13/06/18 11:06:21,0	24,5	1578,683	15,787	0,015	0,026
13/06/18 11:06:21,5	25	1578,858	15,789	0,013	0,023
13/06/18 11:06:22,0	25,5	1578,858	15,789	0,013	0,023
13/06/18 11:06:22,5	26	1579,033	15,790	0,012	0,020
13/06/18 11:06:23,0	26,5	1579,033	15,790	0,012	0,020
13/06/18 11:06:23,5	27	1579,267	15,793	0,009	0,016
13/06/18 11:06:24,0	27,5	1579,267	15,793	0,009	0,016
13/06/18 11:06:24,5	28	1579,442	15,794	0,008	0,013
13/06/18 11:06:25,0	28,5	1579,442	15,794	0,008	0,013
13/06/18 11:06:25,5	29	1579,442	15,794	0,008	0,013
13/06/18 11:06:26,0	29,5	1579,442	15,794	0,008	0,013
13/06/18 11:06:26,5	30	1579,442	15,794	0,008	0,013
13/06/18 11:06:27,0	30,5	1579,617	15,796	0,006	0,010
13/06/18 11:06:27,5	31	1579,617	15,796	0,006	0,010
13/06/18 11:06:28,0	31,5	1579,792	15,798	0,004	0,007
13/06/18 11:06:29,0	32	1579,792	15,798	0,004	0,007
Deslocamento (Ho) (m)			0,577		

Fonte: O autor (2018).

Tabela 15 – Dados do segundo ensaio realizado no PZ3 utilizando a metodologia *Bail Test*.

Data e Hora	NA estático medido antes do ensaio	1580,842 cmH ₂ O	15,808 mH ₂ O	Ht (m)	Ht/Ho
	Tempo (s)	Pressão Diver (cmH ₂ O)	Pressão Diver (mH ₂ O)		
13/06/18 11:09:40,5	0	1525,775	15,258	0,551	1,000
13/06/18 11:09:41,0	0,5	1540,358	15,404	0,405	0,735
13/06/18 11:09:41,5	1	1552,608	15,526	0,282	0,513
13/06/18 11:09:42,0	1,5	1558,558	15,586	0,223	0,405
13/06/18 11:09:42,5	2	1559,958	15,600	0,209	0,379
13/06/18 11:09:43,0	2,5	1561,417	15,614	0,194	0,353
13/06/18 11:09:43,5	3	1562,875	15,629	0,180	0,326
13/06/18 11:09:44,0	3,5	1563,925	15,639	0,169	0,307
13/06/18 11:09:44,5	4	1565,208	15,652	0,156	0,284
13/06/18 11:09:45,0	4,5	1566,433	15,664	0,144	0,262
13/06/18 11:09:45,5	5	1567,367	15,674	0,135	0,245
13/06/18 11:09:46,0	5,5	1568,242	15,682	0,126	0,229
13/06/18 11:09:46,5	6	1569,175	15,692	0,117	0,212
13/06/18 11:09:47,0	6,5	1569,875	15,699	0,110	0,199
13/06/18 11:09:47,5	7	1570,575	15,706	0,103	0,186
13/06/18 11:09:48,0	7,5	1571,333	15,713	0,095	0,173
13/06/18 11:09:48,5	8	1572,033	15,720	0,088	0,160
13/06/18 11:09:49,0	8,5	1572,558	15,726	0,083	0,150
13/06/18 11:09:49,5	9	1573,142	15,731	0,077	0,140
13/06/18 11:09:50,0	9,5	1573,492	15,735	0,074	0,133
13/06/18 11:09:50,5	10	1574,192	15,742	0,067	0,121
13/06/18 11:09:51,0	10,5	1574,367	15,744	0,065	0,118
13/06/18 11:09:51,5	11	1574,892	15,749	0,060	0,108
13/06/18 11:09:52,0	11,5	1575,300	15,753	0,055	0,101
13/06/18 11:09:52,5	12	1575,650	15,757	0,052	0,094
13/06/18 11:09:53,0	12,5	1576,000	15,760	0,048	0,088
13/06/18 11:09:53,5	13	1576,350	15,764	0,045	0,082
13/06/18 11:09:54,0	13,5	1576,525	15,765	0,043	0,078
13/06/18 11:09:54,5	14	1576,700	15,767	0,041	0,075
13/06/18 11:09:55,0	14,5	1576,875	15,769	0,040	0,072
13/06/18 11:09:55,5	15	1577,283	15,773	0,036	0,065
13/06/18 11:09:56,0	15,5	1577,458	15,775	0,034	0,061
13/06/18 11:09:56,5	16	1577,633	15,776	0,032	0,058
13/06/18 11:09:57,0	16,5	1577,808	15,778	0,030	0,055
13/06/18 11:09:57,5	17	1577,983	15,780	0,029	0,052
13/06/18 11:09:58,0	17,5	1578,158	15,782	0,027	0,049
13/06/18 11:09:58,5	18	1577,867	15,779	0,030	0,054
13/06/18 11:09:59,0	18,5	1578,158	15,782	0,027	0,049
13/06/18 11:09:59,5	19	1578,333	15,783	0,025	0,046

13/06/18 11:10:00,0	19,5	1578,392	15,784	0,025	0,044
13/06/18 11:10:00,5	20	1578,567	15,786	0,023	0,041
13/06/18 11:10:01,0	20,5	1578,567	15,786	0,023	0,041
13/06/18 11:10:01,5	21	1578,742	15,787	0,021	0,038
13/06/18 11:10:02,0	21,5	1578,742	15,787	0,021	0,038
13/06/18 11:10:02,5	22	1578,742	15,787	0,021	0,038
13/06/18 11:10:03,0	22,5	1579,150	15,792	0,017	0,031
13/06/18 11:10:03,5	23	1579,150	15,792	0,017	0,031
13/06/18 11:10:04,0	23,5	1579,325	15,793	0,015	0,028
13/06/18 11:10:04,5	24	1579,325	15,793	0,015	0,028
13/06/18 11:10:05,0	24,5	1579,325	15,793	0,015	0,028
13/06/18 11:10:05,5	25	1579,325	15,793	0,015	0,028
13/06/18 11:10:06,0	25,5	1579,617	15,796	0,012	0,022
13/06/18 11:10:06,5	26	1579,500	15,795	0,013	0,024
13/06/18 11:10:07,0	26,5	1579,792	15,798	0,011	0,019
13/06/18 11:10:07,5	27	1579,792	15,798	0,011	0,019
13/06/18 11:10:08,0	27,5	1579,675	15,797	0,012	0,021
13/06/18 11:10:08,5	28	1579,967	15,800	0,009	0,016
13/06/18 11:10:09,0	28,5	1579,967	15,800	0,009	0,016
13/06/18 11:10:09,5	29	1579,967	15,800	0,009	0,016
13/06/18 11:10:10,0	29,5	1580,142	15,801	0,007	0,013
13/06/18 11:10:10,5	30	1580,142	15,801	0,007	0,013
13/06/18 11:10:11,0	30,5	1580,142	15,801	0,007	0,013
13/06/18 11:10:11,5	31	1580,142	15,801	0,007	0,013
13/06/18 11:10:12,0	31,5	1580,142	15,801	0,007	0,013
		Deslocamento (Ho) (m)	0,551		

Fonte: O autor (2018).

Tabela 16 – Dados do quarto ensaio realizado no PZ3 utilizando a metodologia *Bail Test*.

Data e Hora	NA estático medido antes do ensaio	1580,842 cmH ₂ O	15,808 mH ₂ O	Ht (m)	Ht/Ho
	Tempo (s)	Pressão Diver (cmH ₂ O)	Pressão Diver (mH ₂ O)		
13/06/18 11:17:53,5	0,0	1527,000	15,270	0,538	1,000
13/06/18 11:17:54,0	0,50	1532,075	15,321	0,488	0,906
13/06/18 11:17:54,5	1,00	1535,108	15,351	0,457	0,849
13/06/18 11:17:55,0	1,50	1538,375	15,384	0,425	0,789
13/06/18 11:17:55,5	2,00	1540,708	15,407	0,401	0,745
13/06/18 11:17:56,0	2,50	1543,217	15,432	0,376	0,699
13/06/18 11:17:56,5	3,00	1546,308	15,463	0,345	0,641
13/06/18 11:17:57,0	3,50	1550,275	15,503	0,306	0,568
13/06/18 11:17:57,5	4,00	1552,783	15,528	0,281	0,521
13/06/18 11:17:58,0	4,50	1554,767	15,548	0,261	0,484
13/06/18 11:17:58,5	5,00	1556,750	15,568	0,241	0,447

13/06/18 11:17:59,0	5,50	1558,383	15,584	0,225	0,417
13/06/18 11:17:59,5	6,00	1560,133	15,601	0,207	0,385
13/06/18 11:18:00,0	6,50	1561,592	15,616	0,193	0,358
13/06/18 11:18:00,5	7,00	1563,050	15,631	0,178	0,330
13/06/18 11:18:01,0	7,50	1564,275	15,643	0,166	0,308
13/06/18 11:18:01,5	8,00	1565,383	15,654	0,155	0,287
13/06/18 11:18:02,0	8,50	1566,433	15,664	0,144	0,268
13/06/18 11:18:02,5	9,00	1567,542	15,675	0,133	0,247
13/06/18 11:18:03,0	9,50	1568,417	15,684	0,124	0,231
13/06/18 11:18:03,5	10,00	1569,350	15,694	0,115	0,213
13/06/18 11:18:04,0	10,50	1570,225	15,702	0,106	0,197
13/06/18 11:18:04,5	11,00	1570,983	15,710	0,099	0,183
13/06/18 11:18:05,0	11,50	1571,683	15,717	0,092	0,170
13/06/18 11:18:05,5	12,00	1572,208	15,722	0,086	0,160
13/06/18 11:18:06,0	12,50	1572,967	15,730	0,079	0,146
13/06/18 11:18:06,5	13,00	1573,492	15,735	0,074	0,137
13/06/18 11:18:07,0	13,50	1574,017	15,740	0,068	0,127
13/06/18 11:18:07,5	14,00	1574,367	15,744	0,065	0,120
13/06/18 11:18:08,0	14,50	1574,892	15,749	0,060	0,111
13/06/18 11:18:08,5	15,00	1575,300	15,753	0,055	0,103
13/06/18 11:18:09,0	15,50	1575,650	15,757	0,052	0,096
13/06/18 11:18:09,5	16,00	1576,175	15,762	0,047	0,087
13/06/18 11:18:10,0	16,50	1576,350	15,764	0,045	0,083
13/06/18 11:18:10,5	17,00	1576,700	15,767	0,041	0,077
13/06/18 11:18:11,0	17,50	1576,875	15,769	0,040	0,074
13/06/18 11:18:11,5	18,00	1577,108	15,771	0,037	0,069
13/06/18 11:18:12,0	18,50	1577,283	15,773	0,036	0,066
13/06/18 11:18:12,5	19,00	1577,633	15,776	0,032	0,060
13/06/18 11:18:13,0	19,50	1577,808	15,778	0,030	0,056
13/06/18 11:18:13,5	20,00	1577,983	15,780	0,029	0,053
13/06/18 11:18:14,0	20,50	1578,158	15,782	0,027	0,050
13/06/18 11:18:14,5	21,00	1578,333	15,783	0,025	0,047
13/06/18 11:18:15,0	21,50	1578,508	15,785	0,023	0,043
13/06/18 11:18:15,5	22,00	1578,508	15,785	0,023	0,043
13/06/18 11:18:16,0	22,50	1578,683	15,787	0,022	0,040
13/06/18 11:18:16,5	23,00	1578,858	15,789	0,020	0,037
13/06/18 11:18:17,0	23,50	1578,858	15,789	0,020	0,037
13/06/18 11:18:17,5	24,00	1579,033	15,790	0,018	0,034
13/06/18 11:18:18,0	24,50	1579,033	15,790	0,018	0,034
13/06/18 11:18:18,5	25,00	1579,267	15,793	0,016	0,029
13/06/18 11:18:19,0	25,50	1579,267	15,793	0,016	0,029
13/06/18 11:18:19,5	26,00	1579,267	15,793	0,016	0,029
13/06/18 11:18:20,0	26,50	1579,442	15,794	0,014	0,026
13/06/18 11:18:20,5	27,00	1579,617	15,796	0,012	0,023
13/06/18 11:18:21,0	27,50	1579,617	15,796	0,012	0,023

13/06/18 11:18:21,5	28,00	1579,792	15,798	0,011	0,020
13/06/18 11:18:22,0	28,50	1579,792	15,798	0,011	0,020
13/06/18 11:18:22,5	29,00	1579,967	15,800	0,009	0,016
13/06/18 11:18:23,0	29,50	1580,142	15,801	0,007	0,013
13/06/18 11:18:23,5	30,00	1580,142	15,801	0,007	0,013
13/06/18 11:18:24,0	30,50	1580,142	15,801	0,007	0,013
13/06/18 11:18:24,5	31,00	1580,142	15,801	0,007	0,013
13/06/18 11:18:25,0	31,50	1580,317	15,803	0,005	0,010
13/06/18 11:18:25,5	32,00	1580,317	15,803	0,005	0,010
13/06/18 11:18:26,0	32,50	1580,317	15,803	0,005	0,010
13/06/18 11:18:26,5	33,00	1580,550	15,806	0,003	0,005
13/06/18 11:18:27,0	33,50	1580,492	15,805	0,004	0,007
13/06/18 11:18:27,5	34,00	1580,492	15,805	0,004	0,007
13/06/18 11:18:28,0	34,50	1580,492	15,805	0,004	0,007
13/06/18 11:18:28,5	35,00	1580,492	15,805	0,004	0,007
13/06/18 11:18:29,0	35,50	1580,492	15,805	0,004	0,007
13/06/18 11:18:29,5	36,00	1580,492	15,805	0,004	0,007
13/06/18 11:18:30,0	36,50	1580,492	15,805	0,004	0,007
13/06/18 11:18:30,5	37,00	1580,667	15,807	0,002	0,003
13/06/18 11:18:31,0	37,50	1580,667	15,807	0,002	0,003
13/06/18 11:18:31,5	38,00	1580,667	15,807	0,002	0,003
13/06/18 11:18:32,0	38,50	1580,667	15,807	0,002	0,003
13/06/18 11:18:32,5	39,00	1580,667	15,807	0,002	0,003
13/06/18 11:18:33,0	39,50	1580,842	15,808	0,000	0,000
		Deslocamento (Ho) (S) (m)	0,538		

Fonte: O autor (2018).

Tabela 17 – Dados do primeiro ensaio realizado no PZ4 utilizando a metodologia *Bail Test*.

Data e Hora	NA estático medido antes do ensaio	1211,825 cmH ₂ O	12,118 mH ₂ O	Ht (m)	Ht/Ho
	Tempo (t)	Pressão Diver (cmH ₂ O)	Pressão Diver (mH ₂ O)		
13/06/18 13:35:01,5	0,0	1150,458	11,505	0,614	1,000
13/06/18 13:35:02,0	0,5	1151,508	11,515	0,603	0,983
13/06/18 13:35:02,5	1,0	1153,433	11,534	0,584	0,952
13/06/18 13:35:03,0	1,5	1154,308	11,543	0,575	0,937
13/06/18 13:35:03,5	2,0	1155,708	11,557	0,561	0,914
13/06/18 13:35:04,0	2,5	1157,108	11,571	0,547	0,892
13/06/18 13:35:04,5	3,0	1158,333	11,583	0,535	0,872
13/06/18 13:35:05,0	3,5	1159,033	11,590	0,528	0,860
13/06/18 13:35:05,5	4,0	1160,783	11,608	0,510	0,832
13/06/18 13:35:06,0	4,5	1162,008	11,620	0,498	0,812
13/06/18 13:35:06,5	5,0	1163,467	11,635	0,484	0,788
13/06/18 13:35:07,0	5,5	1164,342	11,643	0,475	0,774

13/06/18 13:35:07,5	6,0	1165,567	11,656	0,463	0,754
13/06/18 13:35:08,0	6,5	1166,558	11,666	0,453	0,738
13/06/18 13:35:08,5	7,0	1167,783	11,678	0,440	0,718
13/06/18 13:35:09,0	7,5	1168,658	11,687	0,432	0,703
13/06/18 13:35:09,5	8,0	1169,767	11,698	0,421	0,685
13/06/18 13:35:10,0	8,5	1170,992	11,710	0,408	0,665
13/06/18 13:35:10,5	9,0	1171,867	11,719	0,400	0,651
13/06/18 13:35:11,0	9,5	1172,917	11,729	0,389	0,634
13/06/18 13:35:11,5	10,0	1173,792	11,738	0,380	0,620
13/06/18 13:35:12,0	10,5	1174,842	11,748	0,370	0,603
13/06/18 13:35:12,5	11,0	1175,717	11,757	0,361	0,588
13/06/18 13:35:13,0	11,5	1176,767	11,768	0,351	0,571
13/06/18 13:35:13,5	12,0	1177,642	11,776	0,342	0,557
13/06/18 13:35:14,0	12,5	1178,692	11,787	0,331	0,540
13/06/18 13:35:14,5	13,0	1179,567	11,796	0,323	0,526
13/06/18 13:35:15,0	13,5	1180,442	11,804	0,314	0,511
13/06/18 13:35:15,5	14,0	1181,142	11,811	0,307	0,500
13/06/18 13:35:16,0	14,5	1182,192	11,822	0,296	0,483
13/06/18 13:35:16,5	15,0	1182,950	11,830	0,289	0,471
13/06/18 13:35:17,0	15,5	1183,650	11,837	0,282	0,459
13/06/18 13:35:17,5	16,0	1184,525	11,845	0,273	0,445
13/06/18 13:35:18,0	16,5	1185,225	11,852	0,266	0,433
13/06/18 13:35:18,5	17,0	1186,042	11,860	0,258	0,420
13/06/18 13:35:19,0	17,5	1187,092	11,871	0,247	0,403
13/06/18 13:35:19,5	18,0	1187,850	11,879	0,240	0,391
13/06/18 13:35:20,0	18,5	1188,550	11,886	0,233	0,379
13/06/18 13:35:20,5	19,0	1189,250	11,893	0,226	0,368
13/06/18 13:35:21,0	19,5	1189,950	11,900	0,219	0,356
13/06/18 13:35:21,5	20,0	1190,650	11,907	0,212	0,345
13/06/18 13:35:22,0	20,5	1191,350	11,914	0,205	0,334
13/06/18 13:35:22,5	21,0	1192,050	11,921	0,198	0,322
13/06/18 13:35:23,0	21,5	1192,750	11,928	0,191	0,311
13/06/18 13:35:23,5	22,0	1193,450	11,935	0,184	0,299
13/06/18 13:35:24,0	22,5	1193,975	11,940	0,179	0,291
13/06/18 13:35:24,5	23,0	1194,675	11,947	0,172	0,279
13/06/18 13:35:25,0	23,5	1195,375	11,954	0,165	0,268
13/06/18 13:35:25,5	24,0	1195,900	11,959	0,159	0,260
13/06/18 13:35:26,0	24,5	1196,425	11,964	0,154	0,251
13/06/18 13:35:26,5	25,0	1196,950	11,970	0,149	0,242
13/06/18 13:35:27,0	25,5	1197,650	11,977	0,142	0,231
13/06/18 13:35:27,5	26,0	1198,175	11,982	0,137	0,222
13/06/18 13:35:28,0	26,5	1198,700	11,987	0,131	0,214
13/06/18 13:35:28,5	27,0	1199,225	11,992	0,126	0,205
13/06/18 13:35:29,0	27,5	1199,750	11,998	0,121	0,197
13/06/18 13:35:29,5	28,0	1200,275	12,003	0,115	0,188

13/06/18 13:35:30,0	28,5	1200,800	12,008	0,110	0,180
13/06/18 13:35:30,5	29,0	1201,150	12,012	0,107	0,174
13/06/18 13:35:31,0	29,5	1201,675	12,017	0,102	0,165
13/06/18 13:35:31,5	30,0	1202,025	12,020	0,098	0,160
13/06/18 13:35:32,0	30,5	1202,375	12,024	0,095	0,154
13/06/18 13:35:32,5	31,0	1202,900	12,029	0,089	0,145
13/06/18 13:35:33,0	31,5	1203,425	12,034	0,084	0,137
13/06/18 13:35:33,5	32,0	1203,775	12,038	0,080	0,131
13/06/18 13:35:34,0	32,5	1204,125	12,041	0,077	0,125
13/06/18 13:35:34,5	33,0	1204,475	12,045	0,074	0,120
13/06/18 13:35:35,0	33,5	1204,825	12,048	0,070	0,114
13/06/18 13:35:35,5	34,0	1205,175	12,052	0,066	0,108
13/06/18 13:35:36,0	34,5	1205,350	12,054	0,065	0,106
13/06/18 13:35:36,5	35,0	1205,700	12,057	0,061	0,100
13/06/18 13:35:37,0	35,5	1206,050	12,061	0,058	0,094
13/06/18 13:35:37,5	36,0	1206,400	12,064	0,054	0,088
13/06/18 13:35:38,0	36,5	1206,575	12,066	0,052	0,086
13/06/18 13:35:38,5	37,0	1206,925	12,069	0,049	0,080
13/06/18 13:35:39,0	37,5	1207,100	12,071	0,047	0,077
13/06/18 13:35:39,5	38,0	1207,450	12,075	0,044	0,071
13/06/18 13:35:40,0	38,5	1207,625	12,076	0,042	0,068
13/06/18 13:35:40,5	39,0	1207,800	12,078	0,040	0,066
13/06/18 13:35:41,0	39,5	1208,150	12,082	0,037	0,060
13/06/18 13:35:41,5	40,0	1208,325	12,083	0,035	0,057
13/06/18 13:35:42,0	40,5	1208,325	12,083	0,035	0,057
13/06/18 13:35:42,5	41,0	1208,675	12,087	0,031	0,051
13/06/18 13:35:43,0	41,5	1208,675	12,087	0,031	0,051
13/06/18 13:35:43,5	42,0	1209,025	12,090	0,028	0,046
13/06/18 13:35:44,0	42,5	1209,025	12,090	0,028	0,046
13/06/18 13:35:44,5	43,0	1209,142	12,091	0,027	0,044
13/06/18 13:35:45,0	43,5	1209,317	12,093	0,025	0,041
13/06/18 13:35:45,5	44,0	1209,492	12,095	0,023	0,038
13/06/18 13:35:46,0	44,5	1209,667	12,097	0,022	0,035
13/06/18 13:35:46,5	45,0	1209,667	12,097	0,022	0,035
13/06/18 13:35:47,0	45,5	1209,900	12,099	0,019	0,031
13/06/18 13:35:47,5	46,0	1210,075	12,101	0,017	0,029
13/06/18 13:35:48,0	46,5	1210,075	12,101	0,017	0,029
13/06/18 13:35:48,5	47,0	1210,250	12,103	0,016	0,026
Deslocamento (S) (m)			0,614		

Fonte: O autor (2018).

Tabela 18 – Dados do segundo ensaio realizado no PZ4 utilizando a metodologia *Bail Test*.

Data e Hora	NA estático medido antes do ensaio	1212,000 cmH ₂ O	12,120 mH ₂ O	Ht (m)	Ht/Ho
	Tempo (t)	Pressão Diver (cmH ₂ O)	Pressão Diver (mH ₂ O)		
13/06/18 13:36:49,5	0,0	1151,333	11,513	0,607	1,000
13/06/18 13:36:50,0	0,5	1152,792	11,528	0,592	0,976
13/06/18 13:36:50,5	1,0	1154,367	11,544	0,576	0,950
13/06/18 13:36:51,0	1,5	1155,942	11,559	0,561	0,924
13/06/18 13:36:51,5	2,0	1157,458	11,575	0,545	0,899
13/06/18 13:36:52,0	2,5	1158,683	11,587	0,533	0,879
13/06/18 13:36:52,5	3,0	1160,083	11,601	0,519	0,856
13/06/18 13:36:53,0	3,5	1161,483	11,615	0,505	0,833
13/06/18 13:36:53,5	4,0	1162,883	11,629	0,491	0,810
13/06/18 13:36:54,0	4,5	1164,108	11,641	0,479	0,789
13/06/18 13:36:54,5	5,0	1165,158	11,652	0,468	0,772
13/06/18 13:36:55,0	5,5	1166,733	11,667	0,453	0,746
13/06/18 13:36:55,5	6,0	1167,958	11,680	0,440	0,726
13/06/18 13:36:56,0	6,5	1169,067	11,691	0,429	0,708
13/06/18 13:36:56,5	7,0	1170,233	11,702	0,418	0,688
13/06/18 13:36:57,0	7,5	1171,517	11,715	0,405	0,667
13/06/18 13:36:57,5	8,0	1172,567	11,726	0,394	0,650
13/06/18 13:36:58,0	8,5	1173,617	11,736	0,384	0,633
13/06/18 13:36:58,5	9,0	1174,667	11,747	0,373	0,615
13/06/18 13:36:59,0	9,5	1175,717	11,757	0,363	0,598
13/06/18 13:36:59,5	10,0	1176,767	11,768	0,352	0,581
13/06/18 13:37:00,0	10,5	1177,817	11,778	0,342	0,563
13/06/18 13:37:00,5	11,0	1178,867	11,789	0,331	0,546
13/06/18 13:37:01,0	11,5	1179,742	11,797	0,323	0,532
13/06/18 13:37:01,5	12,0	1180,792	11,808	0,312	0,514
13/06/18 13:37:02,0	12,5	1181,842	11,818	0,302	0,497
13/06/18 13:37:02,5	13,0	1182,717	11,827	0,293	0,483
13/06/18 13:37:03,0	13,5	1183,592	11,836	0,284	0,468
13/06/18 13:37:03,5	14,0	1184,467	11,845	0,275	0,454
13/06/18 13:37:04,0	14,5	1185,342	11,853	0,267	0,439
13/06/18 13:37:04,5	15,0	1186,217	11,862	0,258	0,425
13/06/18 13:37:05,0	15,5	1187,092	11,871	0,249	0,411
13/06/18 13:37:05,5	16,0	1187,967	11,880	0,240	0,396
13/06/18 13:37:06,0	16,5	1188,842	11,888	0,232	0,382
13/06/18 13:37:06,5	17,0	1189,542	11,895	0,225	0,370
13/06/18 13:37:07,0	17,5	1190,417	11,904	0,216	0,356
13/06/18 13:37:07,5	18,0	1191,117	11,911	0,209	0,344

13/06/18 13:37:08,0	18,5	1191,875	11,919	0,201	0,332
13/06/18 13:37:08,5	19,0	1192,692	11,927	0,193	0,318
13/06/18 13:37:09,0	19,5	1193,275	11,933	0,187	0,309
13/06/18 13:37:09,5	20,0	1193,975	11,940	0,180	0,297
13/06/18 13:37:10,0	20,5	1194,675	11,947	0,173	0,286
13/06/18 13:37:10,5	21,0	1195,375	11,954	0,166	0,274
13/06/18 13:37:11,0	21,5	1196,075	11,961	0,159	0,262
13/06/18 13:37:11,5	22,0	1196,775	11,968	0,152	0,251
13/06/18 13:37:12,0	22,5	1197,475	11,975	0,145	0,239
13/06/18 13:37:12,5	23,0	1198,000	11,980	0,140	0,231
13/06/18 13:37:13,0	23,5	1198,525	11,985	0,135	0,222
13/06/18 13:37:13,5	24,0	1199,225	11,992	0,128	0,211
13/06/18 13:37:14,0	24,5	1199,750	11,998	0,122	0,202
13/06/18 13:37:14,5	25,0	1200,275	12,003	0,117	0,193
13/06/18 13:37:15,0	25,5	1200,800	12,008	0,112	0,185
13/06/18 13:37:15,5	26,0	1201,325	12,013	0,107	0,176
13/06/18 13:37:16,0	26,5	1201,617	12,016	0,104	0,171
13/06/18 13:37:16,5	27,0	1202,142	12,021	0,099	0,162
13/06/18 13:37:17,0	27,5	1202,667	12,027	0,093	0,154
13/06/18 13:37:17,5	28,0	1203,192	12,032	0,088	0,145
13/06/18 13:37:18,0	28,5	1203,542	12,035	0,085	0,139
13/06/18 13:37:18,5	29,0	1204,067	12,041	0,079	0,131
13/06/18 13:37:19,0	29,5	1204,417	12,044	0,076	0,125
13/06/18 13:37:19,5	30,0	1204,767	12,048	0,072	0,119
13/06/18 13:37:20,0	30,5	1205,292	12,053	0,067	0,111
13/06/18 13:37:20,5	31,0	1205,642	12,056	0,064	0,105
13/06/18 13:37:21,0	31,5	1205,992	12,060	0,060	0,099
13/06/18 13:37:21,5	32,0	1206,342	12,063	0,057	0,093
13/06/18 13:37:22,0	32,5	1206,517	12,065	0,055	0,090
13/06/18 13:37:22,5	33,0	1206,867	12,069	0,051	0,085
13/06/18 13:37:23,0	33,5	1207,217	12,072	0,048	0,079
13/06/18 13:37:23,5	34,0	1207,392	12,074	0,046	0,076
13/06/18 13:37:24,0	34,5	1207,742	12,077	0,043	0,070
13/06/18 13:37:24,5	35,0	1207,858	12,079	0,041	0,068
13/06/18 13:37:25,0	35,5	1208,033	12,080	0,040	0,065
13/06/18 13:37:25,5	36,0	1208,208	12,082	0,038	0,062
13/06/18 13:37:26,0	36,5	1208,383	12,084	0,036	0,060
13/06/18 13:37:26,5	37,0	1208,733	12,087	0,033	0,054
13/06/18 13:37:27,0	37,5	1208,908	12,089	0,031	0,051
13/06/18 13:37:27,5	38,0	1209,083	12,091	0,029	0,048
13/06/18 13:37:28,0	38,5	1209,258	12,093	0,027	0,045
13/06/18 13:37:28,5	39,0	1209,433	12,094	0,026	0,042
13/06/18 13:37:29,0	39,5	1209,608	12,096	0,024	0,039
13/06/18 13:37:29,5	40,0	1209,783	12,098	0,022	0,037
13/06/18 13:37:30,0	40,5	1209,958	12,100	0,020	0,034

13/06/18 13:37:30,5	41,0	1210,133	12,101	0,019	0,031
13/06/18 13:37:31,0	41,5	1210,133	12,101	0,019	0,031
13/06/18 13:37:31,5	42,0	1210,250	12,103	0,017	0,029
13/06/18 13:37:32,0	42,5	1210,308	12,103	0,017	0,028
13/06/18 13:37:32,5	43,0	1210,483	12,105	0,015	0,025
13/06/18 13:37:33,0	43,5	1210,600	12,106	0,014	0,023
13/06/18 13:37:33,5	44,0	1210,600	12,106	0,014	0,023
13/06/18 13:37:34,0	44,5	1210,600	12,106	0,014	0,023
13/06/18 13:37:34,5	45,0	1210,600	12,106	0,014	0,023
13/06/18 13:37:35,0	45,5	1210,775	12,108	0,012	0,020
Deslocamento (S) (m)			0,607		

Fonte: O autor (2018).

Tabela 19 – Dados do quarto ensaio realizado no PZ4 utilizando a metodologia *Bail Test*.

Data e Hora	NA estático medido antes do ensaio	1212,875 cmH ₂ O	12,129 mH ₂ O	Ht (m)	Ht/Ho
	Tempo (s)	Pressão Diver (cmH ₂ O)	Pressão Diver (mH ₂ O)		
13/06/18 13:40:17,0	0,0	1151,158	11,512	0,617	1,000
13/06/18 13:40:17,5	0,5	1153,258	11,533	0,596	0,966
13/06/18 13:40:18,0	1,0	1155,008	11,550	0,579	0,938
13/06/18 13:40:18,5	1,5	1156,583	11,566	0,563	0,912
13/06/18 13:40:19,0	2,0	1158,158	11,582	0,547	0,887
13/06/18 13:40:19,5	2,5	1159,792	11,598	0,531	0,860
13/06/18 13:40:20,0	3,0	1161,542	11,615	0,513	0,832
13/06/18 13:40:20,5	3,5	1162,767	11,628	0,501	0,812
13/06/18 13:40:21,0	4,0	1164,342	11,643	0,485	0,786
13/06/18 13:40:21,5	4,5	1165,567	11,656	0,473	0,767
13/06/18 13:40:22,0	5,0	1167,142	11,671	0,457	0,741
13/06/18 13:40:22,5	5,5	1168,542	11,685	0,443	0,718
13/06/18 13:40:23,0	6,0	1170,117	11,701	0,428	0,693
13/06/18 13:40:23,5	6,5	1171,342	11,713	0,415	0,673
13/06/18 13:40:24,0	7,0	1172,567	11,726	0,403	0,653
13/06/18 13:40:24,5	7,5	1173,967	11,740	0,389	0,630
13/06/18 13:40:25,0	8,0	1175,192	11,752	0,377	0,611
13/06/18 13:40:25,5	8,5	1176,417	11,764	0,365	0,591
13/06/18 13:40:26,0	9,0	1177,467	11,775	0,354	0,574
13/06/18 13:40:26,5	9,5	1178,692	11,787	0,342	0,554
13/06/18 13:40:27,0	10,0	1179,742	11,797	0,331	0,537
13/06/18 13:40:27,5	10,5	1180,967	11,810	0,319	0,517
13/06/18 13:40:28,0	11,0	1182,017	11,820	0,309	0,500
13/06/18 13:40:28,5	11,5	1183,067	11,831	0,298	0,483
13/06/18 13:40:29,0	12,0	1184,117	11,841	0,288	0,466
13/06/18 13:40:29,5	12,5	1185,167	11,852	0,277	0,449

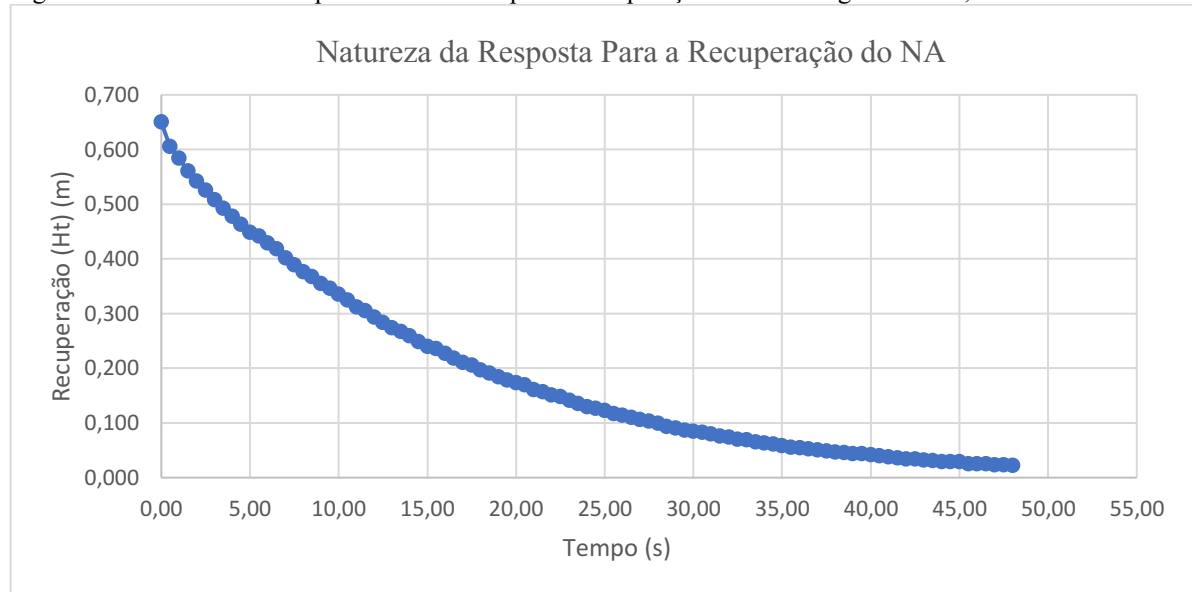
13/06/18 13:40:30,0	13,0	1186,217	11,862	0,267	0,432
13/06/18 13:40:30,5	13,5	1187,092	11,871	0,258	0,418
13/06/18 13:40:31,0	14,0	1188,200	11,882	0,247	0,400
13/06/18 13:40:31,5	14,5	1189,075	11,891	0,238	0,386
13/06/18 13:40:32,0	15,0	1190,125	11,901	0,227	0,369
13/06/18 13:40:32,5	15,5	1191,000	11,910	0,219	0,354
13/06/18 13:40:33,0	16,0	1191,700	11,917	0,212	0,343
13/06/18 13:40:33,5	16,5	1192,750	11,928	0,201	0,326
13/06/18 13:40:34,0	17,0	1193,450	11,935	0,194	0,315
13/06/18 13:40:34,5	17,5	1194,325	11,943	0,185	0,301
13/06/18 13:40:35,0	18,0	1195,025	11,950	0,179	0,289
13/06/18 13:40:35,5	18,5	1195,900	11,959	0,170	0,275
13/06/18 13:40:36,0	19,0	1196,600	11,966	0,163	0,264
13/06/18 13:40:36,5	19,5	1197,475	11,975	0,154	0,250
13/06/18 13:40:37,0	20,0	1198,175	11,982	0,147	0,238
13/06/18 13:40:37,5	20,5	1198,875	11,989	0,140	0,227
13/06/18 13:40:38,0	21,0	1199,575	11,996	0,133	0,216
13/06/18 13:40:38,5	21,5	1200,100	12,001	0,128	0,207
13/06/18 13:40:39,0	22,0	1200,800	12,008	0,121	0,196
13/06/18 13:40:39,5	22,5	1201,500	12,015	0,114	0,184
13/06/18 13:40:40,0	23,0	1202,025	12,020	0,108	0,176
13/06/18 13:40:40,5	23,5	1202,550	12,026	0,103	0,167
13/06/18 13:40:41,0	24,0	1203,250	12,033	0,096	0,156
13/06/18 13:40:41,5	24,5	1203,775	12,038	0,091	0,147
13/06/18 13:40:42,0	25,0	1204,125	12,041	0,088	0,142
13/06/18 13:40:42,5	25,5	1204,650	12,047	0,082	0,133
13/06/18 13:40:43,0	26,0	1205,000	12,050	0,079	0,128
13/06/18 13:40:43,5	26,5	1205,525	12,055	0,073	0,119
13/06/18 13:40:44,0	27,0	1206,050	12,061	0,068	0,111
13/06/18 13:40:44,5	27,5	1206,400	12,064	0,065	0,105
13/06/18 13:40:45,0	28,0	1206,750	12,068	0,061	0,099
13/06/18 13:40:45,5	28,5	1207,100	12,071	0,058	0,094
13/06/18 13:40:46,0	29,0	1207,450	12,075	0,054	0,088
13/06/18 13:40:46,5	29,5	1207,975	12,080	0,049	0,079
13/06/18 13:40:47,0	30,0	1208,150	12,082	0,047	0,077
13/06/18 13:40:47,5	30,5	1208,500	12,085	0,044	0,071
13/06/18 13:40:48,0	31,0	1208,675	12,087	0,042	0,068
13/06/18 13:40:48,5	31,5	1209,025	12,090	0,038	0,062
13/06/18 13:40:49,0	32,0	1209,375	12,094	0,035	0,057
13/06/18 13:40:49,5	32,5	1209,550	12,096	0,033	0,054
13/06/18 13:40:50,0	33,0	1209,725	12,097	0,032	0,051
13/06/18 13:40:50,5	33,5	1209,725	12,097	0,032	0,051
13/06/18 13:40:51,0	34,0	1210,075	12,101	0,028	0,045
13/06/18 13:40:51,5	34,5	1210,425	12,104	0,024	0,040
13/06/18 13:40:52,0	35,0	1210,600	12,106	0,023	0,037

13/06/18 13:40:52,5	35,5	1211,300	12,113	0,016	0,026
13/06/18 13:40:53,0	36,0	1211,125	12,111	0,018	0,028
13/06/18 13:40:53,5	36,5	1211,125	12,111	0,018	0,028
13/06/18 13:40:54,0	37,0	1210,950	12,110	0,019	0,031
13/06/18 13:40:54,5	37,5	1211,300	12,113	0,016	0,026
13/06/18 13:40:55,0	38,0	1211,475	12,115	0,014	0,023
13/06/18 13:40:55,5	38,5	1211,475	12,115	0,014	0,023
13/06/18 13:40:56,0	39,0	1211,825	12,118	0,010	0,017
13/06/18 13:40:56,5	39,5	1211,650	12,117	0,012	0,020
13/06/18 13:40:57,0	40,0	1211,650	12,117	0,012	0,020
13/06/18 13:40:57,5	40,5	1211,825	12,118	0,010	0,017
13/06/18 13:40:58,0	41,0	1212,000	12,120	0,009	0,014
13/06/18 13:40:58,5	41,5	1212,175	12,122	0,007	0,011
Deslocamento (S) (m)			0,617		

Fonte: O autor (2018).

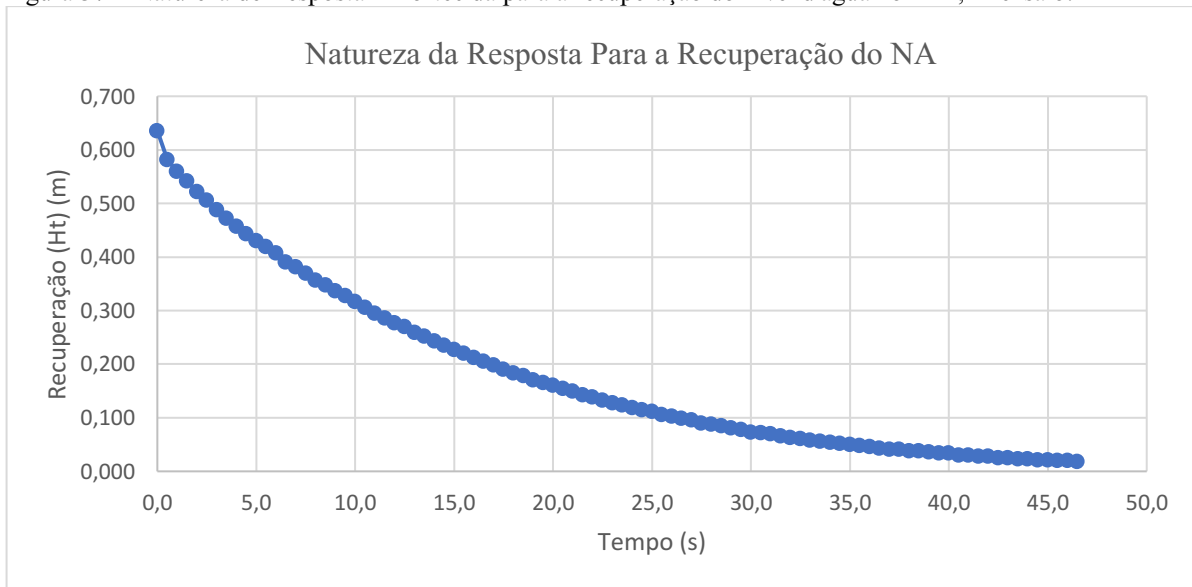
APÊNDICE B – GRÁFICOS REFERENTES A NATUREZA DA RECUPERAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA NOS PIEZÔMETROS

Figura 36 – Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ2, 3º ensaio.



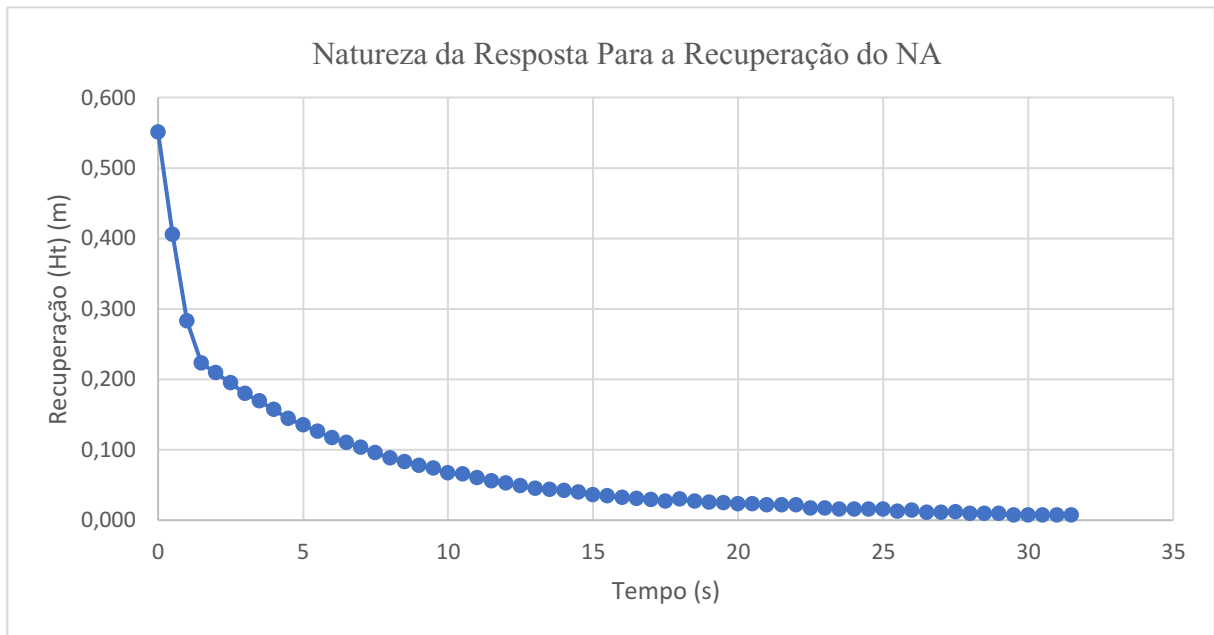
Fonte: O autor (2018).

Figura 37 – Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ2, 4º ensaio.



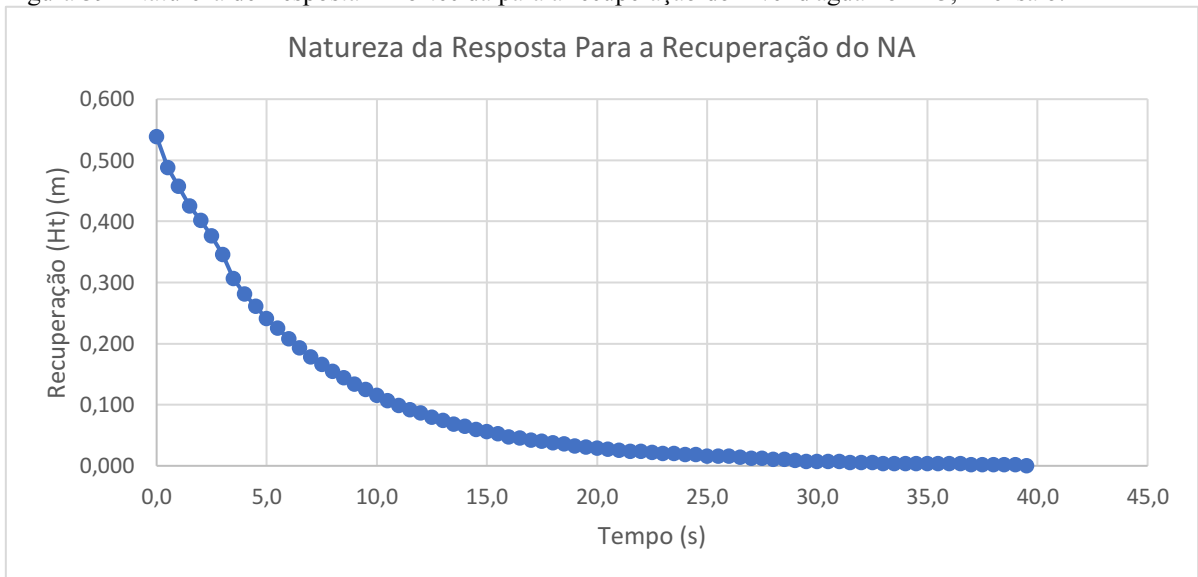
Fonte: O autor (2018).

Figura 38– Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ3, 2º ensaio.



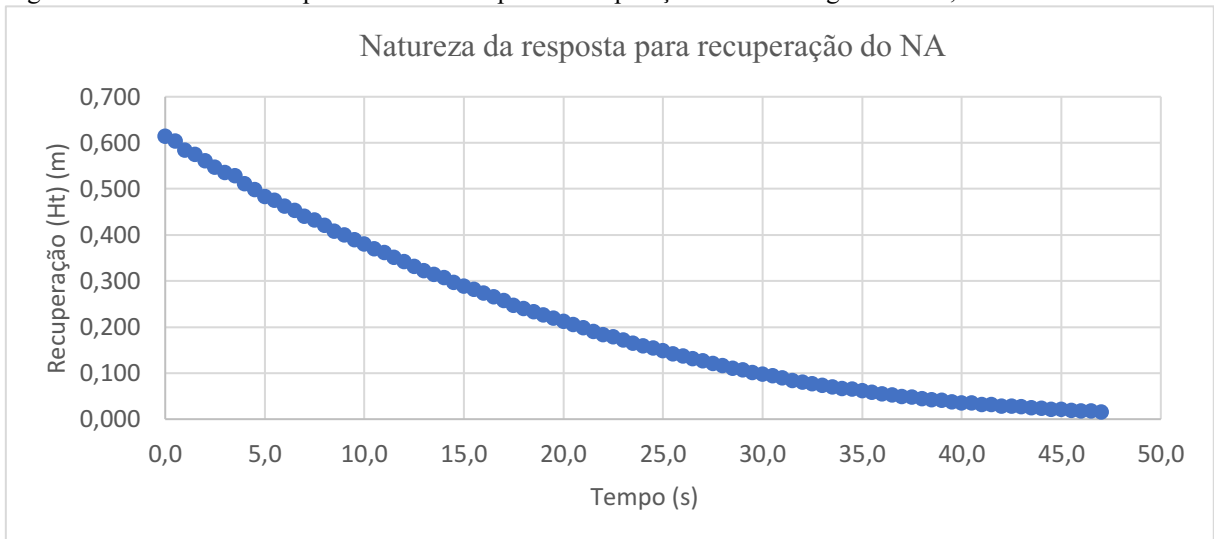
Fonte: O Autor (2018).

Figura 39– Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ3, 4º ensaio.



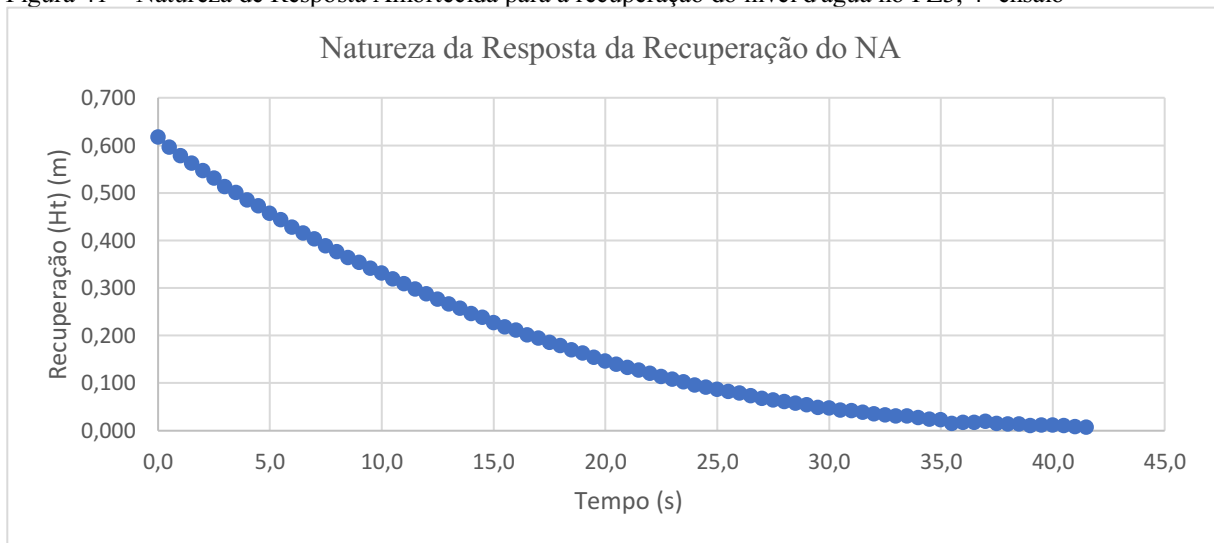
Fonte: O Autor (2018).

Figura 40– Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ4, 2º ensaio



Fonte: O Autor (2018).

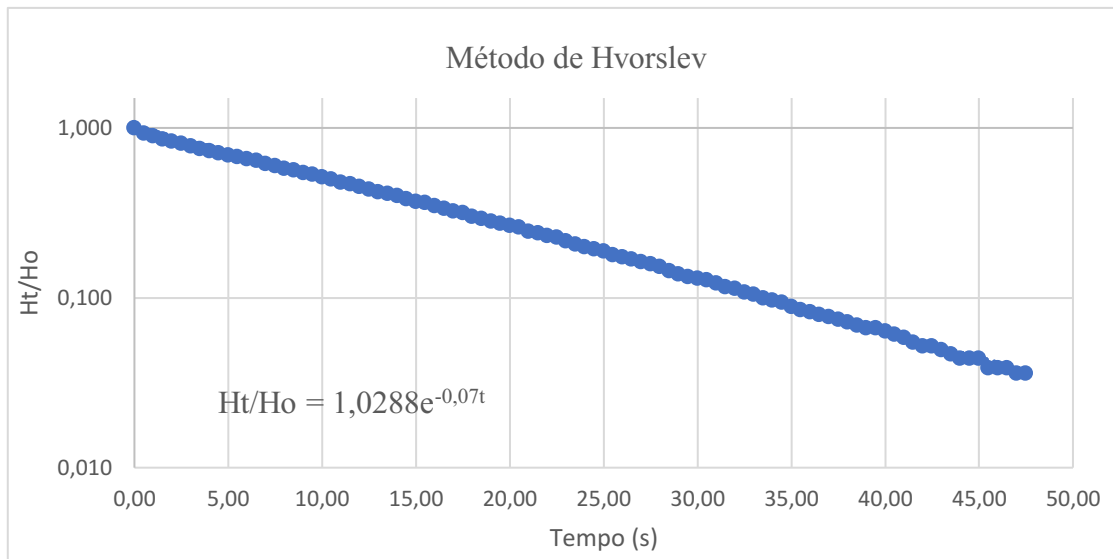
Figura 41 – Natureza de Resposta Amortecida para a recuperação do nível d'água no PZ3, 4º ensaio



Fonte: O Autor (2018).

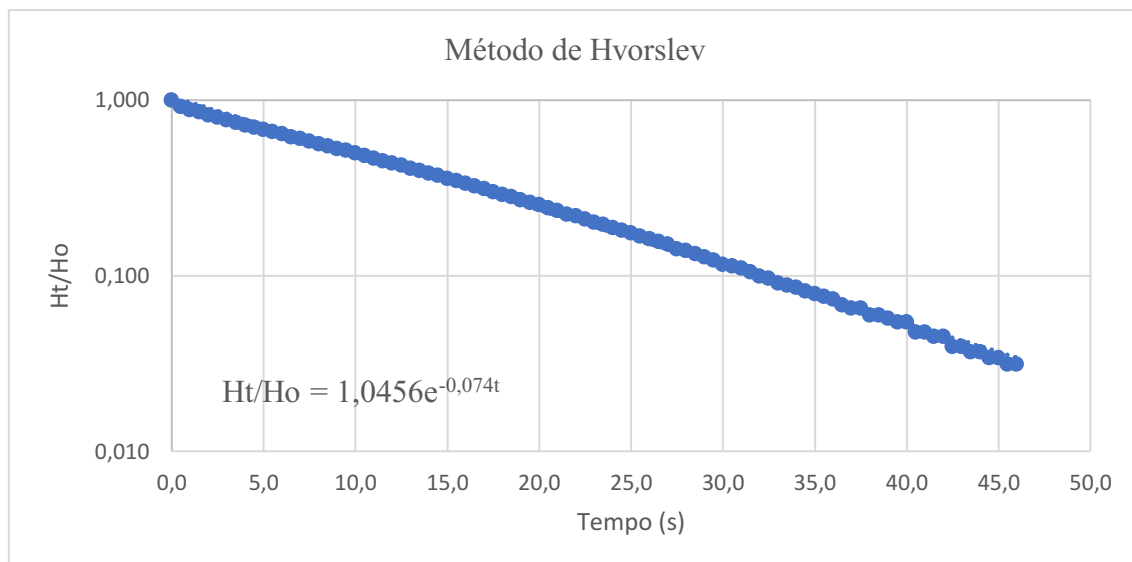
APÊNDICE C – GRÁFICOS DO MÉTODO DE HVORSLEV

Figura 42 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ2 - 3º Ensaio



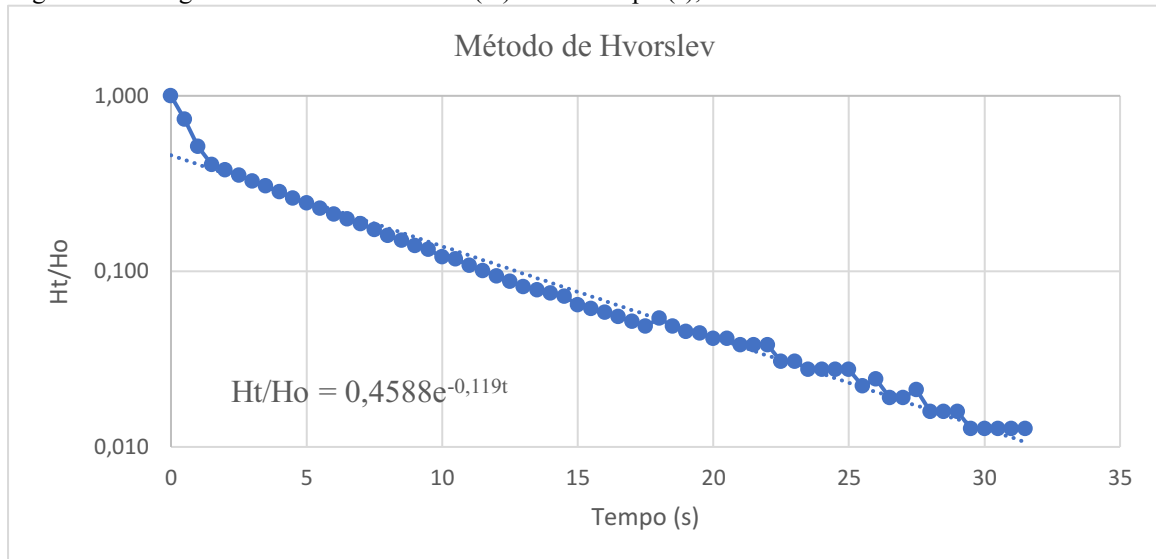
Fonte: O Autor (2018).

Figura 43 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ2 - 4º Ensaio



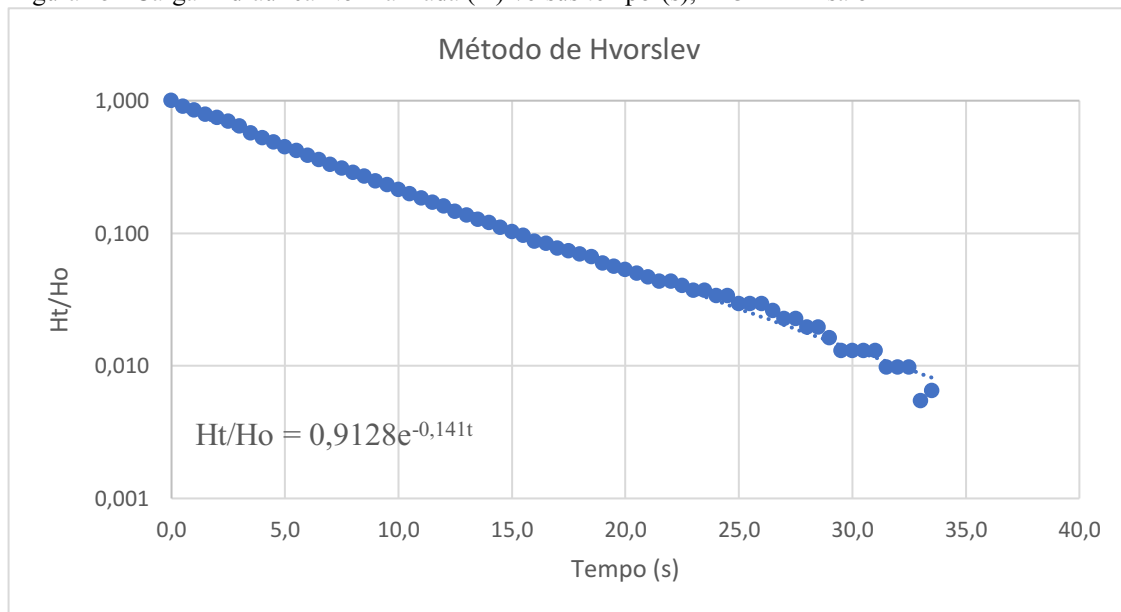
Fonte: O Autor (2018).

Figura 44 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ3 - 2º Ensaio



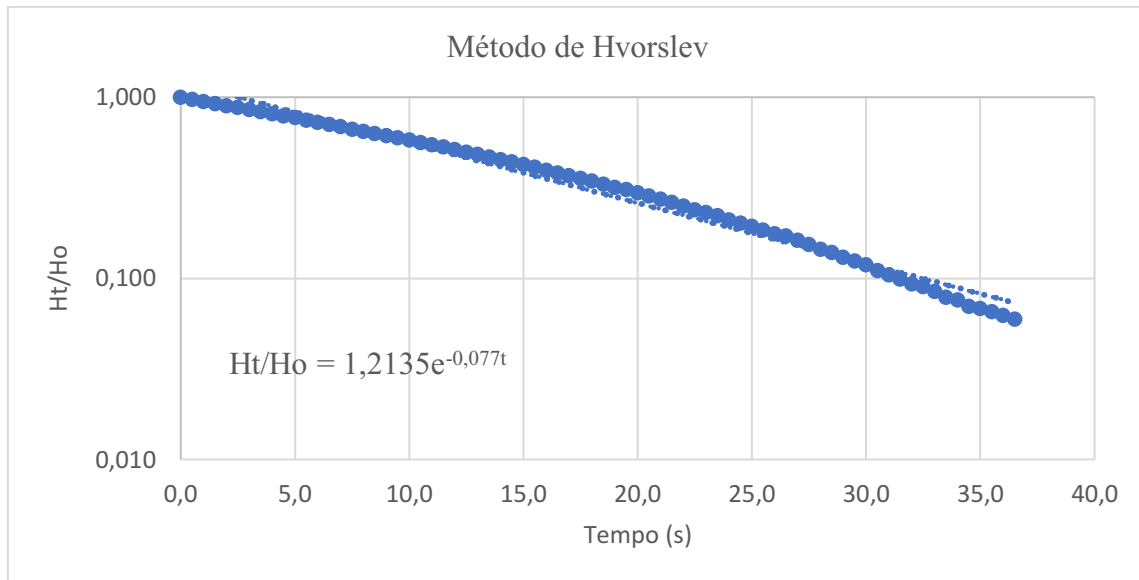
Fonte: O autor (2018).

Figura 45– Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ3 - 4º Ensaio



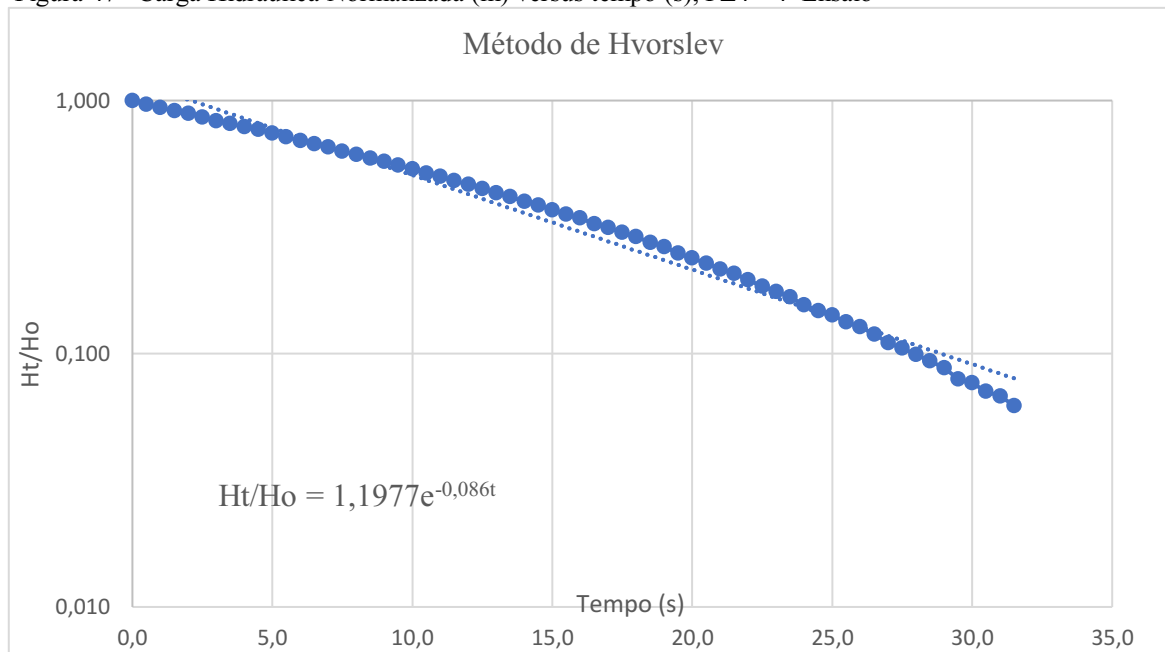
Fonte: O autor (2018).

Figura 46 – Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ4 - 2º Ensaio



Fonte: O Autor (2018).

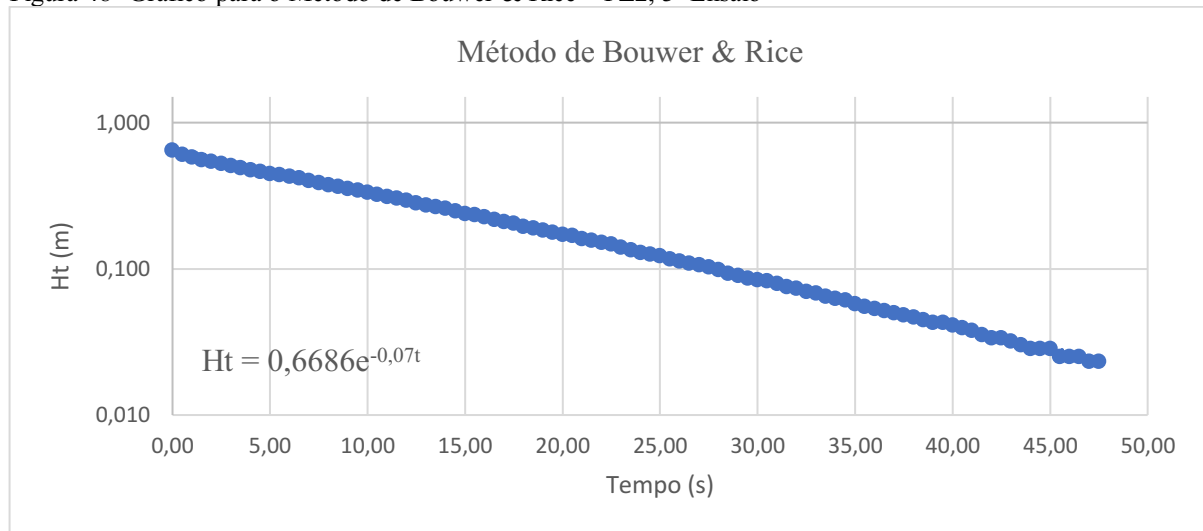
Figura 47– Carga Hidráulica Normalizada (m) versus tempo (s), PZ4 - 4º Ensaio



Fonte: O Autor (2018).

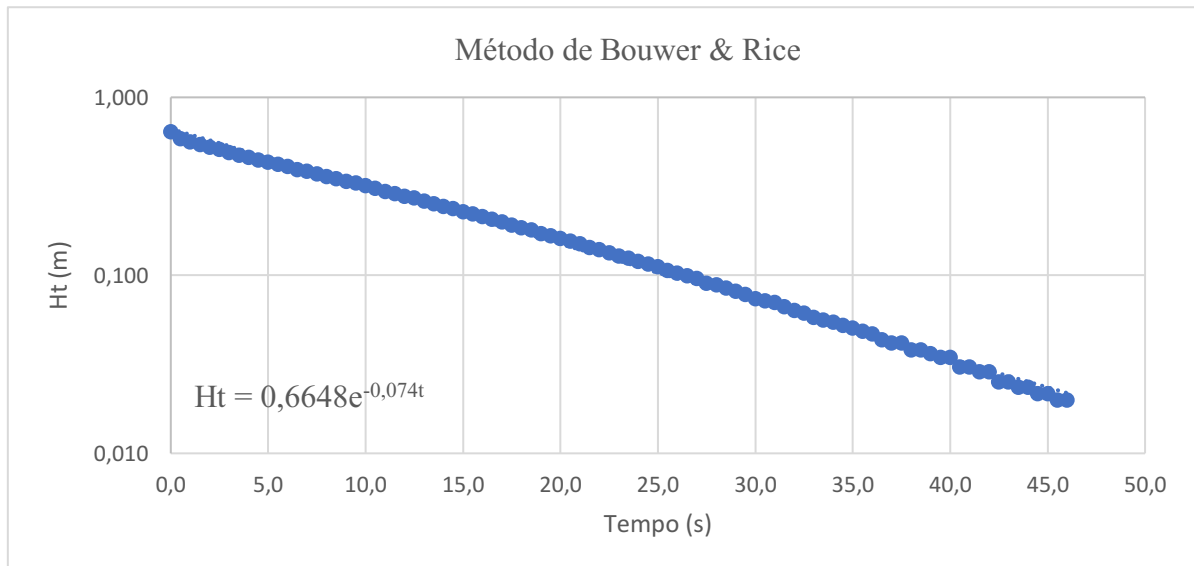
APÊNDICE D – GRÁFICOS DO MÉTODO DE BOUWER & RICE

Figura 48- Gráfico para o Método de Bouwer & Rice – PZ2, 3º Ensaio



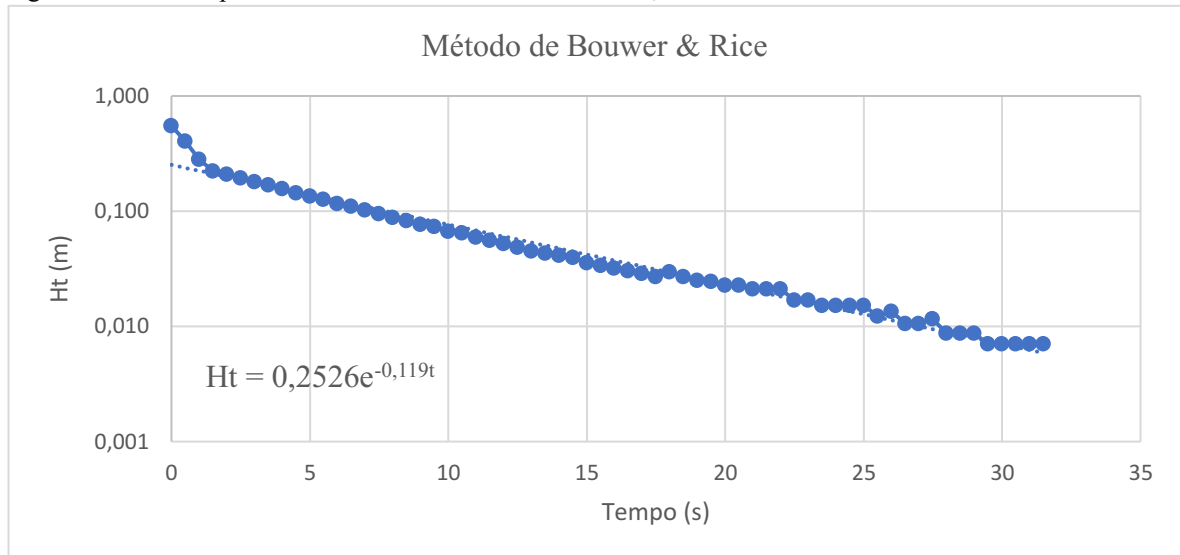
Fonte: O Autor (2018).

Figura 49- Gráfico para o Método de Bouwer & Rice – PZ2, 4º Ensaio



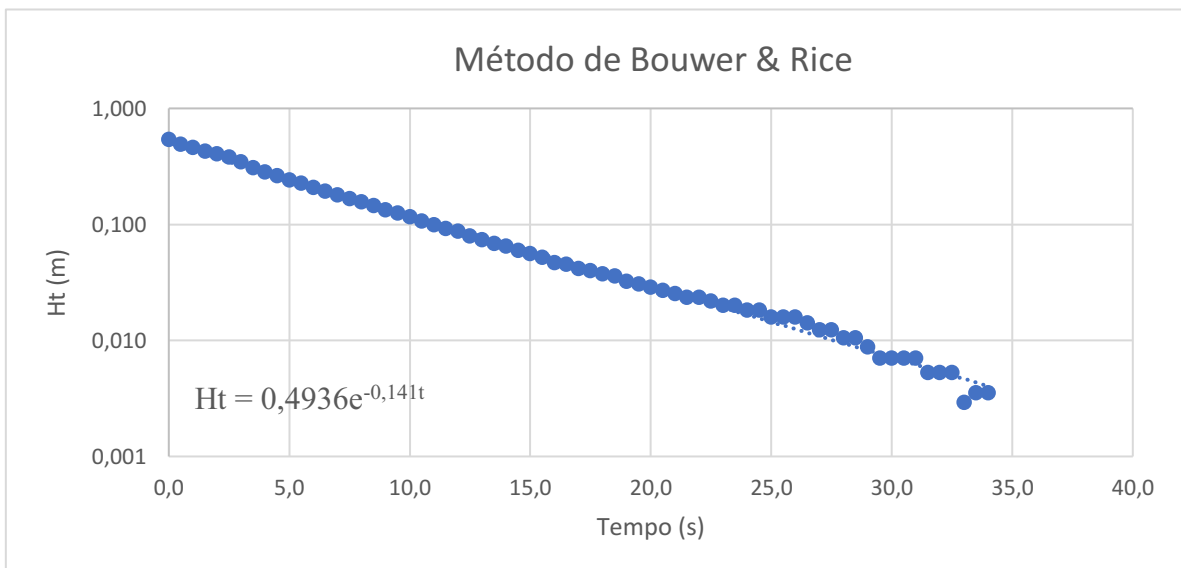
Fonte: O Autor (2018).

Figura 50 - Gráfico para o Método de Bouwer & Rice – PZ3, 2º Ensaio



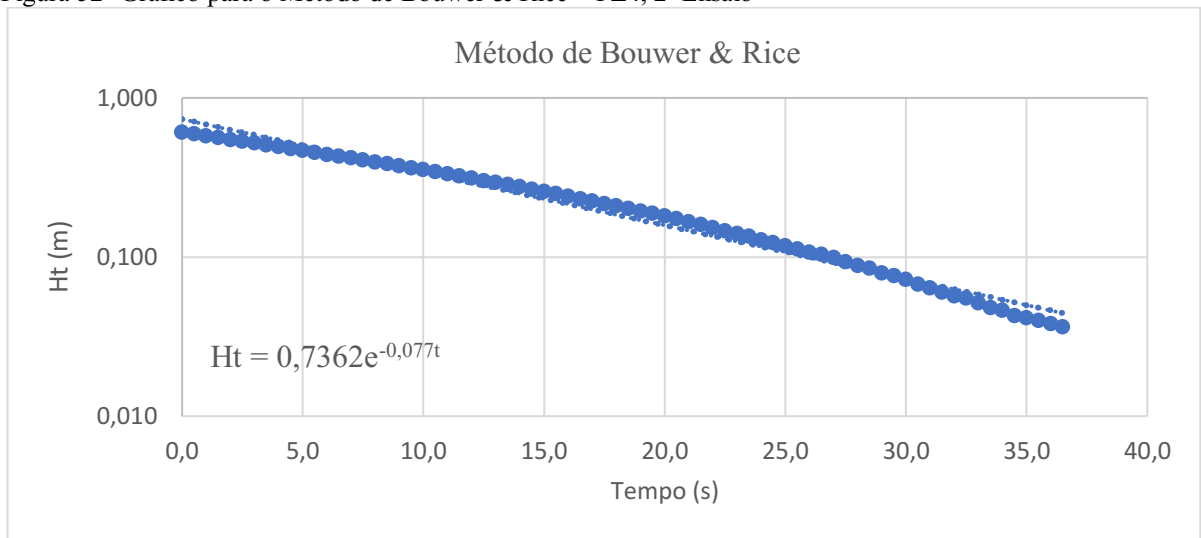
Fonte: O Autor (2018).

Figura 51- Gráfico para o Método de Bouwer & Rice – PZ3, 4º Ensaio



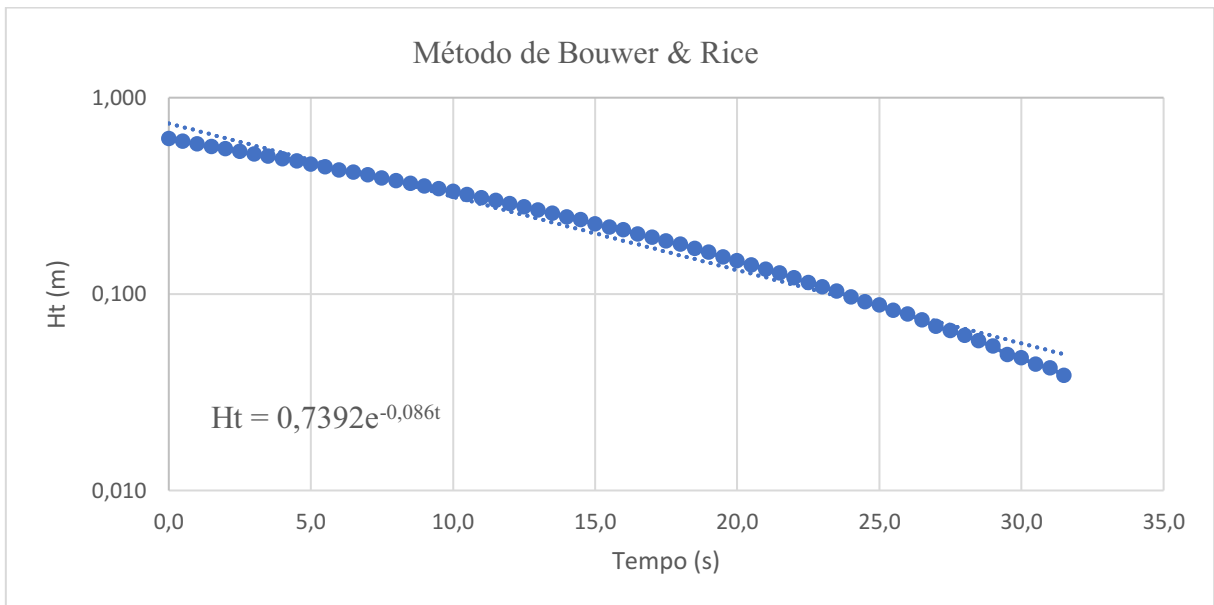
Fonte: O Autor (2018).

Figura 52- Gráfico para o Método de Bouwer & Rice – PZ4, 2º Ensaio



Fonte: O Autor (2018).

Figura 53- Gráfico para o Método de Bouwer & Rice – PZ4, 4º Ensaio

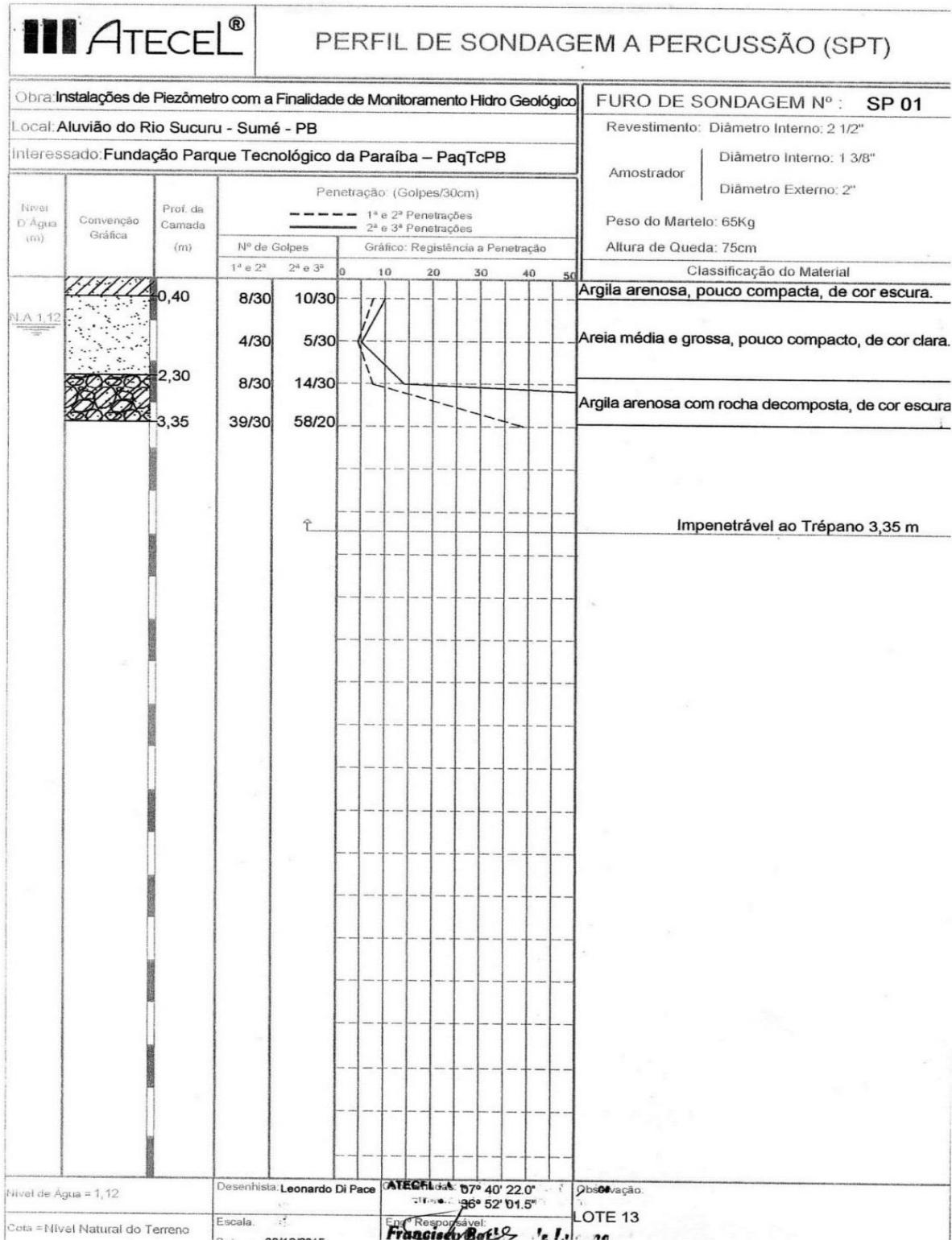


Fonte: O Autor (2018).

ANEXOS

ANEXO A – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ1 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru

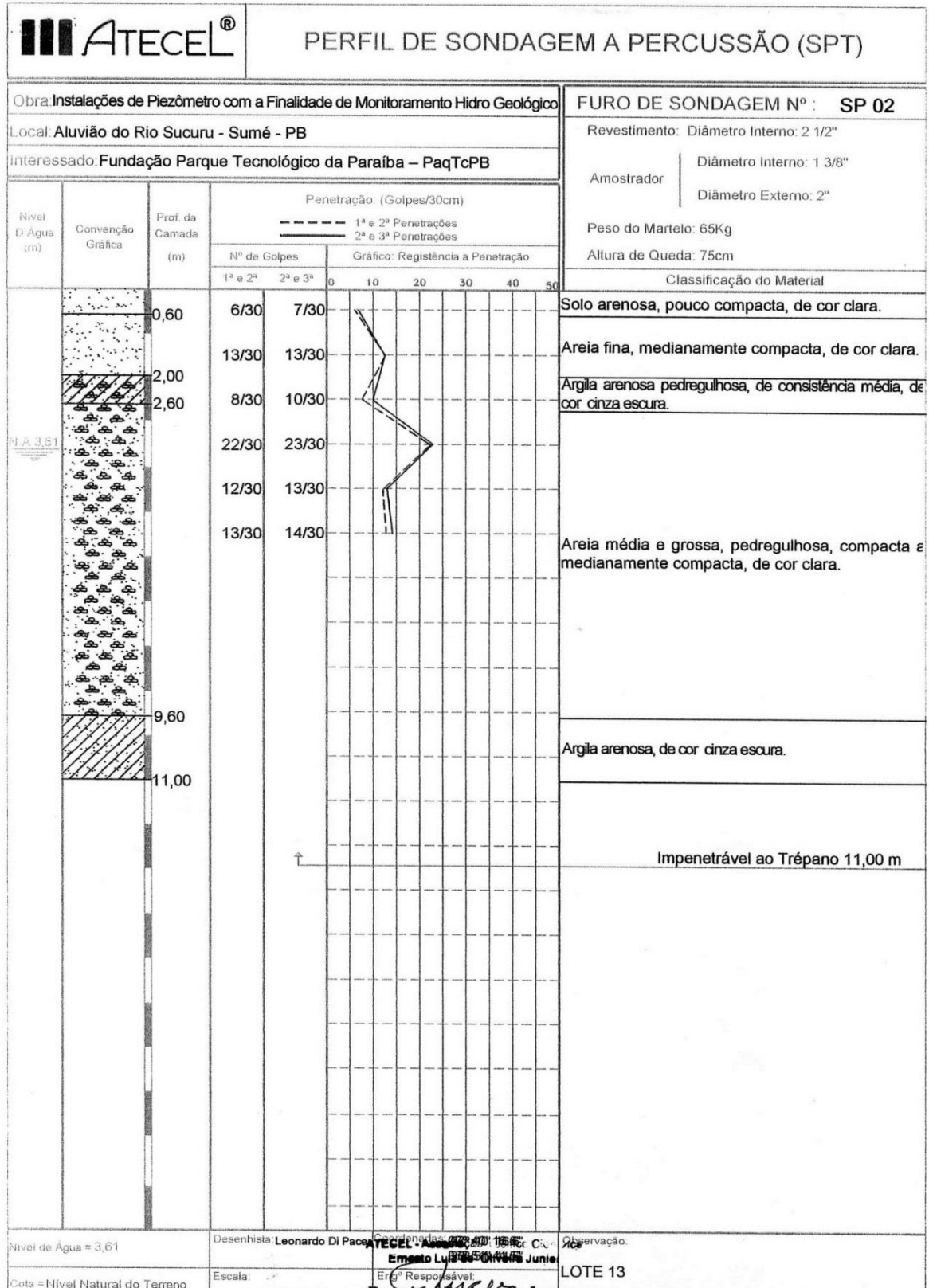
Figura 54 – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ1 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru.



Fonte: ATECEL (2013)

ANEXO B – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ2 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru

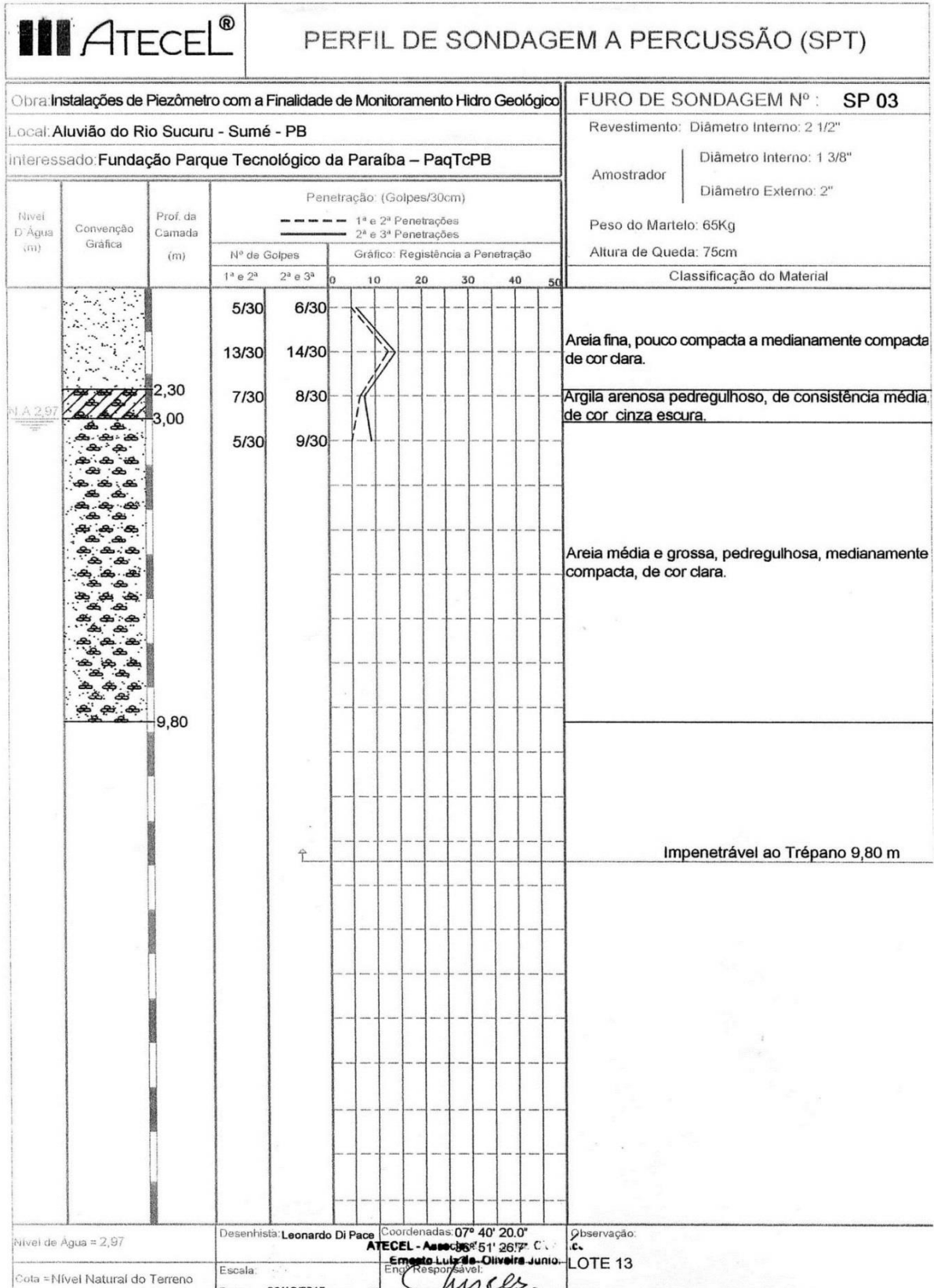
Figura 55 – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ2 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru.



Fonte: ATECEL (2013).

ANEXO C – Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ3 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru

Figura 56– Perfil de Sondagem relativo a instalação do PZ3 no Aquífero Aluvial do Rio Sucuru.



Fonte: ATECEL (2013)