



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GERLANE CAVALCANTE MESSIAS

HIDROGEOFÍSICA EM AQUÍFEROS CRISTALINOS FRATURADOS
NA GUIANA INGLESA

Recife
2019

GERLANE CAVALCANTE MESSIAS

**HIDROGEOFÍSICA EM AQUÍFEROS CRISTALINOS FRATURADOS
NA GUIANA INGLESA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Igor Fernandes Gomes.

Coorientador: Prof. Dr. José Agnelo Soares.

Recife

2019

Ficha catalográfica

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M585h Messias, Gerlane Cavalcante.
Hidrogeofísica em aquíferos cristalinos fraturados: na Guiana Inglesa / Gerlane Cavalcante Messias. – 2019.
96 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Igor Fernandes Gomes.
Coorientador: Prof. Dr. José Agnelo Soares.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Tomografia elétrica. 3. Eletroresistividade. 4. Locação de poços. 5. Água subterrânea. I. Gomes, Igor Fernandes. (Orientador). II. Soares, José Agnelo. (Coorientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-449



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**HIDROGEOFÍSICA EM AQUÍFEROS CRISTALINOS FRATURADOS
NA GUIANA INGLESA**

Defendida por

Gerlane Cavalcante Messias

Considera a candidata APROVADA

Recife, 21 de março de 2019

Prof. Dr. Igor Fernandes Gomes – Orientador - UFPE

Prof. Dr. José Agnelo Soares – Coorientador – UFCG

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Igor Fernandes Gomes - UFPE
(Orientador)

Prof. Dr. José Agnelo Soares - UFCG
(Coorientador)

Prof. Dr. Francisco Pinheiro Lima Filho – UFRN
(Examinador externo)

Prof. Dr. Tiago Siqueira de Miranda - UFPE
(Examinador externo)

“Que diremos, pois, diante dessas coisas? Se Deus é por nós, quem será contra nós?”

Romanos 8.31

À Deus, Autor e Consumador da minha fé.

AGRADECIMENTOS

Seria impossível citar todas as pessoas que me apoiaram neste trabalho. Porém destaco entre elas: Os meus familiares, principalmente meu esposo e filho (**HÉLDER E GABRIEL**) e meus amados pais (**JONAS E GILENE**); Aos meus amigos: Sargento **SOARES**, Major **QUEIROZ**, servidor civil **DEMÉTRIO** e Tenente **ISABEL SAZAKI**, todos companheiros leais de “caserna” e de vida. Ao meu primeiro chefe direto, no **EXÉRCITO**, demais amigos e companheiros de trecho: Cap **FONTES**, Sargento **CARLOS**, servidor civil **CASCATINHA**, e Sargento **FRANCINALDO**. E, antes, sobretudo principalmente aos meus orientadores **IGOR FERNANDES GOMES** e **JOSÉ AGNELO SOARES** pelo apoio incondicional, orientação, amizade e incontáveis ensinamentos (acadêmicos e de vida). Também gostaria de agradecer:

1. À **FORÇA TERRESTRE**, o **EXÉRCITO BRASILEIRO**, como um todo e em especial à **ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO**;
2. À **DIRETORIA DE OBRAS DE COOPERAÇÃO - DOC**, através dos Exmos Srs. Generais de Brigada Daniel de Almeida **DANTAS** de e Paulo Roberto Rabello **VIANA**;
3. Ao **COMANDO DO 1º GRUPAMENTO DE ENGENHARIA – GRUPAMENTO GENERAL LYRA TAVARES**, na pessoa do Sr Coronel José Luís de Araújo dos **SANTOS**, Chefe de Estado Maior, e o Exmo. Sr. General de Brigada Marcelo Arantes **GUEDON** que autorizou, apoiou e incentivou este trabalho;
4. Ao **6º BATALHÃO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO – 6º BEC**, em especial ao Comandante Sr. Tenente Coronel **VANDIR** e ao Sub Comandante Sr. Major **FIDELLIS** pelo respeito ao meu trabalho e toda cordialidade com que me receberam;
5. Ao 1º Sargento Felipe **KIPPER**, companheiro desde a minha entrada no Exército, meu braço direito entre inúmeras demandas da área de Geologia e Mineração, solicitadas pela **FORÇA TERRESTRE**, e também como amigo pessoal;
6. À **UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG**, em especial ao Departamento de Mineração e Geologia – **UAMG**;
7. À **UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE** e ao Departamento de pós Graduação em Engenharia Civil;
8. Em especial às secretárias do programa de pós graduação da **UFPE**: **ANDRÉA** e **CLEYDE**.

RESUMO

Este trabalho constitui um estudo de caso na Guiana Inglesa, com o objetivo de encontrar água subterrânea por meio de levantamentos de resistividade elétrica nas áreas de porosidade controladas pelas zonas de fraturas. O trabalho foi realizado em duas fases pelo Exército Brasileiro em oito comunidades da região Alto Tacutu - Alto Essequibo no sudeste da Guiana Inglesa, através de um acordo de cooperação técnica entre o Brasil e a Guiana. A geologia da região é constituída por rochas graníticas pré-cambrianas com níveis variados de fraturamento. Na primeira fase, os levantamentos feitos por uma equipe que coletou dados de resistividade usando um eletrorresistivímetro *SuperSting* R8 com arranjos dos tipos dipolo-dipolo e dipolo gradiente. Foi utilizado o *softwareEarthImager* para analisar os dados e criar pseudoseções de duas dimensões (2D) até 70m de profundidade. Na segunda fase, oito poços foram perfurados em pontos de baixa resistividade, construídos pelo 6º Batalhão de Engenharia de Construção sob supervisão do 2º Grupamento de Engenharia. Desse modo, com os oito poços locados, perfurados e produtivos demonstrou-se a efetividade do método de resistividade elétrica multieletrodo para explorar a disponibilidade de água subterrânea em aquíferos fissurais em terrenos cristalinos.

Palavras-chave: Tomografia elétrica. Eletrorresistividade. Localização de poços. Água subterrânea.

ABSTRACT

This work is a case study in English Guyana with the goal of finding groundwater in rock layers with fracture-controlled porosity using electrical resistivity imaging. This work was carried out in two phases by the Brazilian Army, in eight communities in the region of Alto Tacutu - Alto Essequibo in southeast Guyana. All work was done in accordance with a technical agreement between Brazil and Guyana. The geology of this region consists of precambrian granite rock layers with varying levels of fracturing. In the first phase, the surveys were completed by the geophysical team, which collected resistivity data using a SuperSting R8 electrical resistivity meter with dipole-dipole and dipole-gradient arrays. Then the software EarthImager was used to analyze the data and create two-dimensional (2D) pseudosections with depths up to 70m. In the second phase, eight wells were drilled in areas of low resistivity, constructed by 6th Engineer Construction Battalion under supervision of the 2nd Engineering Group. Thus, with the eight holes drilled and productive, the effectiveness of the multielectrode resistivity imaging technique was demonstrated as a way to explore the availability of groundwater in crystalline rock formations with fracture-controlled porosity.

Keywords: Electrical tomography. Resistivity imaging. Well siting. Groundwater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das comunidades investigadas pelo método da eletrorresistividade -----	18
Figura 2 - Perfil típico de alteração das rochas em terreno cristalino -----	22
Figura 3 - Imagem aérea de localidade de Aishalton -----	33
Figura 4 - Seção geolétrica invertida realizada para a perfuração na Comunidade de Aishalton-----	35
Figura 5 - Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de Aishalton -----	37
Figura 6 - Imagem aérea da localidade de Aishalton, mostrando as seções de resistividade realizadas em outubro de 2018. -----	39
Figura 7- Perfil construtivo do poço perfurado em Aishalton. -----	40
Figura 8 - Imagem aérea da comunidade de Karaudarnau -----	42
Figura 9 - Seção geolétrica invertida da seção 2 -----	43
Figura 10 - Perfil litológico estimado para perfuração na comunidade de Karaudarnau -----	45
Figura 11 - Perfil construtivo do poço perfurado em Karaudarnau-----	47
Figura 12 - Imagem aérea de localidade de Achawib-----	49
Figura 13 - Seção geolétrica invertida da seção-----	51
Figura 14 - Perfil construtivo do poço perfurado em Achawib-----	53
Figura 15 - Imagem aérea do local da perfuração na comunidade de Achawib -----	55
Figura 16 - Perfil construtivo do poço perfurado em Achawib-----	56
Figura 17 - Mapa de localização da indicação para perfuração na comunidade de Awaruwanau -----	57
Figura 18 - Seção geolétrica invertida da seção-----	59
Figura 19 - perfil litológico estimado para a comunidade de Awaruwanau -----	61
Figura 20 - Perfil litológico da perfuração na comunidade de Awaruwanau-----	63
Figura 21 - Localização do poço da comunidade de Awaruwanau-----	64
Figura 22 - Mapa de localização da comunidade de Bashaidrun com a indicação dos locais de perfuração -----	65
Figura 23 - Perfil de resistividade realizado na Comunidade de Bashaidrun -----	67
Figura 24 - Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de Baishaidrum ----	69
Figura 25 - Perfil litológico da perfuração na Comunidade de Bashaidrun -----	71
Figura 26 - Imagem aérea de localidade de Bashaidrum -----	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fenômenos naturais e os métodos geofísicos.	16
Tabela 2 - Valores de resistividade elétrica típicos para as unidades litológicas investigadas.	30
Tabela 3 - parâmetros de campo adotados no levantamento de dados de eletrorresistividade..	30
Tabela 4 - detalhes das seções de eletrorresistividade – locais potencialmente favoráveis.....	31
Tabela 5 - valores de resistividade para as diferentes unidades litológicas	32
Tabela 6 - locais indicados para perfuração.	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	RELEVÂNCIA, PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA DAPESQUISA.....	15
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	20
2.2	GEOLOGIA	21
2.3	COMPLEXO GRANÍTICO DO SUL DA GUIANA	22
2.4	GEOLOGIA REGIONAL.....	25
2.5	GEOFÍSICA	26
2.6	PERFURAÇÃO.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1	COMUNIDADE 1: AISHALTON.....	33
4.1.1	Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de Aishalton ...	37
4.1.2	Relatório final de perfuração do poço tubular profundo da comunidade de Aishalton.....	38
4.1.3	Discussões dos resultados obtidos na comunidade de Aishalton.....	41
4.2	COMUNIDADE 2: KARAUDARNAU.....	41
4.2.1	Perfil litológico estimado para a comunidade 2: Karaudarnau.....	45
4.2.2	Relatório final de perfuração do poço tubular profundo da comunidade de Karaudarnau:	46
4.2.3	Discussões dos resultados obtidos na comunidade de Karaudarnau	48
4.3	COMUNIDADE 3: ACHIWIB.....	48
4.3.1	Perfil litológico estimado para a comunidade 3: Achawib	53
4.3.2	Relatório final de perfuração do poço tubular profundo da comunidade de Achiwib	54
4.3.3	Discussões dos resultados obtidos na comunidade de Achawib	56

4.4	COMUNIDADE 4: AWARUWAUNAU	57
4.4.1	Perfil litológico estimado para a comunidade 4: Awarewanau.....	61
4.4.2	Relatório final de perfuração do poço tubular profundo da comunidade de Awaruwanau.....	61
4.4.3	Discussões dos resultados obtidos na comunidade de Awaranau	64
4.5	Comunidade 5: BASHAIDRUN	64
4.5.1	Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de <i>Bashaidrun</i>.....	69
4.5.2	Relatório final de perfuração do poço tubular profundo da comunidade de Bashaidrun.....	70
4.5.3	Discussões dos resultados obtidos na comunidade de Bashaidrum	72
4.6	COMUNIDADE 6: MARURANAWA	73
4.6.1	Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de Maruranau	77
4.6.2	Relatório final de perfuração do poço tubular profundo da comunidade de Maruranau.....	77
4.6.3	Discussões dos resultados obtidos na comunidade de Maruranau	80
4.7	COMUNIDADE 7: SHEA	80
4.7.1	Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de Shea.....	85
4.7.2	Relatório final da perfuração do poço tubular profundo da comunidade de Shea	81
4.7.3	Discussões dos resultados obtidos na comunidade de Shea.....	88
4.8	COMUNIDADE 8: CHURIKIDNAU	90
4.8.1	Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de Churikidnau	94
4.8.2	Relatório final da perfuração do poço tubular profundo da comunidade de Churikidnau.....	96
4.8.3	Discussões dos resultados obtidos na comunidade de Churikidnau	99
5	CONCLUSÕES	100

REFERÊNCIAS..... 104**1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo trata do crescimento da Eletrorresistividade na locação de água subterrânea.

1.1 RELEVÂNCIA, PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA DAPESQUISA

Nos últimos anos, o estudo de áreas propícias à perfuração de poços tubulares profundos através da eletrorresistividade vem crescendo grandemente como método geofísico. Os métodos elétricos de investigação do subsolo (TELFORD *et al.*, 1976; KEARY *et al.*, 2009) têm sido empregados com sucesso na investigação de aquíferos (HAZELL *et al.*, 1992; WRIGHT & BURGESS, 1992; CORIOLANO, 2002; BRAGA, 2016), em diagnósticos geoambientais e em estudos geotécnicos (DOBECKI & ROMIG, 1985; LABRECQUE *et al.*, 1996; STEEPLES, 2001; POWER *et al.*, 2013).

A locação de um poço consiste em determinar o melhor local para a sua perfuração, para se obter água em quantidade e qualidade satisfatórias com o menor custo possível (GIAMPÁ & GONÇALES, 2013).

Em geral, a locação de um poço em aquífero poroso é bem mais simples do que nos outros domínios (GIAMPÁ & GONÇALES, 2013). Como a área de domínio do semiárido brasileiro é composta predominantemente pelo embasamento cristalino, a presente pesquisa deteve-se apenas nesse tipo de formação geológica, pois é neste tipo de cenário geológico que atua o Exército Brasileiro perfurando poços para o atendimento da sociedade brasileira. Cenário geológico semelhante ocorre na região da Guiana investigada nesta pesquisa.

Os aquíferos fissurais com seu grau nulo ou quase nulo de porosidade (que impede a percolação e conseqüentemente armazenamento de água) caracterizam-se por estocarem água em fraturas, podendo algumas zonas serem bastante fraturadas enquanto em outras praticamente não ocorrer essa característica. O aquífero fissural é representado por um meio heterogêneo, anisotrópico e descontínuo, em que um afastamento de poucos metros pode fazer uma grande diferença entre alcançar uma fratura a determinada profundidade, com uma vazão elevada, ou o poço ser seco. A correta locação do poço é, portanto, uma medida de fundamental importância para se obter um bom resultado (GIAMPÁ & GONÇALES, 2013).

Dentre os fatores exógenos relevantes na locação de poços tubulares em zonas fraturadas, além do clima, o relevo e a vegetação e hidrografia, é bastante comum fazer uso de fotografias aéreas para identificar falhas, fraturas e lineamentos. O uso de fotografias para identificar tais discontinuidades dá início a uma segunda etapa de estudos, e a partir delas os fatores endógenos começam a ser minuciosamente investigados. As estruturas geológicas e a constituição litológica da área fornecem ao estudo informações mais sólidas para aproximar-se do melhor resultado.

Dentre os fatores endógenos, a Geofísica se mostra como uma grande aliada à investigação do subsolo. Ciência aplicada à Geologia, que estuda suas estruturas e corpos delimitados pelos contrastes de algumas de suas propriedades físicas com as do meio circundante, apresenta uma íntima relação da Física com a Geologia, procurando resolver com base na Física, questões de ordem geológica (BRAGA *et al.*, 2016). A geofísica mede, na superfície da Terra, anomalias de forças físicas, as quais devem ser interpretadas em termos de geologia da subsuperfície (HEILAND *et al.*, 1940). A prospecção geofísica é a arte de procurar por depósitos ocultos de hidrocarbonetos ou minerais úteis, entre eles, a água), medindo, com instrumentos na superfície, as propriedades físicas dos materiais dentro da terra (DOBRIN *et al.*, 1952). A geofísica envolve a aplicação da física clássica à Terra heterogênea, com o propósito de se conhecer as relações entre a distribuição geológica, as propriedades físicas e as observações realizadas na superfície da Terra (BACKUS *et al.*, 1980). No interior da terra ocorrem fenômenos físicos e a geofísica se baseia em alguns deles (Tabela 1).

Tabela 1 - Fenômenos naturais e os métodos geofísicos

Fenômenos físicos da Terra	Métodos Geofísicos
Campo magnético terrestre	Magnetometria
Fluxo geotérmico	Geotermia
Propagação de ondas sísmicas	Sísmica
Força da gravidade	Gravimetria
Campos elétricos e eletromagnéticos	Geométricos
Radioatividade	Espectrometria

Fonte: Braga, 2016.

Em função do parâmetro físico estudado, os métodos geofísicos podem ser classificados em famílias: gravimetria, magnetometria, elétricos, eletromagnéticos, sísmicos, radiométrico e geotérmico. Para a prospecção de água subterrânea, que é o foco desse trabalho, os métodos

geolétricos, mais especificamente a Eletrorresistividade, são os mais indicados (BRAGA, 2016).

A eletrorresistividade é um método geofísico muito utilizado no estudo de prospecção de água subterrânea como também de áreas contaminadas por resíduos sólidos, como por exemplo, na delimitação de plumas de contaminação em aterros sanitários ou do lençol freático de um modo geral (SILVA, 2008). O uso deste método é efetivo, pois uma pequena variação na concentração de poluentes dissolvidos na água subterrânea pode levar a uma mudança significativa em seus valores de resistividade (GALLAS *et al.*, 2005).

Um levantamento de eletrorresistividade consiste em injetar corrente elétrica em um par de eletrodos e, ao mesmo tempo, medir a diferença de potencial elétrico em outro par (LOKE & BAKER, 1995; DAHLIN & ZHOU, 2004). Os pares de eletrodos (corrente e potencial) podem ser colocados em superfície ou dentro de poços. A medição do potencial elétrico resultante é repetida para eletrodos em diversas configurações ou arranjos. Termos como “imageamento elétrico” (BENTLEY & GHARIBI, 2004; DAHLIN & ZHOU, 2004; NIMMER *et al.*, 2008) e “tomografia elétrica”(DAILY & RAMIREZ, 1995; SLATER *et al.*, 2002; CHAMBERS *et al.*, 2006; CARDARELLI & FILIPPO, 2009; WILKINSON *et al.*, 2010) tem sido usados para descrever uma forma especial de aquisição e inversão de dados do método de eletrorresistividade. A inversão de dados de eletrorresistividade consiste em obter um modelo de resistividade (também denominado modelo invertido, no sentido de ser obtido por inversão) que ajusta os dados medidos em campo e satisfaz vínculos (suavidade, por exemplo) que dão significado físico (continuidade, no caso) ao modelo de resistividade.

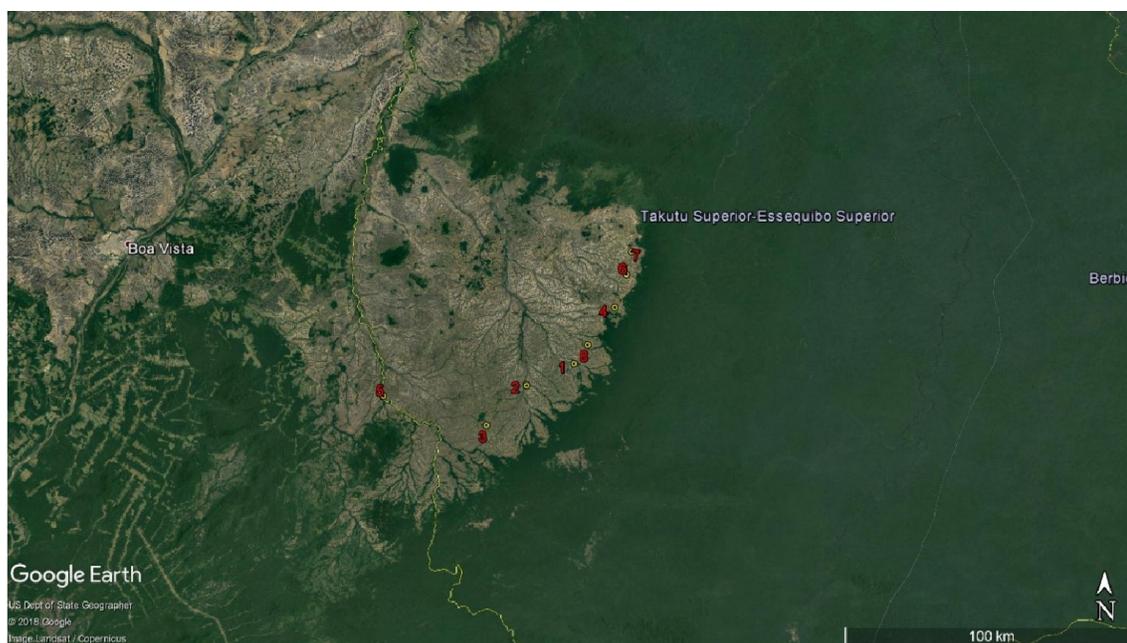
Inversão é toda técnica matemática com intuito de reduzir um conjunto de dados observados em informação prática a respeito de um meio físico. Tal informação do meio físico é chamada comumente de modelo, sendo o conjunto de parâmetros de entrada na operação conhecida pelas leis físicas (modelagem direta), e esta operação resulta numa estimativa do dado observado. A operação inversa, a qual não é trivialmente conhecida pelas leis físicas, se faz necessária para se obter a informação útil do sistema físico (MENKE, 1989).

A República Cooperativa da Guiana tem enfrentado diversas dificuldades socioeconômicas decorrentes do grave período de estiagem que assola o país. O governo guianense, por meio de cooperação bilateral, solicitou ao Governo Brasileiro apoio de pessoas e material para a instalação de poços artesianos nas comunidades ameríndias da Região do Alto Tacutu – Alto Essequibo.

Esta dissertação apresenta os resultados de uma campanha de avaliação geofísica e

hidrogeológica de terrenos cristalinos localizados ao sul da República Cooperativa da Guiana (Guiana Inglesa), região próxima da fronteira com o estado de Roraima, no Brasil e encontram-se comunidades indígenas de *Aishalton*, *Karaudarnau*, *Achawib*, *Awaruwanau*, *Maruranau*, *Bashaidrum*, *Shea* e *Churikidnau*. Tal campanha de levantamentos de dados geofísicos teve como objetivo indicar os melhores locais para a perfuração de poços para a captação de água subterrânea em fraturas do embasamento cristalino. O método geofísico aplicado foi o método de eletrorresistividade multieletródos, também conhecido como tomografia elétrica. Os trabalhos foram executados pelo Exército Brasileiro como parte integrante de um Acordo de Cooperação Técnica entre o Brasil e a República Cooperativa da Guiana. As linhas de investigação foram realizadas em oito comunidades habitadas por ameríndios, cujas localizações se encontram indicadas na Figura 1.

Figura 1 - Mapa de localização das comunidades investigadas pelo método da eletrorresistividade



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2019.

1 - Aishalton; 2 - Karaudarnau; 3 - Achawib; 4 -Awaruwanau; 5 - Bashaidrum; 6 - Maruranau; 7 - Shea; 8 - Churikidnau.

A Área de atuação caracteriza-se como uma savana, com acesso bastante difícil e unicamente possível por meio de estradas de terra e através de trilhas. O acesso via terrestre fica ainda mais complicado e bastante prejudicado nessa região nos meses chuvosos entre abril e agosto.

Numa fase inicial, no ano de 2016 foi realizado um reconhecimento preliminar na

região. Na época, o 1º Grupamento de Engenharia ainda não havia adquirido os aparelhos de eletrorresistividade e o reconhecimento foi feito baseado no conhecimento de campo da equipe e em fatores exógenos conhecidos na literatura para locação. Por ser uma área bastante inóspita, com o passar do tempo, durante as demais tratativas da operação que duraram aproximadamente dois anos, cogitou-se a real possibilidade de modificações no terreno durante essa espera, então se fez necessário um novo reconhecimento que ocorreu em 2018, com o uso do eletrorresistivímetro.

Na fase de reconhecimento, em 2018, o 6º Batalhão de Engenharia de Construção (6º BEC), situado na cidade de Boa Vista – RO enviou uma equipe técnica durante o período de 18 a 22 de abril para levantar dados essenciais para o planejamento de perfurações de oito poços nas comunidades da Região do Alto Tacutu – Alto Essequibo. Durante esse período a equipe fez uso de técnicas de locação e perfuração já consagradas pela experiência de muitos componentes da equipe, assim como foi utilizado efetivamente pela primeira vez o aparelho de eletrorresistividade. Em consequência desse reconhecimento foram geradas e interpretadas imagens geoeletricas indicando a melhor possibilidade de locação dos poços a serem perfurados, para atender as comunidades ameríndias. Foram também estimadas as máquinas e ferramentas que seriam utilizadas na execução, assim como determinado o local onde seria montado o “Destacamento Guiana”, local onde a equipe ficaria alojada durante toda a execução dos trabalhos.

Numa segunda fase, etapa de execução das perfurações que ocorreu nos meses de outubro a dezembro de 2018, foram utilizadas as imagens geoeletricas, geradas na fase de reconhecimento, para a definição da localização dos poços a serem perfurados.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo trata da descrição e caracterização Geológica/ Hidrogeológica e Geofísica da área de estudo, além de fazer uma revisão bibliográfica do assunto.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A localidade está inserida ao sul da grande planície de savana *Rupununi*, tendo como limite norte as Montanhas *Kanuku*. A área é drenada pelo rio *Takutu*, a oeste, e pelo rio *Rupununi*, a leste. O rio *Takutu* drena para o Rio Branco, no Brasil, antes de ingressar na Bacia Amazônica. O rio *Rupununi* deságua no *Essequibo*, o maior rio da Guiana. A região é marcada por duas estações distintas, com 80% da precipitação total anual durante a estação chuvosa, entre maio e agosto, causando frequentemente inundações sazonais extensas seguidas de dessecação generalizada e escassez de água local no auge da estação seca, entre setembro e abril (HENFREY, 2002).

A região da execução das perfurações é um lugar indígena de etnia *Wapishana*, e abriga aproximadamente 1.063 pessoas. As temperaturas médias variam de um mínimo de 34,0°C a um máximo de 40 °C com uma temperatura média de 37 °C. A precipitação anual média de cerca de 2.000 milímetros e a média mensal de precipitação varia entre 55,3 milímetros (em novembro) a 376,2 milímetros (em junho). Flutuações verticais de três a nove metros são comuns entre os níveis de água da chuva e estações secas, onde a maioria dos riachos seca completamente e os níveis mais baixos de água do rio expõem rochas e corredeiras (AGRICONSULTING, 1993).

Os solos são tipicamente latossolos altamente intemperizados, com baixa quantidade de matéria orgânica e nutriente e, frequentemente, ricos em compostos tóxicos de alumínio. Manchas de floresta ou de arbustos em geral ocorrem cercadas por grandes áreas de pastagem que são geralmente livres de arbustos ou árvores. Algumas áreas têm prados arbustivos. Os córregos que cruzam a região correm através de florestas. Com 120 a 150 m de altitude, essas pastagens estão ecologicamente conectadas à savana do rio Branco, no Brasil.

Aishalton é uma vila de ameríndios situada na savana *Rupununi* no sudeste da Guiana, na região do Alto *UpperTakutu*-Alto *UpperEssequibo* (Região 9) do país. Possui altitude de 187m e o acesso a região se dá por estrada não pavimentada entre *Lethem* e *Aishalton*, que está distante 180 km de *Aishalton*, capital da região 9. A principal população local é de ameríndios *Wapishana*, dados de 2002 indicam uma população de 1.063 pessoas

2.2 GEOLOGIA

A geologia da região é constituída de rochas graníticas e metamórficas Pré-Cambrianas. As camadas que constituem este tipo de terreno do topo para a base, são as seguintes:

1° - Solo avermelhado;

2° - Regolito - material rico em argila derivado da decomposição do embasamento, apresenta pouca espessura, localmente é capeado por crosta laterítica podendo estar ausente devido a erosão;

3° - Camada fraturada - caracterizada por um denso fraturamento horizontal nos primeiros metros e com o aumento da profundidade a densidade diminui com fraturas sub-horizontais e subvertical, grande parte dos recursos de água subterrânea provém desta camada.

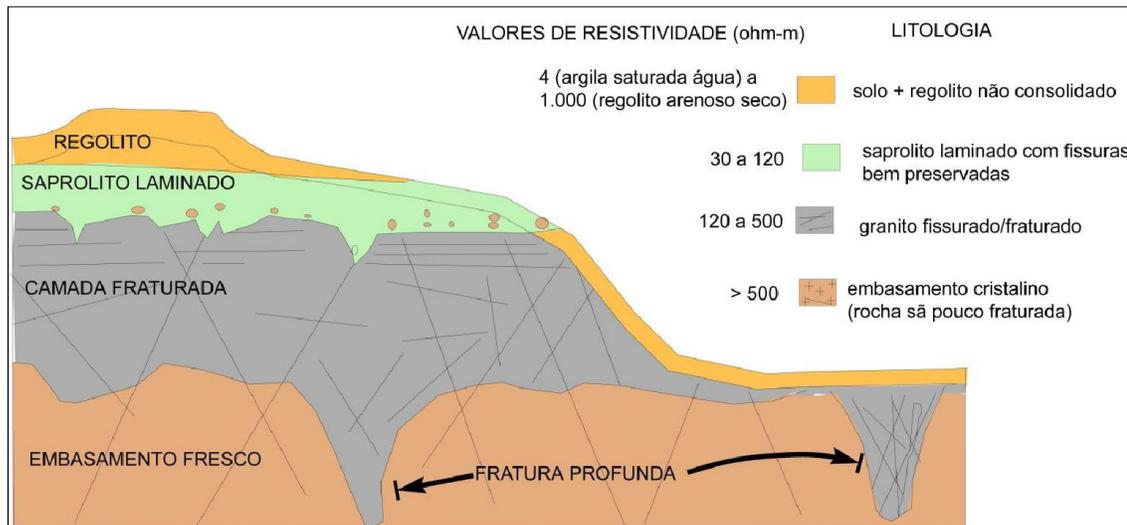
4° - Embasamento cristalino - permeável somente localmente, onde as fraturas tectônicas estão presentes.

A geologia da região sul da Savana *Rupununi*, localizada aproximadamente no centro do Escudo da Guiana, é constituída por blocos discretos de metassedimentos Proterozóicos do Grupo *Kwitaro* e predominantemente pelo Complexo de Granitos do Sul da Guiana.

O Grupo *Kwitaro* é composto principalmente de metassedimentos de águas rasas com estratos vulcânicos básicos intercalados que são metamorfoseados para fácies anfibolíticas (BERRANGÉ, 1972).

A Figura 2 apresenta um perfil típico de alteração das rochas cristalinas, com os valores típicos esperados para a resistividade elétrica dos litotipos principais.

Figura 2 - Perfil típico de alteração das rochas em terreno cristalino



Fonte: Dewandelet *et al.*, 2006.

2.3 COMPLEXO GRANÍTICO DO SUL DA GUIANA

O Complexo Granítico do Sul da Guiana é uma assembleia predominantemente autóctone, mas localmente alóctone. Este conjunto aflorante ao sul do Complexo *Kanuku* se estende ao oeste até a divisa com Brasil e Suriname. A assembleia mineralógica é constituída essencialmente por dois tipos: biotita foliácea cinza (muscovita, hornblenda, epidoto) - granito sódico a granodiorito; e biotita-muscovita rosa (epidoto) - granito potássico.

Essa região se estende ao sul do Complexo *Kanuku* e ao norte do Grupo granito-vulcânico *Kuyuwini*. Este complexo de granito tem mais de 9 mil quilômetros quadrados, tem uma largura de cerca de 50 a 60 milhas e se estende da fronteira brasileira no oeste até o Suriname. Embora contenha uma galáxia de diferentes rochas graníticas, compreende essencialmente dois tipos amplos: granito sódico cinza e granito potássico-rosa. Os granitos cor-de-rosa são geralmente mais novos que os tipos cinzentos, e são localmente intrusivos neles.

Os enclaves metassedimentares derivados do Complexo *Kanuku* e do Grupo *Kwitaro* são uma característica comum do complexo de granitos. Eles são naturalmente mais abundantes perto dos respectivos contatos e variam da inclusão parcialmente assimilada visível em afloramentos únicos para grandes enclaves mapeáveis.

A textura e as estruturas também variam muito. Os granitos cinzentos geralmente mostram uma foliação subvertical e / ou lineação marcada pelo alinhamento dos megacristais máficos, feldspatos e pequenos xenólitos, enquanto os granitos rosa tendem a não ter uma trama

direcional. Granitos rosa folheados e granitos cinzentos são, no entanto, também encontrados. Tanto a foliação primária formada durante a gênese dos granitos, quanto a posterior foliação secundária, formada principalmente durante o Episódio Metamórfico de K'Mudku, estão presentes.

Os granitos cinzentos são muito mais abundantes do que os tipos rosa que, onde quer que os dois sejam vistos juntos, são demonstravelmente mais jovens. Diques de granito rosa são vistos cortando o granito cinza e em outros lugares o granito rosa pode ser visto a partir do cinza pelo crescimento progressivo de megacristais de microclina rosa. O granito rosa é relativamente mais abundante nas proximidades dos metassedimentos do Grupo *Kwitara* do que os diques de pegmatito-aplito e veios de quartzo. Tanto os pegmatitos de substituição simples como os pegmatitos tardios de mineralogia complexa são encontrados. Quartzo, feldspato, livros de biotita, muscovita branca e verde, turmalina e granada foram identificados nos pegmatitos.

Granito Aminge: consiste essencialmente em quartzo, oligoclásio, microclina microperítica, biotita, muscovita (hornblenda) com epidoto acessório, minério e apatita. Ele trata-se de um granito característico de granito-muscovita (hornblenda) cinza, de granulação fina, que forma diversos plutons alóctones, pós-cinemáticos e pequenos dentro do Complexo de Granito do Sul da Guiana. O maior deles tem uma superfície de 60 milhas quadradas (156 km²) e está exposto nos rios *New* e Aminge, após o qual o grupo foi nomeado. Plutons menores de granitos semelhantes são expostos na Montanha *Mukatawa*, perto de *Aishalton*. Estes granitos são extremamente homogêneos e completamente ausentes em qualquer trama planar ou linear. O granito da montanha de *Mukatawa* é famoso pelos extensos petroglifos pré-históricos ou pelas rochas encontradas nele.

No sul da Guiana, numerosos pequenos plutons intrusivos, variando em composição de ultrabásico a ácido, foram agrupados em uma única suíte que tem as características petrográficas e as relações geológicas típicas da suíte apinítica.

Suíte *Latey Kinematic Dyke*: Um conjunto de diques anfibolíticos discordantes tem sido reconhecido como o principal evento *Akawa* de metamorfismo e granitização, mas mostra evidências de ter sido intrudido ao longo de fissuras transcorrentes ativas nos estágios finais da atividade plutônica, numa época em que os membros estavam ainda em temperatura elevada. Esses diques não indicam, portanto, um hiato no plutonismo como sugerido para o *Metadelerite Dyke* Suíte, de acordo com o método de Sederhom (1926) de interpretar o significado dos diques básicos.

Os diques cinemáticos tardios foram encontrados cortando o Complexo Granítico do Sul da Guiana. Uma idade máxima de 1900 anos para a intrusão da Suíte tardia é dada pelo reconhecimento de um dique que corta os plutons apiniticos. Este dique de cinemática tardia tem 10 a 30 cm de largura e possui o sigmóide interno característico. A maioria dos diques cinemáticos tardios são anfíbolitos de grãos finos consistindo essencialmente de hornblenda verde, biotita, plagioclásio, quartzo e minério, alguns são microdioritos de quartzo de hornblenda-biotita, enquanto outros são moscovita na Formação Dampau. Os pegmatitos portadores de moscovita são comuns em um cinturão que vai do nordeste da vila de *Maruranau* até o rio *Kwitaro*. Ocorrem em enclaves de xisto e gnaiss da Formação Dampau e nos Granitos do Sul da savana adjacente.

A área está localizada aproximadamente no centro do Escudo da Guiana apresentando blocos discretos de metassedimentos Proterozóicos do Grupo *Kwitaro* e estando constituída predominantemente pelo Complexo Granítico do Sul da Guiana. O Grupo *Kwitaro* é majoritariamente composto por metassedimentos de águas rasas com estratos vulcânicos básicos interestratificados os quais foram metamorfoseados para a fácies anfíbolito (BERRANGÉ, 1972).

O Complexo Granítico do Sul da Guiana faz parte do Ciclo Orogênico Transamazônico tectonotérmico que resultou em falhas de bloco, encurtamento da crosta, dobramento, metamorfismo e anatexia (HURLEY *et al.*, 1967). Esta região em numerosas subfaces, mas largamente consiste de dois tipos: cinza, biotita + muscovita, hornblenda, granito epidoto a granodiorito com foliação e / ou lineação acentuada e menos abundante rosa, biotita-muscovita + granito que pode ser de granulação fina a grossa, às vezes foliada.

Os pelitos apresentam estratificação gradacional e de corrente, e os quartzitos exibem clivagem amplamente espaçada. Mergulhos de estruturas planares e lineamentos variam de horizontal a mergulho acentuado a vertical. O dobramento por cisalhamento mesoscópico varia de fechado a aberto. O metamorfismo de contato dentro das unidades do Grupo *Kwitaro* é encontrado localmente adjacente aos granitos do Grupo Guiana Meridional. Veios e diques de aplito-pegmatito são encontrados em unidades metassedimentares que também ocorrem como pequenos xenólitos dentro do granito (BERRANGÉ, 1972).

Meta-andesito: é uma rocha verde escura, compacta e maciça, sem *fabric* interno e composta em grande parte de anfíbolito e feldspato. Piroxênios e amígdalas de calcita alteradas ocorrem em zonas específicas. Produtos de alteração deutérica - epidoto, veios de calcita branca e fragmentos dispersos de jaspe vermelho são encontrados em toda a unidade. Zonas de grãos

muito finos e brechas incipientes nos poucos metros superiores do fluxo estão em contato agudo com o quartzito sobrejacente (CAUMARTIN, 2004). Os diques de pórfiro cinza, leucocrático, feldspato e feldspato de quartzo e um dique máfico verde foram interceptados em alguns dos furos de perfuração em Mazoa. Os diques atingem o leste do quartzito e mergulham na subvertical ou na vertical, ou abruptamente para o norte. Os contatos são geralmente abruptos e o dique félsico fresco é muito competente. Os diques máficos parecem ter sido metamorfoseados. A foliação é comum em intervalos com núcleo de dique máfico, indicando que eles podem ser mais antigos do que os diques de pórfiro de feldspato (CAUMARTIN, 1998).

As litologias mais comuns do Grupo *Kwitato* incluem metassedimentos pelíticos e semipelíticos, metassedimentos, agora representado por filito biotita-muscovita, metassilito, xisto e gnaisse.

2.4 GEOLOGIA REGIONAL

A propriedade Marudi está localizada aproximadamente no centro do Escudo das Guianas, no sul da Guiana. Regionalmente, a Propriedade Marudi é sustentada por metassedimentos proterozóicos do Grupo *Kwitaro* e do mais novo Complexo Granítico do Sul da Guiana. O Grupo *Kwitaro* no sul da Guiana ocorre como cinco blocos metassedimentares discretos, cada um com centenas de quilômetros quadrados de extensão, delimitados por granitos do Complexo Granítico do Sul da Guiana. Apesar de sua distribuição discreta, semelhanças em petrologia, metamorfismo e estrutura das formações individuais e sua relação com outras unidades de rochas na região justificam sua designação para um único grupo, datado de 2.090 Ma. \pm 42 m.y. De longe, as litologias mais comuns incluem metassedimentos pelíticos e semipelíticos, agora representados por filitos de biotita-muscovita, metassilito, xistos e gnaisses. A Formação Marudi na base do Grupo *Kwitaro* é formada por quartzito e pelito intercalados, conglomerado quartzo de seixo e anfibolito, provavelmente um basalto ou protólito andesítico.

Os granitos cor-de-rosa, de acordo com Berrangé (1972), evoluíram metasomaticamente do granito cinzento. O Granodiorito Marudi, que ocorre como um pequeno pluton alóctone, pode ter-se desenvolvido por reativação e subsequente colocação e acredita-se estar associado à mineralização de ouro. A idade da faixa de granito rosa varia de 1.701 Ma \pm 28 m.y. até 1.838 Ma \pm 30 m.y (BERRANGÉ, 1972).

A propriedade Marudi é dominada pela Formação Marudi, que inclui uma unidade

pelítica inferior, um quartzito medial e uma unidade meta-andesito com tufo subordinado e *ironstone* (a unidade “quartzito”). Estas rochas são cobertas por uma unidade maciça de ortoamfibolito (metabasalto). Rochas metassedimentares e metavulcânicas foram submetidas a metamorfismo regional superior xisto verde e anfibolito inferior. O Granodiorito Marudi fica principalmente ao norte do flanco norte da Montanha Marudi. Embora baseado em grande parte em uma revisão do núcleo em Mazoa, Caumartin (2004) forneceu as descrições mais completas e detalhadas da unidade de “quartzito” que hospeda toda a importante mineralização de ouro descoberta até o momento na Propriedade Marudi.

Unidades metassedimentares e metavulcânicas na propriedade Marudi foram complexamente deformadas com pelo menos duas gerações locais e três regionais de dobramento reconhecidas.

2.5 GEOFÍSICA

O método de eletrorresistividade consiste basicamente na injeção, em um dado momento, de corrente elétrica controlada em dois pontos da superfície do terreno e na medição da diferença de potencial elétrico entre outros dois pontos dessa superfície. Na prática um levantamento de eletrorresistividade é composto pela injeção de corrente e medição de potencial em muitos pontos do terreno. Existem duas técnicas de aquisição de dados: a sondagem elétrica vertical (SEV) e o caminhamento elétrico (CE). A SEV é utilizada quando se deseja investigar a variação da resistividade elétrica do terreno com o aumento da profundidade. Já o CE é usado quando se quer priorizar a investigação da variação da resistividade elétrica com o deslocamento lateral ao longo da superfície do terreno.

Para aplicar qualquer das duas técnicas é preciso ainda adotar um determinado tipo de arranjo de eletrodos. O tipo de arranjo define a maneira como os eletrodos são distribuídos na superfície do terreno. Existem vários tipos de arranjo, sendo que os mais utilizados são: *Schlumberger*, *Wenner*, dipolo-dipolo e gradiente. Em geral considera-se que o arranjo tipo *Wenner* apresenta maior profundidade de investigação, enquanto os arranjos dipolo-dipolo e gradiente apresentam maior sensibilidade às variações laterais de resistividade do subsolo. Uma vez que em terrenos cristalinos, como ocorre no caso em estudo e na grande maioria dos terrenos da região semiárida do nordeste brasileiro, a água subterrânea se encontra em zonas de fraturas subverticais, é preciso adotar a técnica e um arranjo de eletrodos que privilegie a investigação da variação lateral de resistividade elétrica. Por esta razão, a técnica CE e os arranjos de eletrodos dipolo-dipolo e gradiente foram adotados neste estudo.

Os métodos elétricos de investigação do subsolo (TELFORD *et al.*, 1976; KEARY *et al.*, 2009) têm sido empregados com sucesso na investigação de aquíferos (HAZELLE *et al.*, 1992; WRIGHT & BURGESS, 1992; CORIOLANO, 2002; BRAGA, 2016), em diagnósticos geoambientais e em estudos geotécnicos (DOBECKI & ROMIG, 1985; LABRECQUE *et al.*, 1996; STEEPLES, 2001; POWER *et al.*, 2013). Dentre os métodos geofísicos empregados no estudo de aquíferos fissurais presentes no embasamento cristalino destacam-se os métodos elétricos, especialmente o método da eletrorresistividade multieletrodo também chamado de de resistividade tomografia elétrica (BRAGA, 2016). Este método na sua configuração mais simples utiliza quatro eletrodos, sendo dois para injeção de corrente e dois para a medição da diferença de potencial no terreno. A configuração multieletrodo, que torna a aquisição mais ágil, consiste na utilização de um mecanismo de chaveamento automático que permite a utilização simultânea de um número muito maior de eletrodos, sendo que a cada instante da aquisição de dados apenas quatro eletrodos (ou oito, no caso *dual mode*) permanecem ativos. Para a aplicação deste método é preciso adotar um determinado tipo de arranjo de eletrodos, o qual consiste na forma como os eletrodos de injeção de corrente e de medição de potencial elétrico são dispostos no terreno.

Sasaki (1992) desenvolveu um algoritmo para a inversão de dados de eletrorresistividade baseado no método dos mínimos quadrados amortecido e no método de elementos finitos, cuja resolução é relativamente pouco afetada pelo ruído, desde que a configuração adotada para o arranjo de eletrodos seja adequada. Loke & Barker (1996), utilizando a base do algoritmo de Sasaki (1992), desenvolveram um algoritmo para a inversão rápida de dados de tomografia elétrica que apresenta uma performance cerca de oito a doze vezes mais rápida do que o algoritmo convencional de inversão pelo método dos mínimos quadrados. Este algoritmo é a base do programa de inversão utilizado neste trabalho.

Steeple (2001) apresenta um quadro geral de aplicações dos métodos geofísicos na avaliação de alvos próximos da superfície do terreno, indicando o método da eletrorresistividade como adequado para a exploração de recursos hídricos subterrâneos e no monitoramento de contaminantes subterrâneos eletricamente condutivos. Gallas (2003) aplicou o método da eletrorresistividade em uma área de rochas cristalinas no município de São José do Rio Pardo, São Paulo, sugerindo técnicas de aquisição, processamento e interpretação dos resultados. O objetivo principal dos levantamentos foi detectar fraturamentos ou falhamentos que pudessem agir como potenciais aquíferos. Tais feições foram identificadas como zonas de baixa resistividade elétrica que apresentavam continuidade em profundidade. Madrucci *et al.*

(2005) apresentaram um estudo de detalhe no aquífero fraturado na região de Lindoia, Estado de São Paulo, o qual consistiu no mapeamento de fraturas a partir de fotografias aéreas e de levantamento geofísico de eletrorresistividade. A análise integrada do mapeamento de fraturas, de dados geofísicos invertidos e de dados geológicos de campo permitiu a identificação de fraturas preenchidas por água, representada por baixas respostas de resistividade nas proximidades das fraturas.

Pedersen *et al.* (2005) aplicaram métodos eletromagnéticos com o objetivo de explorar reservatórios de água subterrânea. Os autores mostraram que seções geoeletricas ajudam a melhorar substancialmente a interpretação de dados sísmicos de reflexão no sentido de identificar com maior precisão os contatos litológicos entre camadas de argila e areia e entre a areia e o embasamento cristalino parcialmente fraturado.

Dahlin & Zhou (2004) realizaram simulações numéricas para comparar a resolução e a eficiência de levantamentos de eletrorresistividade usando dez tipos diferentes de arranjos de eletrodos para cinco diferentes cenários geológicos. Eles concluíram que os arranjos dipolo-dipolo e gradiente apresentam elevada resolução, são adequadas para utilização em configurações de aquisição automática multieletrodo, além de apresentarem vantagens logísticas em relação aos demais arranjos. Aizebokhaiet *al.* (2014) avaliaram a eficiência do arranjo gradiente multieletrodos para um levantamento rápido de dados. Eles concluíram que tal arranjo apresenta uma melhor logística de aquisição e resulta numa imagem de mais alta resolução quando comparado com o arranjo Wenner.

Martorana *et al.* (2017) geraram dados sintéticos de levantamentos de eletrorresistividade para quatro diferentes arranjos de eletrodos (dipolo-dipolo, polo-dipolo, Schlumberger e gradiente). A comparação entre os resultados obtidos mostrou que, para obter uma seção geoeletrica com uma resolução aceitável e ao mesmo tempo uma alta velocidade de aquisição dos dados, recomenda-se a utilização do arranjo dipolo-dipolo ou do arranjo gradiente.

2.6 PERFURAÇÃO

Diferentemente dos poços rasos (cacimbas, cisternas), a perfuração de poços tubulares profundos requer técnicas e tecnologias apropriadas, pessoal habilitado e equipamentos adequados. Por isso, os investimentos e riscos operacionais e financeiros são maiores. Na perfuração de poços tubulares profundos, o êxito do trabalho depende de uma série de fatores de ordem técnica e geológica, começando pela escolha e seleção do método de perfuração a ser adotado (GIAMPÁ & GONÇALES, 2013).

Um poço tubular é uma obra de engenharia e hidrogeologia e não um buraco pelo qual se captam águas subterrâneas e tem custo alto de bombeamento. Por isso todas as precauções devem ser tomadas para que o poço seja construído dentro das normas e respeitando sempre o meio ambiente, tornando-se uma obra economicamente viável e rentável (GIAMPÁ & GONÇALES, 2013). Por se tratar de uma região composta por embasamento cristalino, além dos fatores de ordem técnica e econômica, o dimensionamento de ferramentas e máquinas precisou ser minuciosamente planejado.

A perfuração dos poços foi realizada utilizando perfuratrizes modelo Prominas R-1S, com capacidade de perfuração até 250 metros de profundidade. Na perfuração inicial dos poços foi utilizada broca tricônica com diâmetros 9,7/8", na fase intermediária, *bits* com diâmetro de 8", e na etapa final, *bits* com 6" de diâmetro.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O indicador utilizado para a locação dos poços foi o valor de resistividade elétrica juntamente com parâmetros geométricos dos potenciais aquíferos fissurais, tais como espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, objetivando alcançar zonas mais profundas de percolação de água. A Tabela 2 apresenta os valores típicos de resistividade elétrica para as unidades litológicas investigadas.

Tabela 2 - Valores de resistividade elétrica típicos para as unidades litológicas investigadas.

Unidade litológica	Resistividade (ohm.m)
Solo argiloso saturado	4
Regolito arenoso seco	1000
Saprolito laminado	30 a 120
Rocha fraturada	120 a 500
Rocha sã	> 500

Fonte: A Autora, 2019.

O levantamento geofísico foi realizado utilizando um resistímetro *SuperSting* R8 com 84 eletrodos e aquisição automática de dados. Os parâmetros adotados na aquisição se encontram listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de campo adotados no levantamento de dados de eletrorresistividade.

Seção	Comunidade	Espaçamento entre eletrodos	Arranjo de eletrodos
1	<i>Aishalton</i>	3	Dipolo-dipolo
2	<i>Karaudarnau</i>	3	Dipolo-dipolo
3	<i>Achawib</i>	4	Dipolo-dipolo
4	<i>Awaruwanau</i>	4	Dipolo-gradiente
5	<i>Bashaidrun</i>	4	Dipolo-dipolo
6	<i>Maruranau</i>	4	Dipolo-gradiente
7	<i>Shea</i>	4	Dipolo-dipolo
8	<i>Churikidnau</i>	4	Dipolo-dipolo

Fonte: A Autora, 2019.

Os dados foram processados no *software EarthImager* 2D. As configurações iniciais consideraram a remoção prévia de dados com: 1) valores negativos de resistividade; 2) valores

de potencial elétrico abaixo de 0,2 mV; 3) valores de resistividade aparente abaixo de 1ohm.m e acima de 10.000 ohm.m; 4) erro recíproco acima de 5%. Adicionalmente admitiu-se uma diferença máxima de 3% entre iterações sucessivas e um erro entre posições recíprocas de no máximo 5%. O método adotado na inversão dos dados foi o de inversão suavizada (OLDENBURG & LI, 1999).

Como dito no capítulo anterior, a perfuração dos poços foi realizada utilizando perfuradores Prominas modelo R-1S que tem capacidade de perfuração até 250 metros de profundidade. Na perfuração inicial dos poços foi utilizada broca tricônica com diâmetros 9,7/8", na fase intermediária *bits* com diâmetro de 8", e na etapa final, *bits* de 6" de diâmetro.

Foi executada uma seção de resistividade em cada comunidade durante o reconhecimento realizado em abril de 2018 com o objetivo de estimar a profundidade do *bedrock* e indicar os locais mais favoráveis para a perfuração. Posteriormente, durante a missão, em outubro de 2018, foram realizadas mais oito seções complementares, sendo algumas paralelas as anteriores e outras perpendiculares.

Os resultados da pesquisa de resistividade multieletrodo são úteis na estimativa do potencial de obtenção de água subterrânea, em particular, para estimar os melhores locais de perfuração. Os locais de perfuração são selecionados com base nas propriedades hidrogeológicas das várias litologias. O equipamento utilizado foi o Resistímetro *SuperStingR8*, com 84 eletrodos, cedido pelo 1º Grupamento de Engenharia do Exército Brasileiro. O espaçamento das seções variou de 3 a 4m, com extensão de 256 a 336m e profundidade de investigação entre 50 a 70m. Foram utilizados arranjo dipolo-dipolo e dipolo-gradiente.

Os locais de perfuração potencialmente favoráveis (Tabela 4) foram selecionados procurando as formações com baixa resistividade (<50 Ohm-s), máxima espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, possibilitando a percolação em aquíferos mais profundos.

Tabela 4 - Detalhes das seções de Eletrorresistividade – Locais Potencialmente favoráveis

Seção	Coordenadas do centro	Comprimento seção	Espaçamento eletrodos	Tipo arranjo
1	02° 28.491'59" 19.046	240	3	Dipolo-dipolo
2	02° 28.491'59" 19.046	240	3	Dipolo-dipolo
3	02° 17.280'59" 34.819'	336	4	Dipolo-dipolo
4	02° 38.793'59" 11.733'	336	4	Dipolo-gradiente

5	02° 22.360'59" 53.541'	336	4	Dipolo-dipolo
6	02° 44.772'59" 09.702'	336	4	Dipolo-gradiente
7	02° 48.894'; 59° 08.795'	336	4	Dipolo-dipolo
8	02° 31.982' 59° 16.607'	336	4	Dipolo-dipolo

Fonte: A Autora, 2019.

Os valores adotados de resistividade para cada tipo litológico estão indicados na Tabela 5. As posições indicadas para cada perfuração ao longo das seções se encontram na Tabela 6.

Tabela 5 - Valores de resistividade para as diferentes unidades litológicas

Unidades litológicas	Resistividade (Ohm.m)
Solo + regolito arenoso	4 (solo argiloso saturado) e 1000 (regolito)
Saprolito laminado	30 a 120
Zona fraturada	120 – 500
Embasamento cristalino	>500

Fonte: A Autora, 2019.

Tabela 6 - Locais indicados para perfuração.

Seção	Localidade	Local de perfuração no perfil	Local de perfuração alternativo no perfil
1	<i>Aishalton</i>	137m	40
2	<i>Karaudarnau</i>	70	54
3	<i>Achawib</i>	144	256
4	<i>Awaruwanau</i>	173	276
5	<i>Bashaidrum</i>	208	132
6	<i>Maruranau</i>	152	242
7	<i>Shea</i>	260	48
8	<i>Churikidnau</i>	256	152

Fonte: A Autora, 2019.

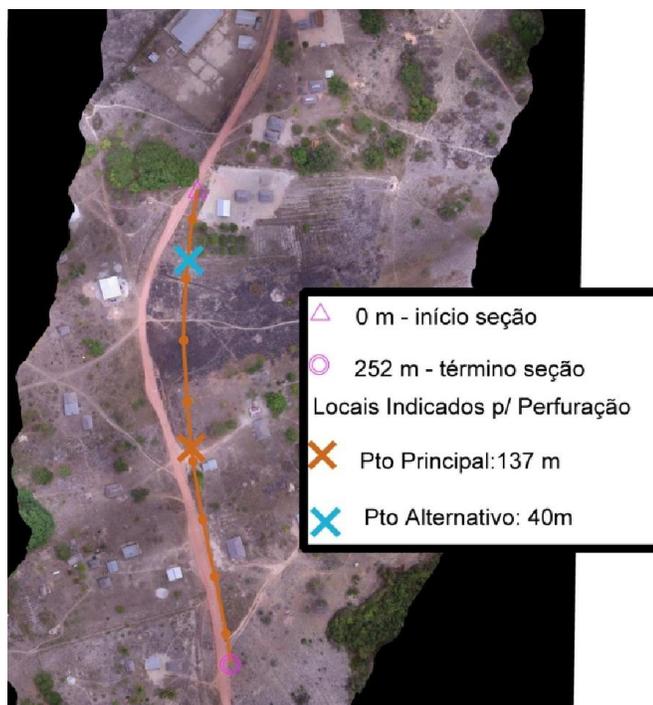
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão mostradas as imagens dos locais das perfurações e sondagens geolétricas, seus respectivos perfis de eletrorresistividade gerados, interpretações e conclusões. Além disso, também são mostrados os dados das perfurações dos poços (todas nos locais indicados), seus dados técnicos, comprovando a eficácia do método para prospecção de água subterrânea também em terrenos cristalinos.

4.1 COMUNIDADE 1: AISHALTON

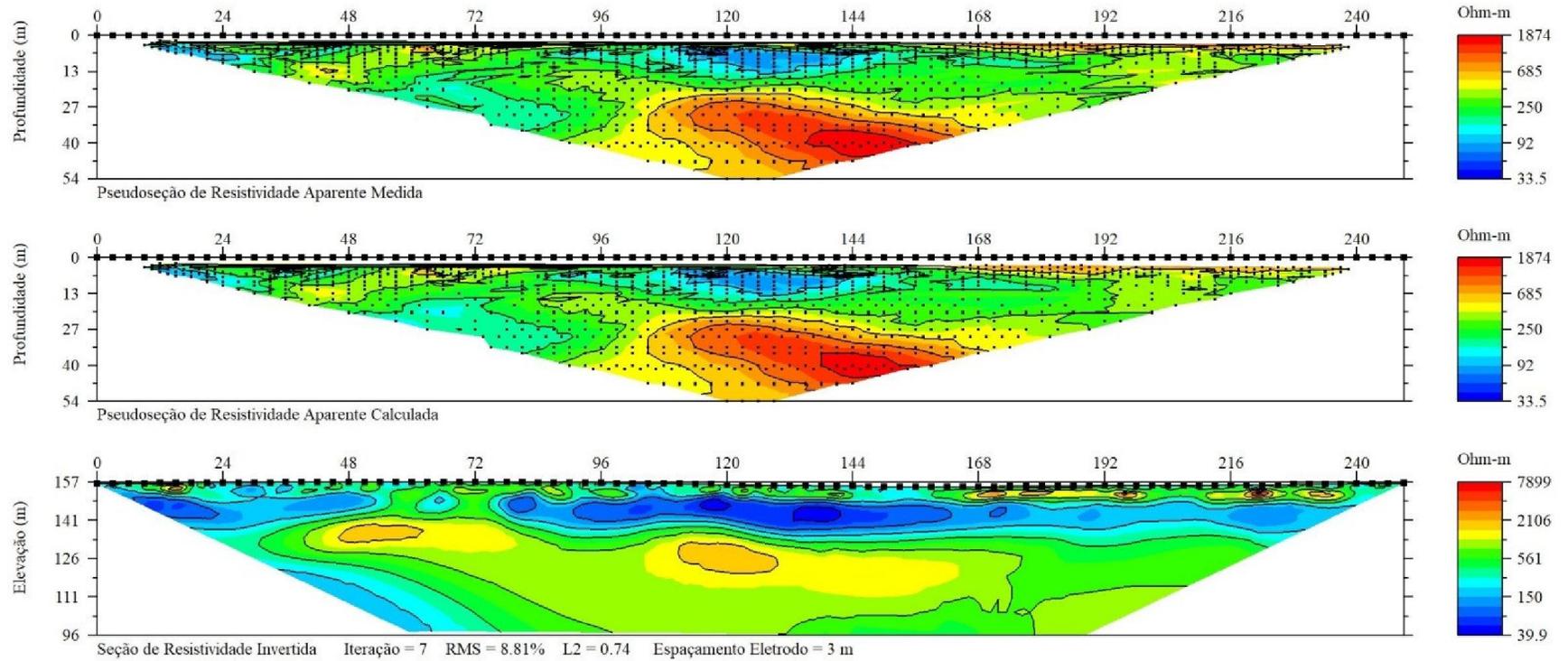
A primeira seção foi feita na comunidade de *Aishalton*, no dia 20 de março de 2018. O ponto inicial possui coordenadas 02 28.558' e 59 19.044'; o ponto médio com coordenadas 02 28.491' e 59 19.046; e o ponto final com coordenadas 02 28.42659' e 19.033'. Os locais de perfuração indicados na seção são: 137m como ponto principal e, como ponto alternativo, 40 m. A **Erro! Autorreferência de marcador inválida.** mostra a área de localidade de *Aishalton* mostrando a localização da seção de resistividade realizada na fase de reconhecimento no mês de abril de 2018 e a localização principal do local de iniciação do poço, a 137m do início da seção 1.

Figura 3 - Imagem aérea de localidade de *Aishalton*



Fonte: Google Earth, 2019.

Figura 4 - Seção geoeétrica invertida realizada para a perfuração na Comunidade de *Aishalton*



Fonte: *Software EarthImager 2D*, 2019.

INFORMAÇÕES:

A Figura 4 apresenta três seções geoeletricas. A superior corresponde à distribuição dos valores de resistividade aparente medidos. A intermediária aos valores de resistividade aparente calculados considerando o modelo de distribuição dos valores de resistividade reais (seção inferior). O processo de inversão é iterativo. O objetivo é minimizar a diferença entre a seção superior e a seção inferior. Quando essa diferença se torna mínima a seção inferior é considerada satisfatória e representativa da subsuperfície.

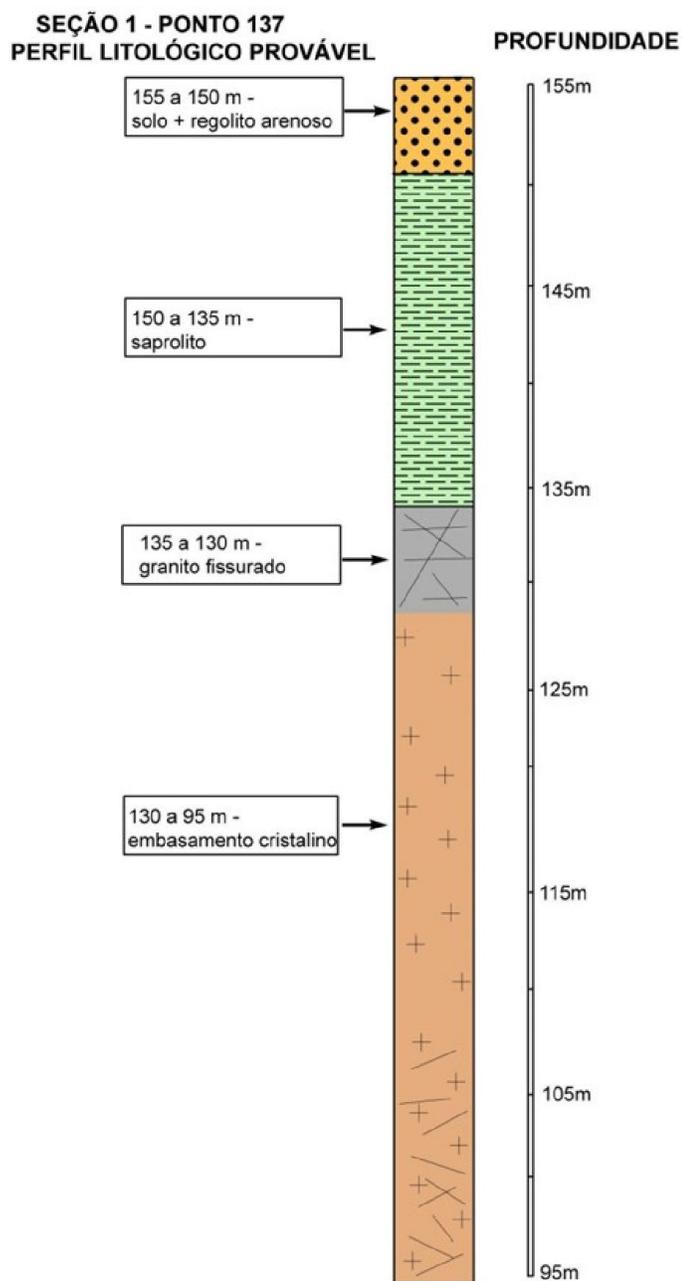
No levantamento foi utilizado espaçamento de 3m entre os eletrodos totalizando 252m. Foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo e o local de perfuração potencialmente favorável foi estimado buscando as formações com baixa resistividade ($<50 \text{ Ohm-s}$), máxima espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, possibilitando a percolação em aquíferos mais profundos.

Com a junção de interpretações dos dados levantados, foi escolhido como ponto principal o local indicado pela seta vermelha nas Figuras 3 e 4, a 137m do início da seção de resistividade.

4.1.1 Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de *Aishalton*

Depois de localizados os poços e analisados os perfis Geofísicos, foi estimado um perfil litológico (antes da perfuração) baseado nos mapas encontrados na literatura, além das interpretações geolíticas

Figura 5 - Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de *Aishalton*



Fonte: A Autora, 2019.

4.1.2 Relatório com dados técnicos da perfuração do poço tubular profundo da comunidade de *Aishalton*:

Local da Perfuração: *Aishalton*

Início da perfuração: 12/10/18

Término da perfuração: 14/10/18

Coordenadas: 02°28.558' e 59°19.044'

Poço perfurado pela equipe do 1º Sargento Rafael

- **Profundidade:**

80 metros.

- **Perfuração:**

De 00 a 09 metros – diâmetro de Ø 9.7/8”.

De 09 a 16 metros – diâmetro de Ø 8”.

De 16 a 80 metros - diâmetro de Ø 6”.

- **Geologia do local:**

De 00 a 09 metros – Solo Areno Argiloso.

De 09 a 80 metros – Granito cinza-amarelado de granulação fina.

- **Revestimento:**

De 00 a 12 metros - Tubo Liso Geomecânico Leve Ø 6”.

De 00 a 16 metros -selo sanitário - 1m³ de concreto.

- **Desinfecção:**

Air-lift com bico jato por 3 horas e adição de hipoclorito de sódio.

- **Laje de proteção:**

Medidas - 1 m x 1 m x 20 cm

- **RESULTADO DO TESTE DE VAZÃO:**

Vazão– 3000 l/h

Crivo da Bomba - 90 metros

Nível Estático - 2 metros.

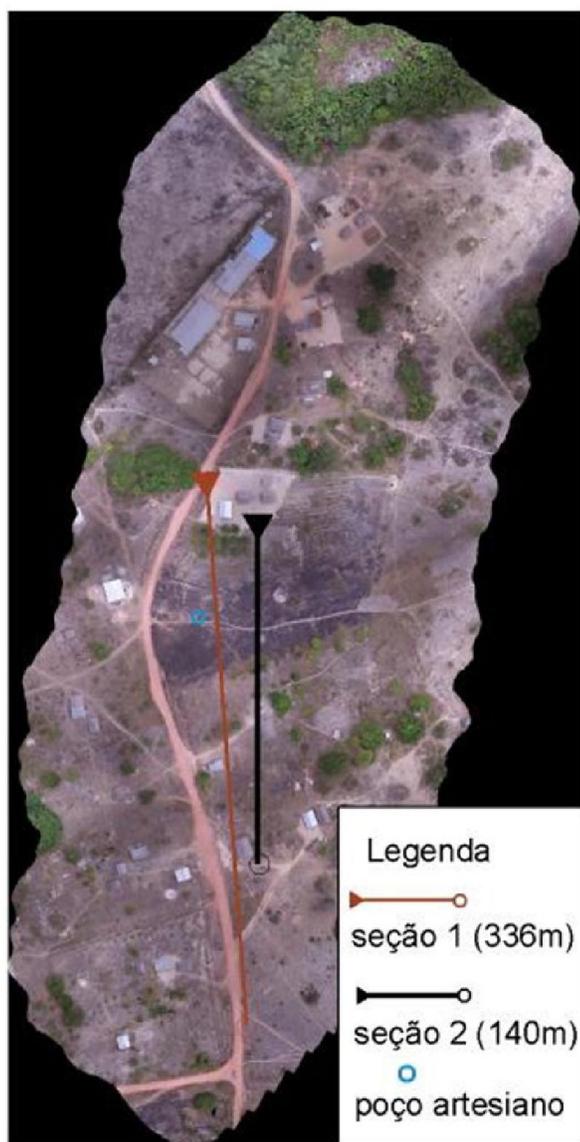
Nível Dinâmico - 70 metros.

Tubo edutor (diâmetro) - 2"

- **LOCALIZAÇÃO DO POÇO:**

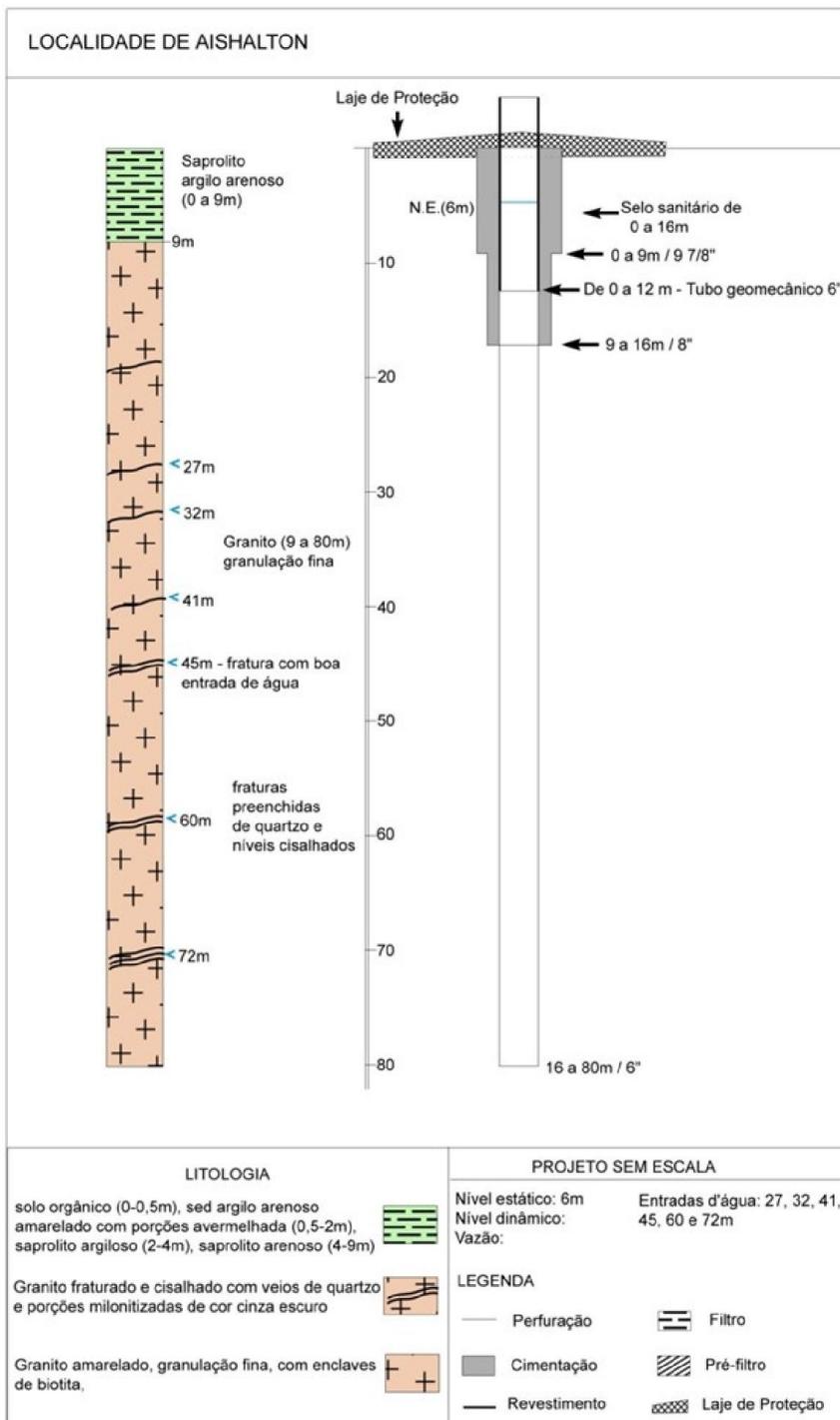
-

Figura 6 - Imagem aérea da localidade de *Aishalton*, mostrando as seções de resistividade realizadas em outubro de 2018.



Fonte: Google Earth, 2018.

Figura 7- Perfil construtivo real (pós perfuração) do poço perfurado em *Aishalton*.



Fonte: A Autora, 2019.

4.1.3 Discussões dos resultados obtidos na comunidade de *Aishalton*

Coordenadas definidas no levantamento, em março de 2018: **02° 28.491'** e **59° 19.046**.

Coordenadas de perfuração definidas em outubro de 2018: **02°28.558'** e **59°19.044'**.

Com os dados acima apresentados (estudos, locação e perfuração) concluímos que o local estimado para a perfuração na comunidade, baseada nos baixos valores de resistividade representados na seção geolétrica, considera-se potencial da presença de zonas fraturadas no embasamento cristalino, constituindo zonas preferenciais para a perfuração de poços para a produção de água subterrânea.

Na fase de perfuração, outubro de 2018, para essa comunidade, não foi utilizada a seção geolétrica feita em março de 2018. O local de perfuração a 137m do início da seção 1 da Figura 6.

4.2 COMUNIDADE 2: KARAUDARNAU

Nesta seção, serão mostradas as imagens dos locais das perfurações e sondagens geolétricas, seus respectivos perfis de eletrorresistividade gerados, interpretações e conclusões para a segunda comunidade, *Karaudarnau*. Além disso, também são mostrados os dados das perfurações dos poços (todas nos locais indicados), seus dados técnicos, comprovando a eficácia do método para prospecção de água subterrânea.

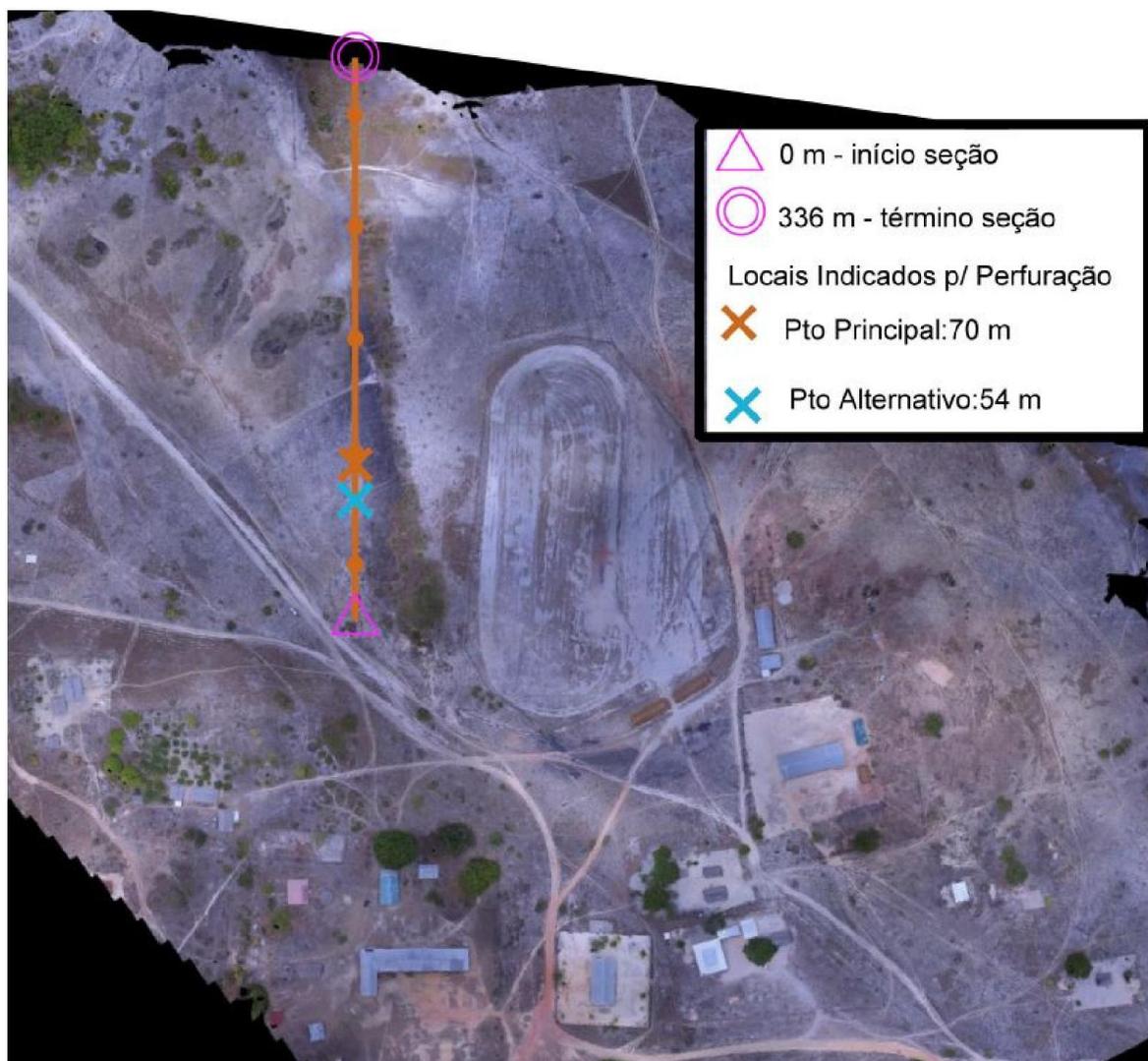
Data levantamento: 21 de Março de 2018

Ponto inicial 02°28.558' ; 59° 19.044' Ponto médio: 02° 28.491' ; 59° 19.046 e Ponto final 02°28.426' ; 59° 19.033'.

Local de perfuração na seção: 70 m;

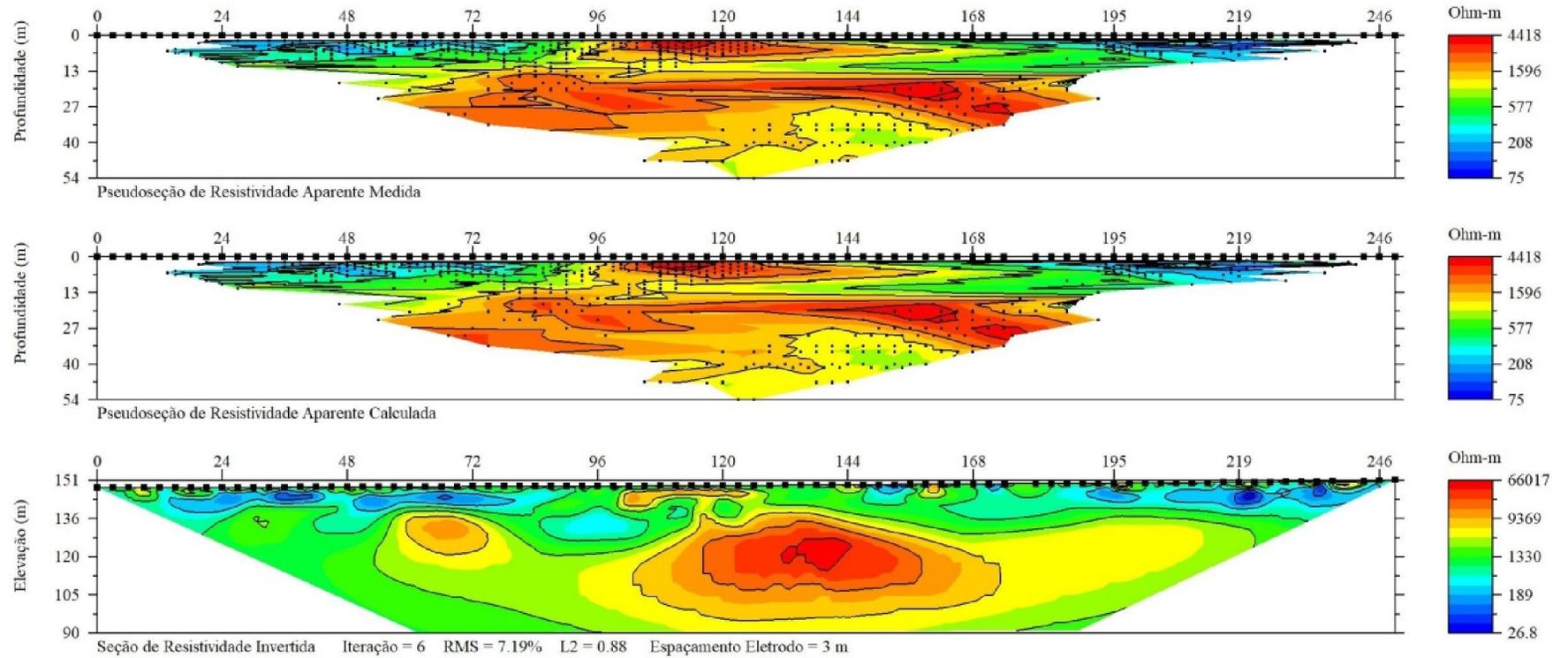
Local alternativo de perfuração: 54m.

Figura 8 - Imagem aérea da comunidade de *Karadarnau*



Fonte: Google Earth, 2018

Figura 9 - Seção geolétrica invertida da seção 2



Fonte: Software EarthImager 2D, 2019

INFORMAÇÕES:

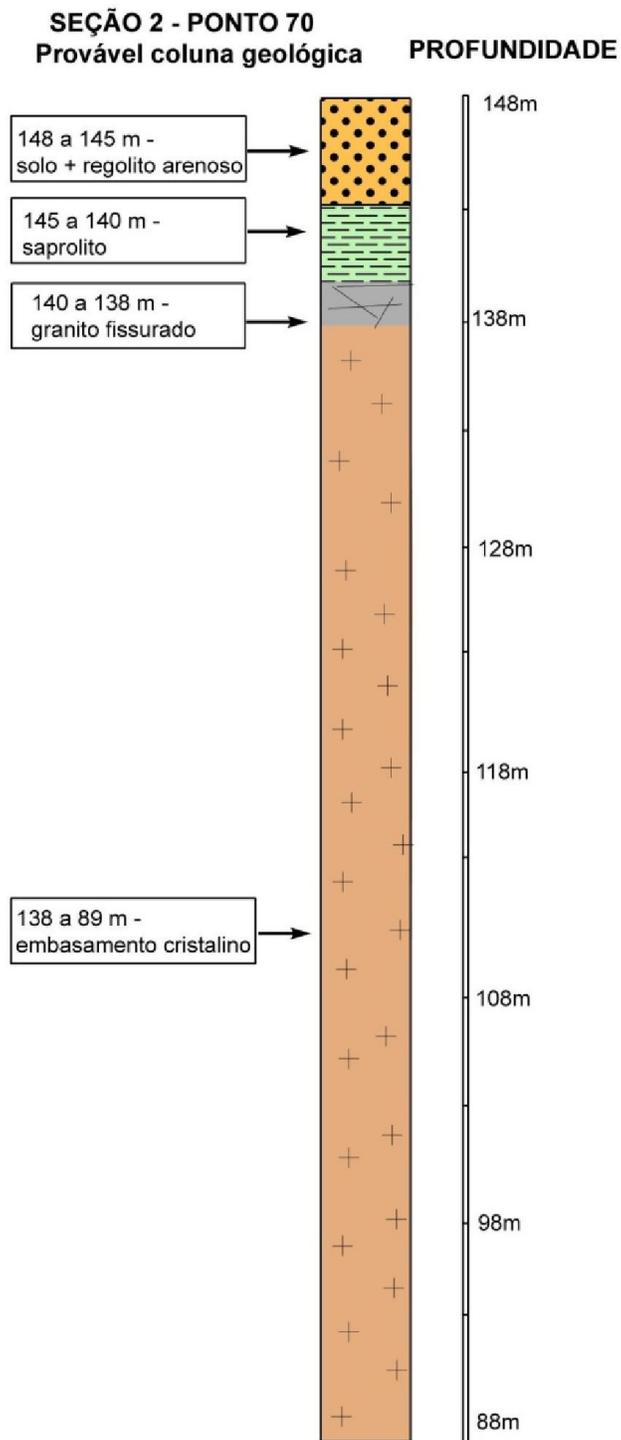
A Figura 9 apresenta três seções geoeletricas. A superior corresponde à distribuição dos valores de resistividade aparente medidos. A intermediária aos valores de resistividade aparente calculados considerando o modelo de distribuição dos valores de resistividade reais (seção inferior). O processo de inversão é iterativo. O objetivo é minimizar a diferença entre a seção superior e a seção inferior. Quando essa diferença se torna mínima a seção inferior é considerada satisfatória e representativa da subsuperfície.

No levantamento foi utilizado espaçamento de 3m entre os eletrodos totalizando 336m. Foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo e o local de perfuração potencialmente favorável foi estimado buscando as formações com baixa resistividade (<50 Ohm-s), máxima espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, possibilitando a percolação em aquíferos mais profundos.

Com a junção de interpretações dos dados levantados, foi escolhido como ponto principal o local indicado pela seta vermelha na Figura 8 e 9 a 70m do início da seção de resistividade. Na fase de perfuração, outubro de 2018, para essa comunidade, não foi feita alguma outra seção geoeletrica, portando a imagem aérea correspondente é a Figura 8.

4.1.4 Perfil litológico estimado (antes da perfuração) para a comunidade 2: *Karadarnau*

Figura 10 - Perfil litológico estimado para perfuração na comunidade de *Karadarnau*



Fonte: A Autora, 2018.

4.1.5 Relatório final de perfuração (pós-perfuração) do poço tubular profundo da comunidade de *Karaudarnau*:

Local da Perfuração: *Karaudarnau*

Início da perfuração: 12/10/18

Término da perfuração: 14/10/18

Coordenadas: 02°28.558'; 59°19.044'

Perfurado pela equipe do 1º Sargento Rafael

- **PROFUNDIDADE:**

80 metros.

- **PERFURAÇÃO:**

De 00 a 04 metros – diâmetro de Ø 9.7/8”.

De 04 a 08 metros – diâmetro de Ø 8”.

De 08 a 80 metros - diâmetro de Ø 6”.

- **GEOLOGIA DO LOCAL:**

De 00 a 04 metros – Solo Areno Argiloso.

De 04 a 32 metros – Granito cinza-amarelado de granulação fina a média, com enclaves.

De 32 a 80 metros - Rocha básica e metasiltito cinza esverdeado.

- **REVESTIMENTO:**

De 00 a 08 metros - Tubo Liso Geomecânico Leve Ø 6”.

De 00 a 08 metros -selo sanitário - 1m³ de concreto

- **DESINFECÇÃO:**

Air-lift com bico jato por 3 horas e adição de hipoclorito de sódio.

- **LAJE DE PROTEÇÃO:**

Medidas - 1 m x 1 m x 20 cm

- **RESULTADO DO TESTE DE VAZÃO:**

Vazão -

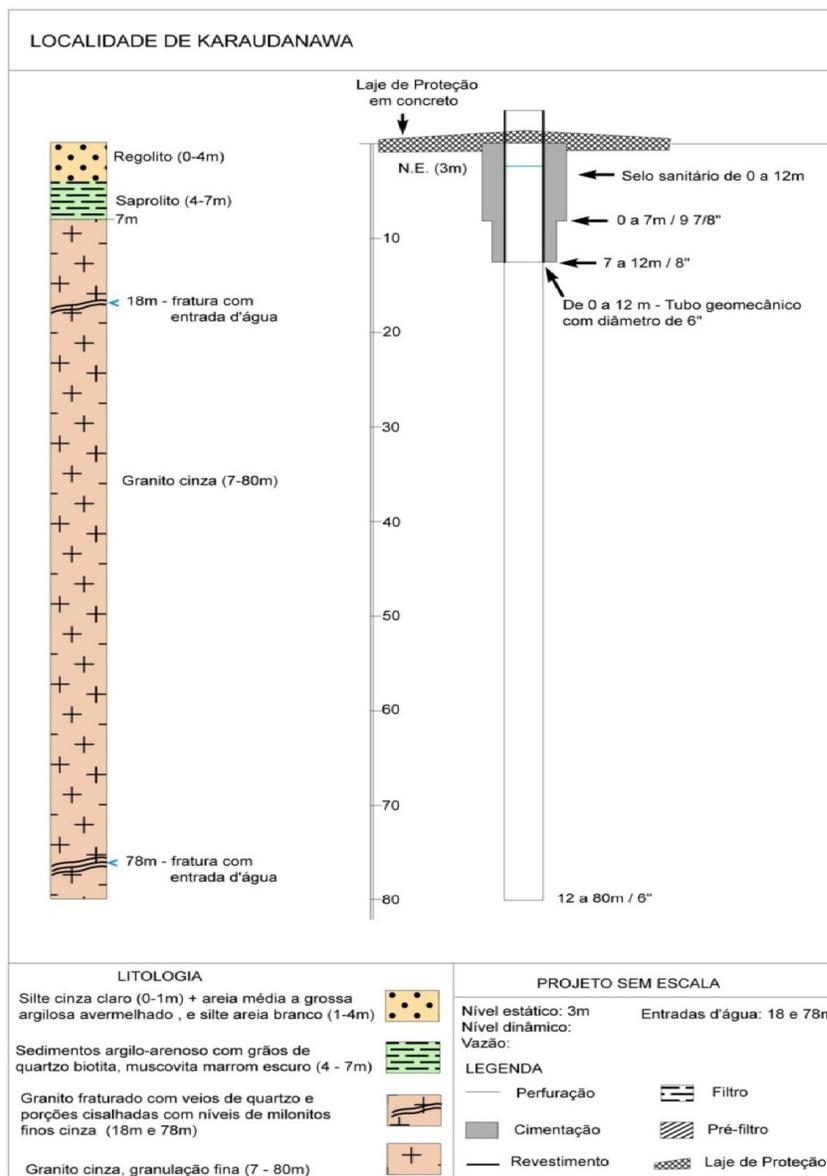
Crivo da Bomba - 73 metros

Nível Estático - 2 metros.

Nível Dinâmico - 70 metros.

Tubo edutor - 1 1/2"

Figura 11 - Perfil construtivo do poço perfurado em *Karaudarnau*



Fonte: A Autora, 2019.

4.1.6 Discussões dos resultados obtidos na comunidade de *Karaudarnau*

Com os dados acima apresentados (estudos, locação e perfuração) concluímos que o local estimado para a perfuração na comunidade, baseado nos baixos valores de resistividade representados na seção geoeétrica, uma vez perfurado e produtivo, considera-se potencial para presença de zonas fraturadas no embasamento cristalino, constituindo zonas preferenciais para a perfuração de poços para a produção de água subterrânea.

Na fase de perfuração, outubro de 2018, para a perfuração nessa comunidade foi utilizada a seção geoeétrica feita em março de 2018. Não foi feita nenhuma seção complementar em outubro de 2018. O local da perfuração fica a 70 m do início da seção de 336 m como mostra a figura 8.

4.2 COMUNIDADE 3: ACHIWIB

Nesta seção, serão mostradas as imagens dos locais das perfurações e sondagens geoeétricas, seus respectivos perfis de eletrorresistividade gerados, interpretações e conclusões para a comunidade de Achiwib. Além disso, também são mostrados os dados das perfurações dos poços (todas nos locais indicados), seus dados técnicos, comprovando a eficácia do método

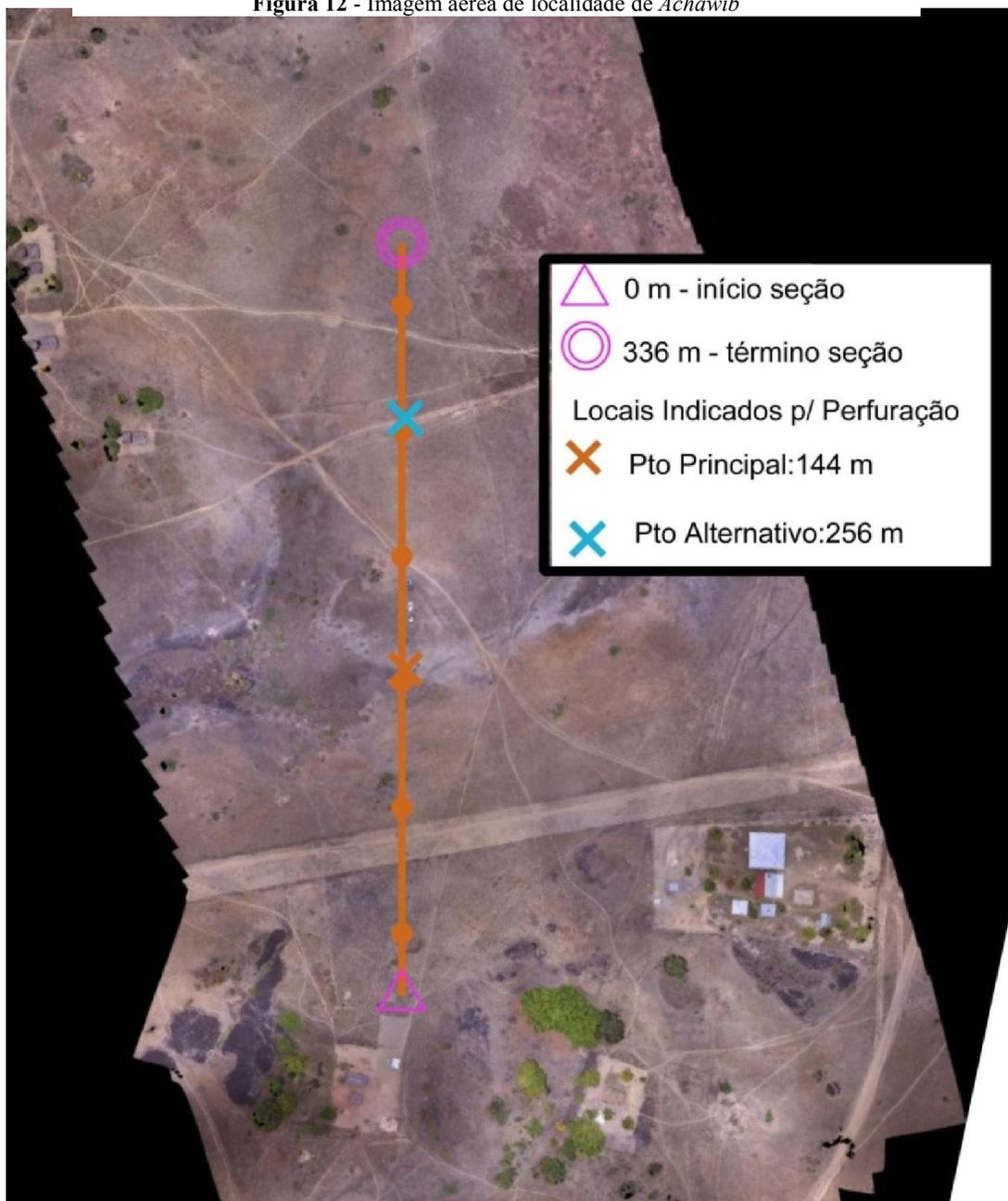
Comunidade: *Achuwib*

Data de levantamento: 22 de março de 2018

Ponto inicial: 02° 17.194'; 59° 34.799'. Ponto médio: 02° 17.280' 59° 34.819' Ponto final 02° 17.370 59° 34.839'.

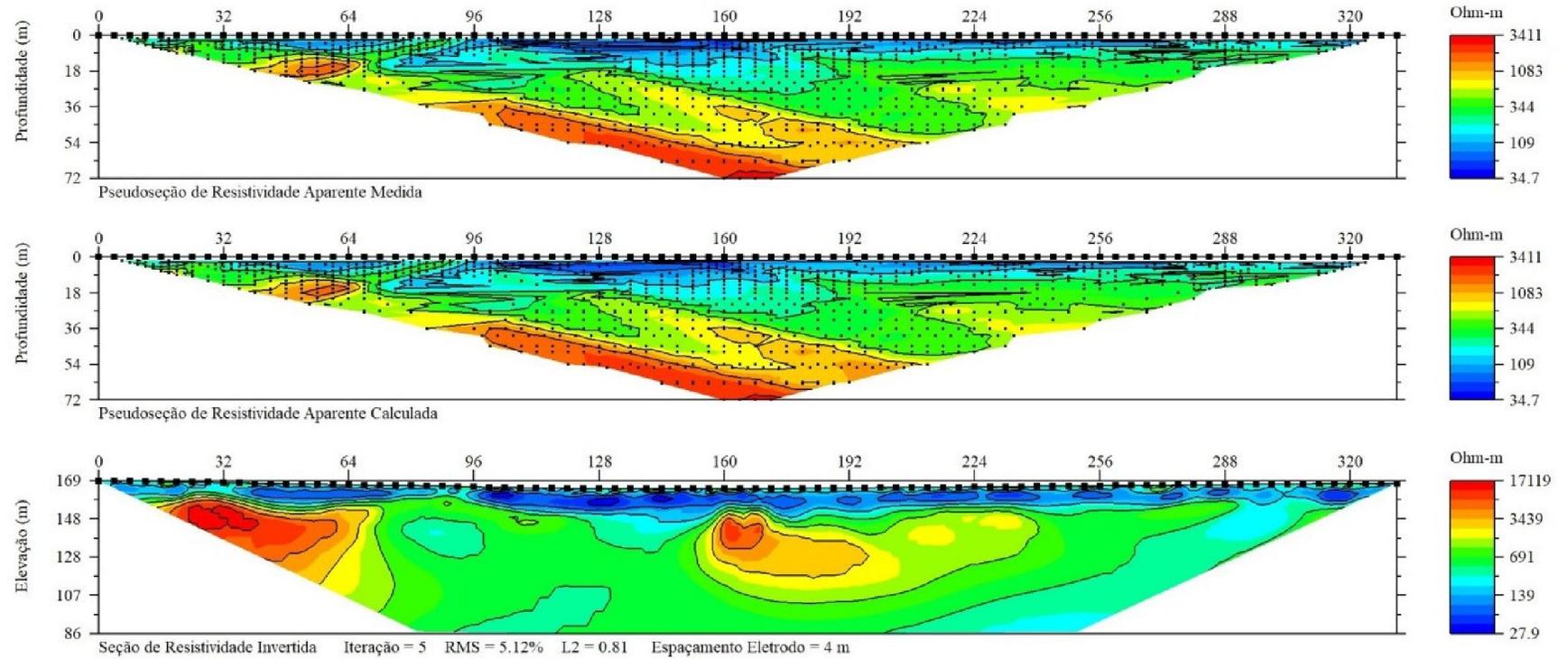
Local de perfuração na seção: 144m do início (Figura 12).

Local alternativo de perfuração: 256m.

Figura 12 - Imagem aérea de localidade de *Achawib*

Fonte: Google Earth, 2018

Figura 13 - Seção geoeétrica invertida da seção



Fonte: *Software EarthImager 2D*, 2019.

INFORMAÇÕES:

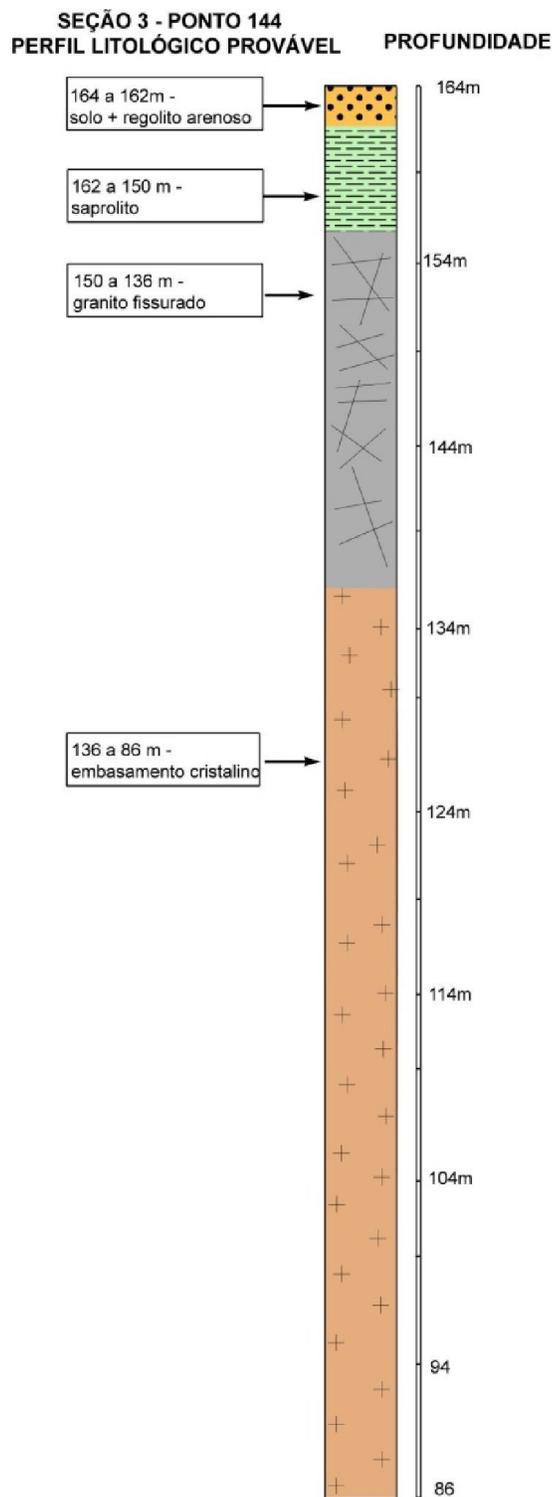
A Figura 13 apresenta três seções geoeletricas. A superior corresponde à distribuição dos valores de resistividade aparente medidos. A intermediária aos valores de resistividade aparente calculados considerando o modelo de distribuição dos valores de resistividade reais (seção inferior). O processo de inversão é iterativo. O objetivo é minimizar a diferença entre a seção superior e a seção inferior. Quando essa diferença se torna mínima a seção inferior é considerada satisfatória e representativa da subsuperfície.

No levantamento foi utilizado espaçamento de 4 m entre os eletrodos totalizando 320 m. Foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo e o local de perfuração potencialmente favorável foi estimado buscando formações com baixa resistividade (<50 Ohm-s), máxima espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, possibilitando a percolação em aquíferos mais profundos.

Com a junção de interpretações dos dados levantados, foi escolhido como ponto principal o local indicado na Figuras 12 e 13 do início da seção de resistividade. Na fase de perfuração, outubro de 2018, para essa comunidade, foram feitas outras seções geoeletricas portando a imagem aérea correspondente é a Figura 12.

4.2.1 Perfil litológico estimado (antes da perfuração) para a comunidade 3: *Achawib*

Figura 14 - Perfil construtivo do poço perfurado em *Achawib*



4.2.2 Relatório final de perfuração do poço tubular profundo da comunidade de *Achiwib*

Local da perfuração: *Achiwib*

Início da perfuração: 30/10/18

Término da perfuração: 31/10/18

Coordenadas: 02°17.278'; 59°34.708'

Equipe do 2º Sargento Francinaldo

- PROFUNDIDADE:

60 metros.

- PERFURAÇÃO:

De 00 a 07 metros – diâmetro de Ø 10.1/2”.

De 07 a 10 metros – diâmetro de Ø 8”.

De 10 a 60 metros - diâmetro de Ø 6”.

- GEOLOGIA DO LOCAL:

De 00 a 10 metros – Solo Areno Argiloso.

De 10 a 60 metros – Granito cinza de granulação fina.

- REVESTIMENTO:

De 00 a 10 metros - Tubo Liso Geomecânico Leve Ø 6”.

De 00 a 10 metros:selo sanitário - 1m³ de concreto.

- DESINFECÇÃO:

Air-lift com bico jato por 3 horas e adição de hipoclorito de sódio.

- LAJE DE PROTEÇÃO:

Medidas - 1 m x 1 m x 20 cm

- RESULTADO DO TESTE DE VAZÃO:

Vazão - 3.000L/H.

Crivo da Bomba - 53 metros

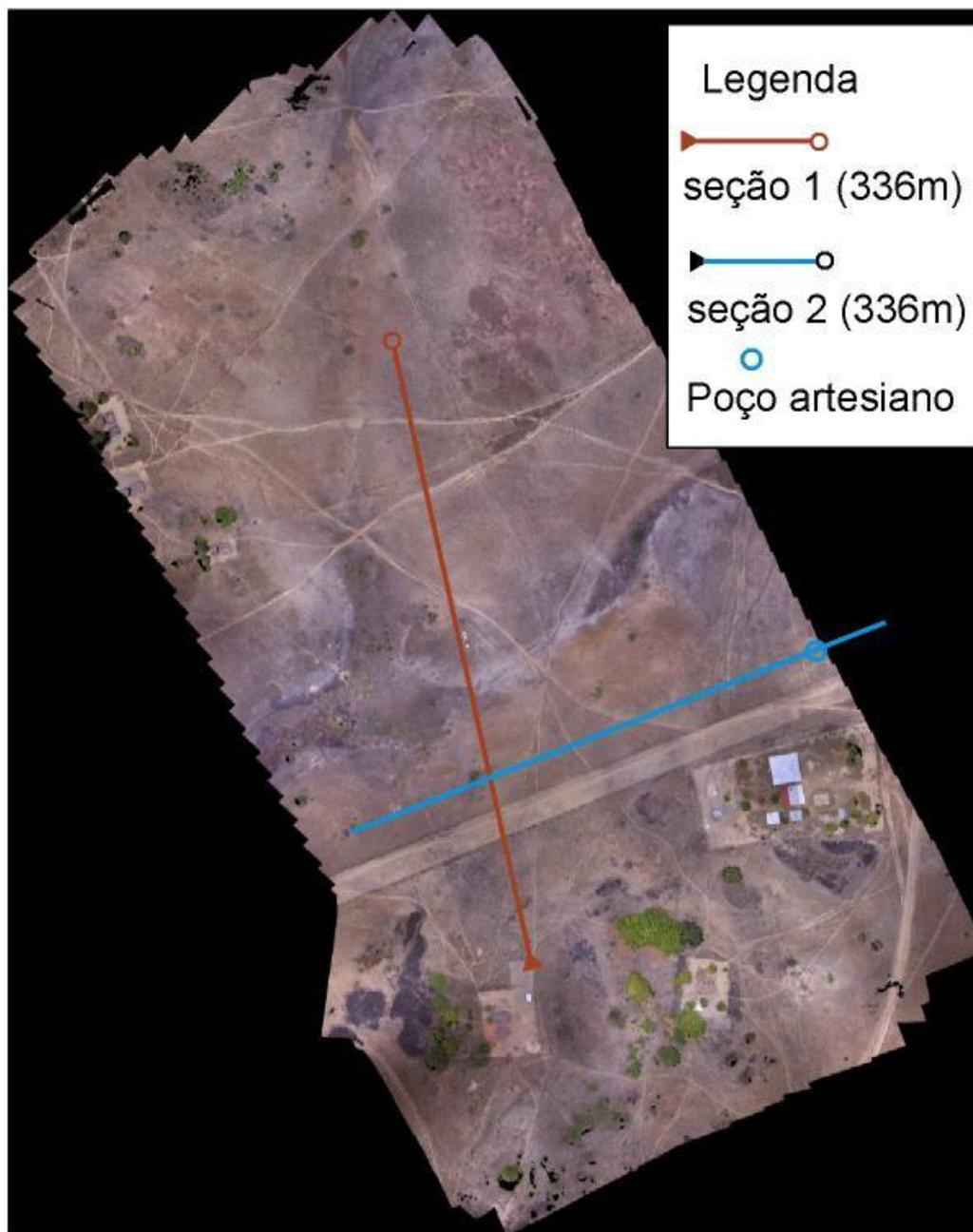
Nível Estático - 22 metros.

Nível Dinâmico - 70 metros.

Tubo Edutor (diâmetro) - 1 1/2”

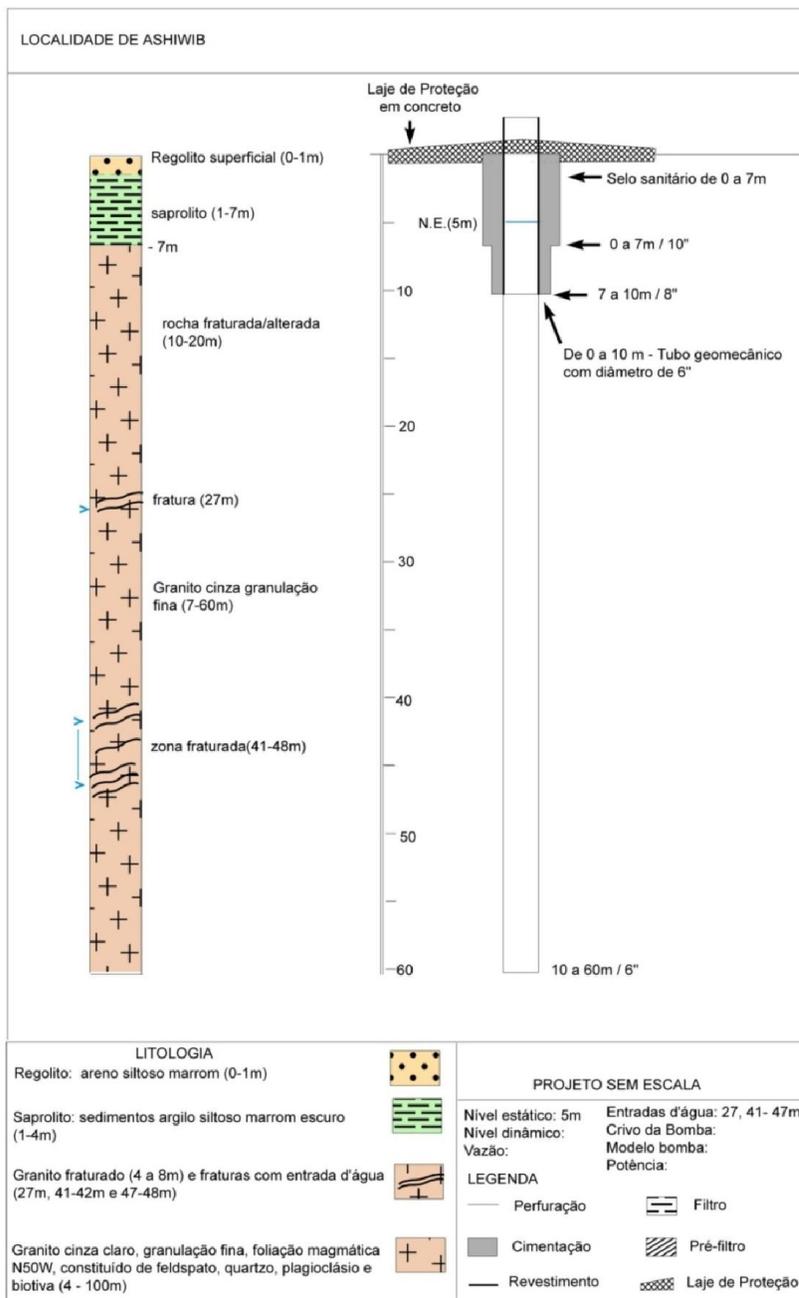
- LOCALIZAÇÃO DO POÇO DE ACHAWIB:

Figura 15 - Imagem aérea do local da perfuração na comunidade de *Achawib*



Fonte: Google Earth, 2019.

Figura 16 - Perfil construtivo do poço perfurado em *Achawib*



Fonte: A Autora, 2019.

4.2.3 Discussões dos resultados obtidos na comunidade de *Achawib*

Com os dados acima apresentados (estudos, locação e perfuração) concluímos que o local estimado para a perfuração na comunidade, baseado nos baixos valores de resistividade

representados na seção geométrica, uma vez perfurado e produtivo, considera-se potencial para presença de zonas fraturadas no embasamento cristalino, constituindo zonas preferenciais para a perfuração de poços para a produção de água subterrânea.

Na fase de perfuração, outubro de 2018, para a perfuração nessa comunidade foi utilizada uma nova seção geométrica feita em outubro de 2018, cruzando a seção executada em março. Ambas com 336m de extensão. O local da perfuração fica ao final de sua extensão (Figura 15).

4.4 COMUNIDADE 4: AWARUWAUNAU

Nesta seção, serão mostradas as imagens dos locais das perfurações e sondagens geométricas, seus respectivos perfis de eletrorresistividade gerados, interpretações e conclusões para a comunidade de *Awaruwanau*. Além disso, também são mostrados os dados das perfurações dos poços (todas nos locais indicados), seus dados técnicos, comprovando a eficácia do método

Comunidade: *Awaruwanau*

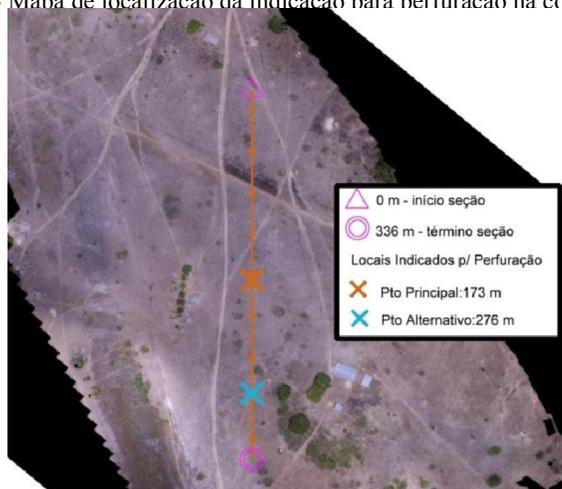
Data levantamento: 23 de março de 2018

Ponto inicial $02^{\circ} 38.861'$; $59^{\circ} 11.789'$ Ponto médio: $02^{\circ} 38.793'$ $59^{\circ} 11.733'$ Ponto final $02^{\circ} 38.726$ $59^{\circ} 11.677'$.

Local de perfuração na seção: 173m;

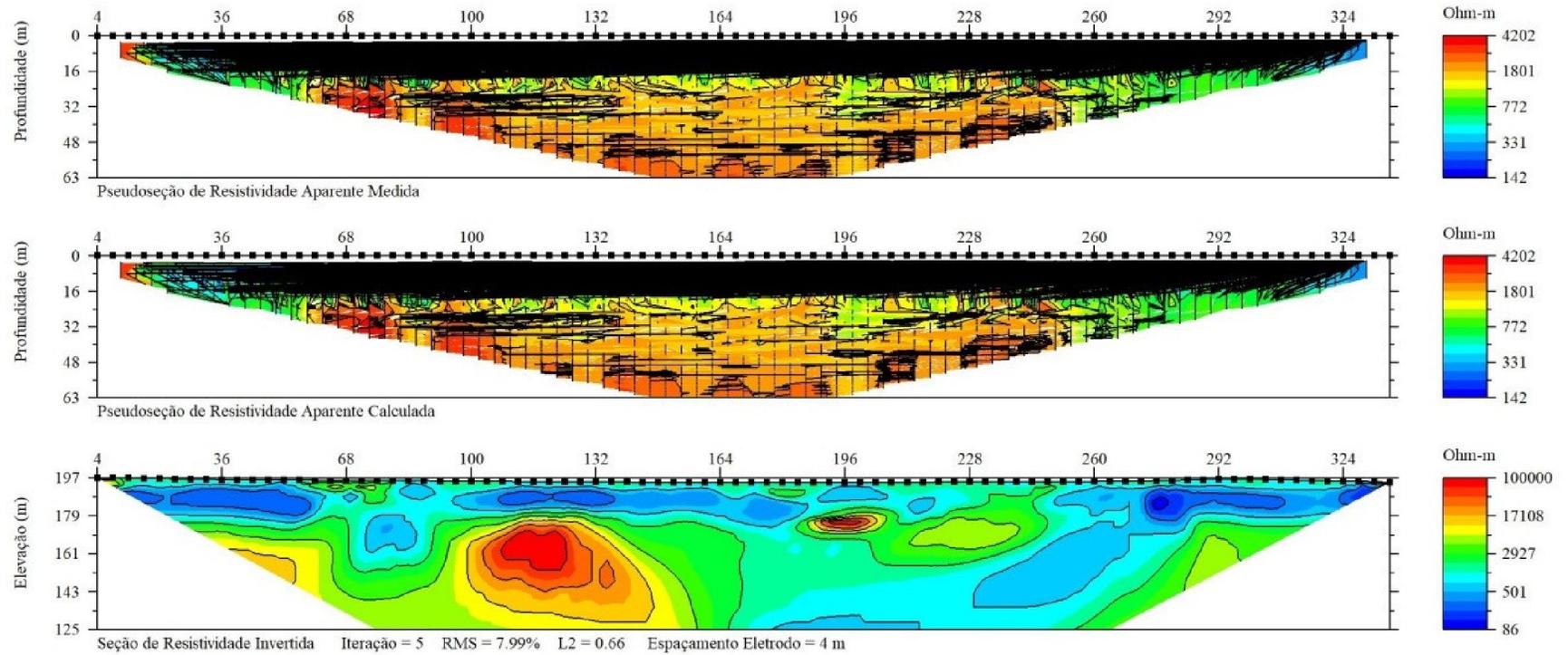
Local alternativo de perfuração: 276 m.

Figura 17 - Mapa de localização da indicação para perfuração na comunidade de *Awaruwanau*



Fonte: Google Earth, 2018.

Figura 18 - Seção geolétrica invertida da seção



Fonte: Software EarthImager 2D, 2019.

INFORMAÇÕES:

A Figura 18 apresenta três seções geelétricas. A superior corresponde à distribuição dos valores de resistividade aparente medidos. A intermediária aos valores de resistividade aparente calculados considerando o modelo de distribuição dos valores de resistividade reais (seção inferior). O processo de inversão é iterativo. O objetivo é minimizar a diferença entre a seção superior e a seção inferior. Quando essa diferença se torna mínima a seção inferior é considerada satisfatória e representativa da subsuperfície.

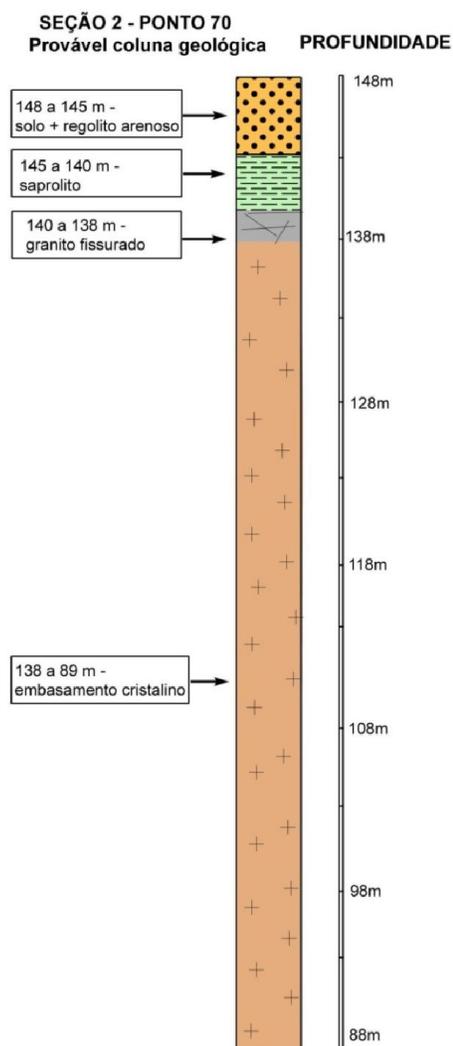
No levantamento foi utilizado espaçamento de 4 m entre os eletrodos totalizando 320 m. Foi utilizado o arranjo Dipolo-Gradiente e o local de perfuração potencialmente favorável foi estimado buscando formações com baixa resistividade ($<50 \text{ Ohm-s}$), máxima espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, possibilitando a percolação em aquíferos mais profundos.

Com a junção de interpretações dos dados levantados em março de 2018, foi escolhido como ponto principal o local indicado na Figura 17 a 173m do início da seção de resistividade de 336m. Já fase de perfuração, em outubro de 2018, foi realizado um novo estudo com duas novas seções geelétricas e um novo ponto de perfuração foi definido, cruzando as duas novas seções (Figura 21).

4.2.4 Perfil litológico estimado para a comunidade 4: Awarewanau

Será mostrado o perfil litológico estimado (antes da perfuração) para a comunidade de *Awaruwanau*, baseado nos mapas encontrados na litologia e na imagem geolétrica gerada no ponto investigado.

Figura 19 - perfil litológico estimado para a comunidade de Awaruwanau



Fonte: A Autora, 2018.

Local da Perfuração: *Awaruwanau*

Início da perfuração: 15/10/18

Término da perfuração: 26/10/18

Coordenadas: 02°38' 44"; 59°11' 42.6"

Equipe do 1º Sargento Rafael e do 2º Sargento Francinaldo.

- **PROFUNDIDADE:**

100 metros.

- **PERFURAÇÃO:**

De 00 a 08 metros – diâmetro de Ø 10.1/2".

De 08 a 14 metros – diâmetro de Ø 8".

De 14 a 100 metros - diâmetro de Ø 6".

- **GEOLOGIA DO LOCAL:**

De 00 a 08 metros – Solo Areno Argiloso.

De 08 a 100 metros – Granito cinza-amarelado de granulação média.

- **REVESTIMENTO:**

De 00 a 14 metros: Tubo Liso Geomecânico Leve Ø 6".

De 00 a 14 metros: selo sanitário - 1m³ de concreto.

- **DESINFECÇÃO:**

Air-lift com bico jato por 3 horas e adição de hipoclorito de sódio.

- **LAJE DE PROTEÇÃO:**

Medidas - 1 m x 1 m x 20 cm

- **RESULTADO DO TESTE DE VAZÃO:**

Vazão -

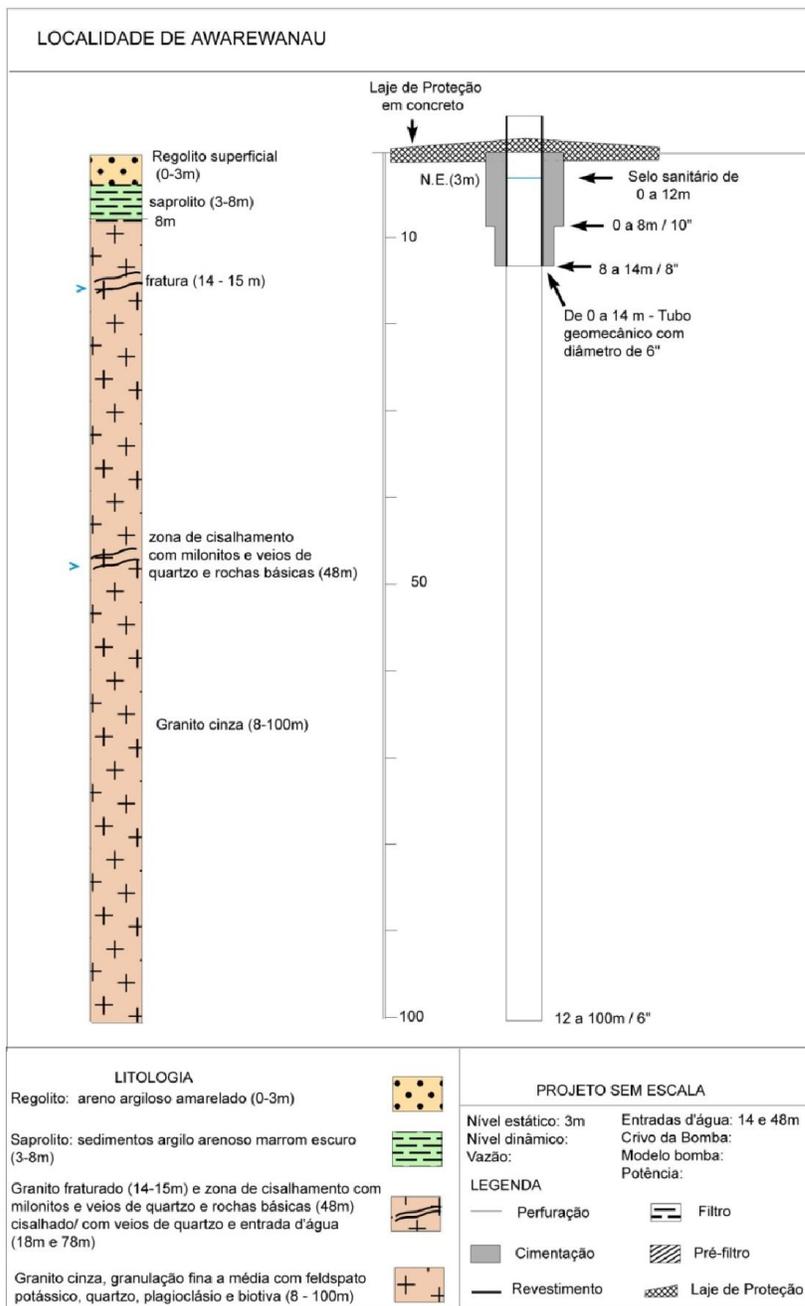
Crivo da Bomba - 81 metros

Nível Estático - 2,5 metros.

Nível Dinâmico - 70 metros.

Tubo edutor (diâmetro) - 2"

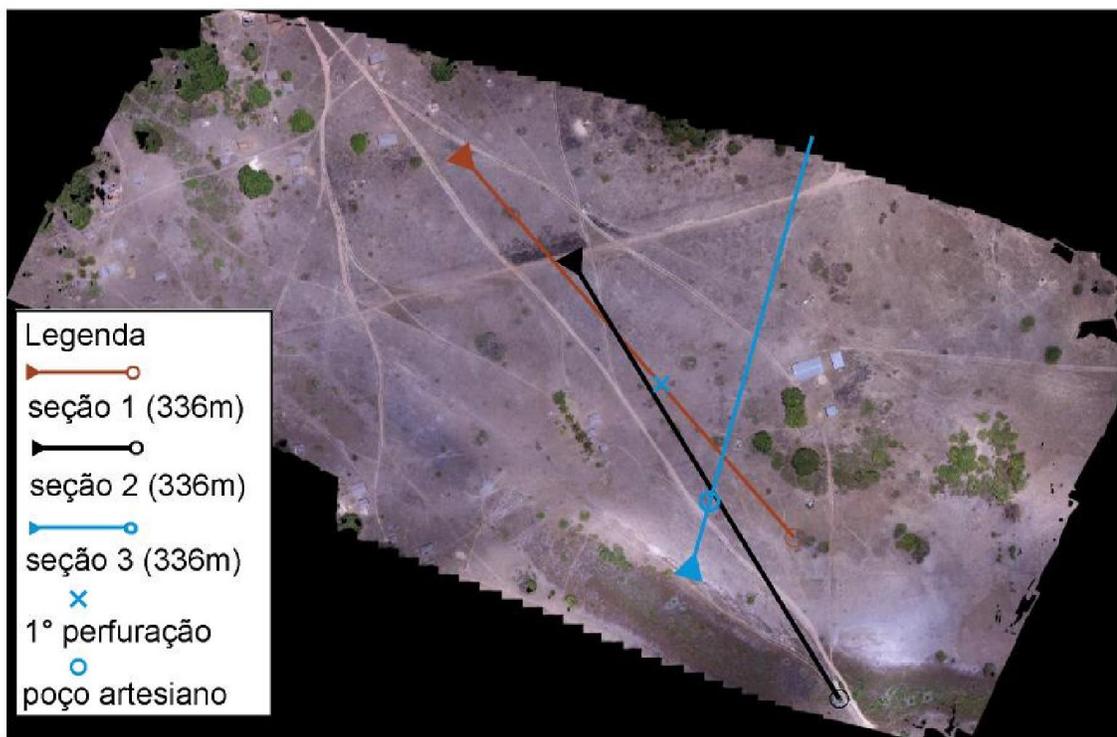
Figura 20 - Perfil litológico da perfuração na comunidade de Awarewanau



Fonte: A Autora, 2019.

• LOCALIZAÇÃO DO POÇO - AWARANAU

Figura 21 - Localização do poço da comunidade de Awaranau



Fonte: Google Earth, 2019.

4.2.5 Discussões dos resultados obtidos na comunidade de Awaranau

Com os dados acima apresentados (estudos, locação e perfuração) concluímos que o local estimado para a perfuração na comunidade, baseado nos baixos valores de resistividade representados na seção geoeletrica, uma vez perfurado e produtivo, considera-se potencial para presença de zonas fraturadas no embasamento cristalino, constituindo zonas preferenciais para a perfuração de poços para a produção de água subterrânea.

Na fase de perfuração, em outubro de 2018, para a perfuração nessa comunidade, foram realizadas mais duas novas seções geoeletricas e, como dito anteriormente: com a junção de interpretações dos dados levantados em março de 2018, foi escolhido um novo ponto de perfuração cruzando as duas novas seções (Figura 21).

Comunidade: *Bashaidrun*

Data levantamento: 24 de Março de 2018

Ponto inicial 02° 22.446'; 59° 53.564' Ponto médio: 02° 22.360; 59° 53.541' Ponto final 02° 22.272'; 59° 53.514';

Local de perfuração na seção: 208m;

Local alternativo de perfuração: 132m.

Fonte: Google Earth, 2018.

Figura 22 - Mapa de localização da comunidade de *Bashaidrun* com a indicação dos locais de perfuração

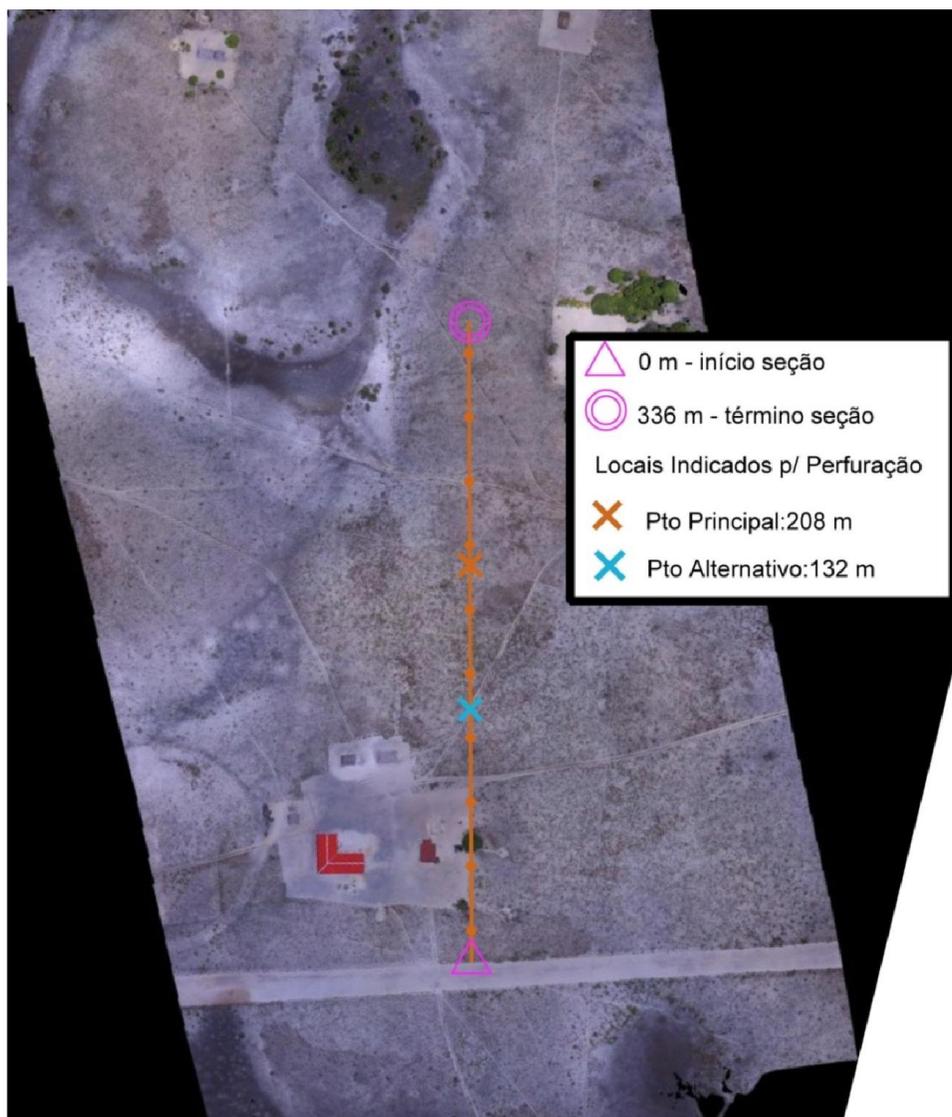
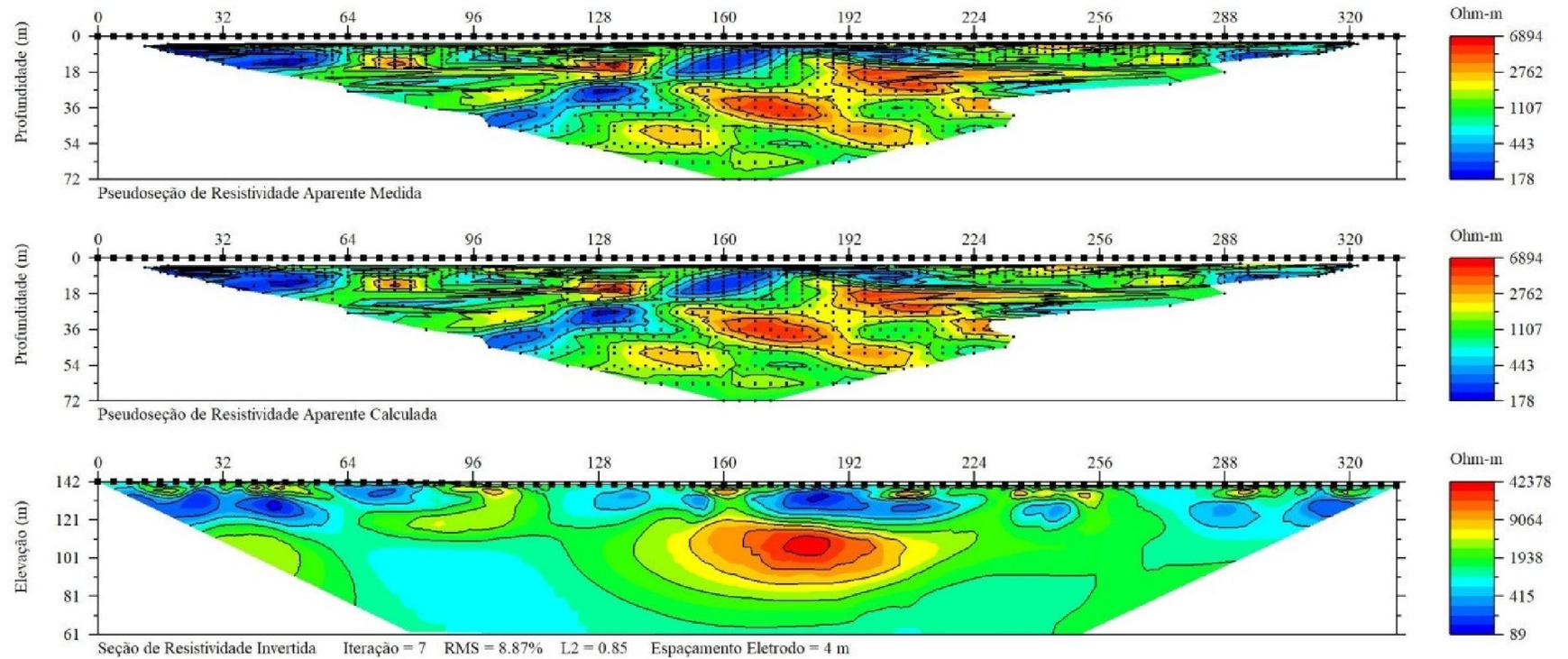


Figura 23 - Perfil de resistividade realizado na Comunidade de *Bashaidrun*



Fonte *Software EarthImager 2D*, 2019

INFORMAÇÕES:

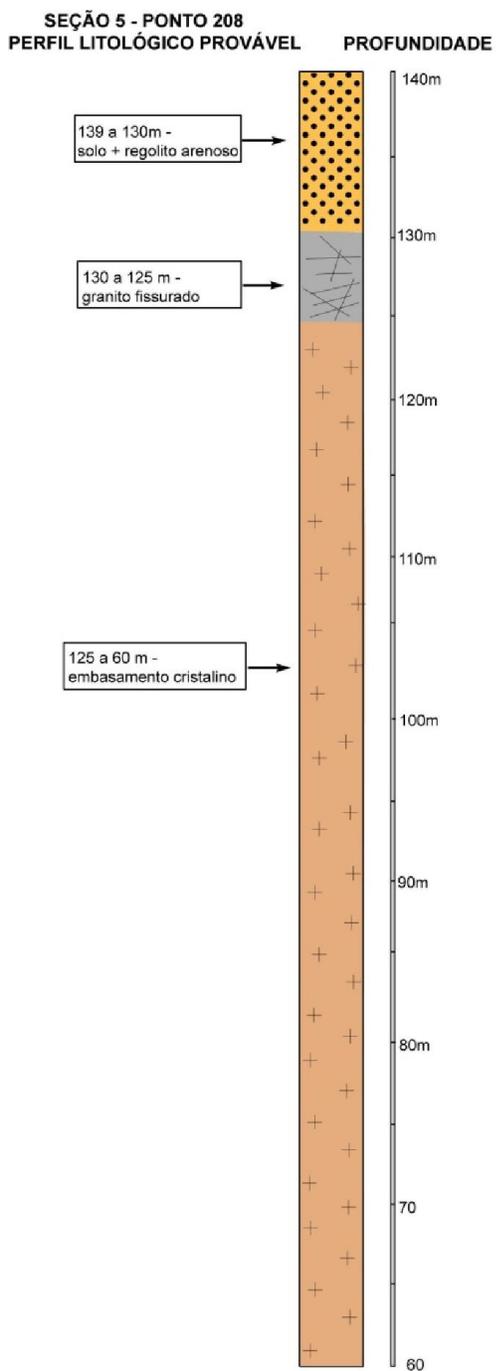
A Figura 23 apresenta três seções geoeletricas. A superior corresponde à distribuição dos valores de resistividade aparente medidos. A intermediária aos valores de resistividade aparente calculados considerando o modelo de distribuição dos valores de resistividade reais (seção inferior). O processo de inversão é iterativo. O objetivo é minimizar a diferença entre a seção superior e a seção inferior. Quando essa diferença se torna mínima a seção inferior é considerada satisfatória e representativa da subsuperfície.

No levantamento foi utilizado espaçamento de 4 m entre os eletrodos totalizando 336 m. Foi utilizado o arranjo Dipolo-Dipolo e o local de perfuração potencialmente favorável foi estimado, buscando formações com baixa resistividade (<50 Ohm-s), máxima espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, possibilitando a percolação em aquíferos mais profundos.

Com a junção de interpretações dos dados levantados em março de 2018, foi escolhido como ponto principal o local indicado na Figura 22 a 208 m do início da seção de resistividade que tem extensão de 336m. Já fase de perfuração, em outubro de 2018, foi realizada uma nova seção geoeletrica e um novo ponto de perfuração foi definido (Figura 22).

4.2.6 Perfil litológico estimado (antes da perfuração) para o poço na comunidade de *Bashaidrun*

Figura 24 - Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de *Baishaidrun*



Fonte: A Autora, 2018.

4.2.7 Relatório final de perfuração do poço tubular profundo da comunidade de *Bashaidrun* (dados da perfuração):

Local da Perfuração: *Bashaidrun*

Início da perfuração: 30/10/18

Término da perfuração: 01/11/18

Coordenadas: 02°22.416'; 59°53.512'

Equipe do 1º Sargento Rafael.

- **PROFUNDIDADE:**

80 metros.

- **PERFURAÇÃO:**

De 00 a 04 metros – diâmetro de Ø 9.7/8”.

De 04 a 07 metros – diâmetro de Ø 8”.

De 07 a 80 metros - diâmetro de Ø 6”.

- **GEOLOGIA DO LOCAL:**

De 00 a 04 metros – Solo Areno Argiloso.

De 04 a 80 metros – Migmatito cinza de granulação fina.

- **REVESTIMENTO:**

De 00 a 07 metros: Tubo Liso Geomecânico Leve Ø 6”.

De 00 a 07 metros: selo sanitário - 1m³ de concreto.

- **DESINFECÇÃO:**

Air-lift com bico jato por 3 horas e adição de hipoclorito de sódio.

- **LAJE DE PROTEÇÃO:**

Medidas - 1 m x 1 m x 20 cm

- **RESULTADO DO TESTE DE VAZÃO:**

Vazão – 3.500 l/h

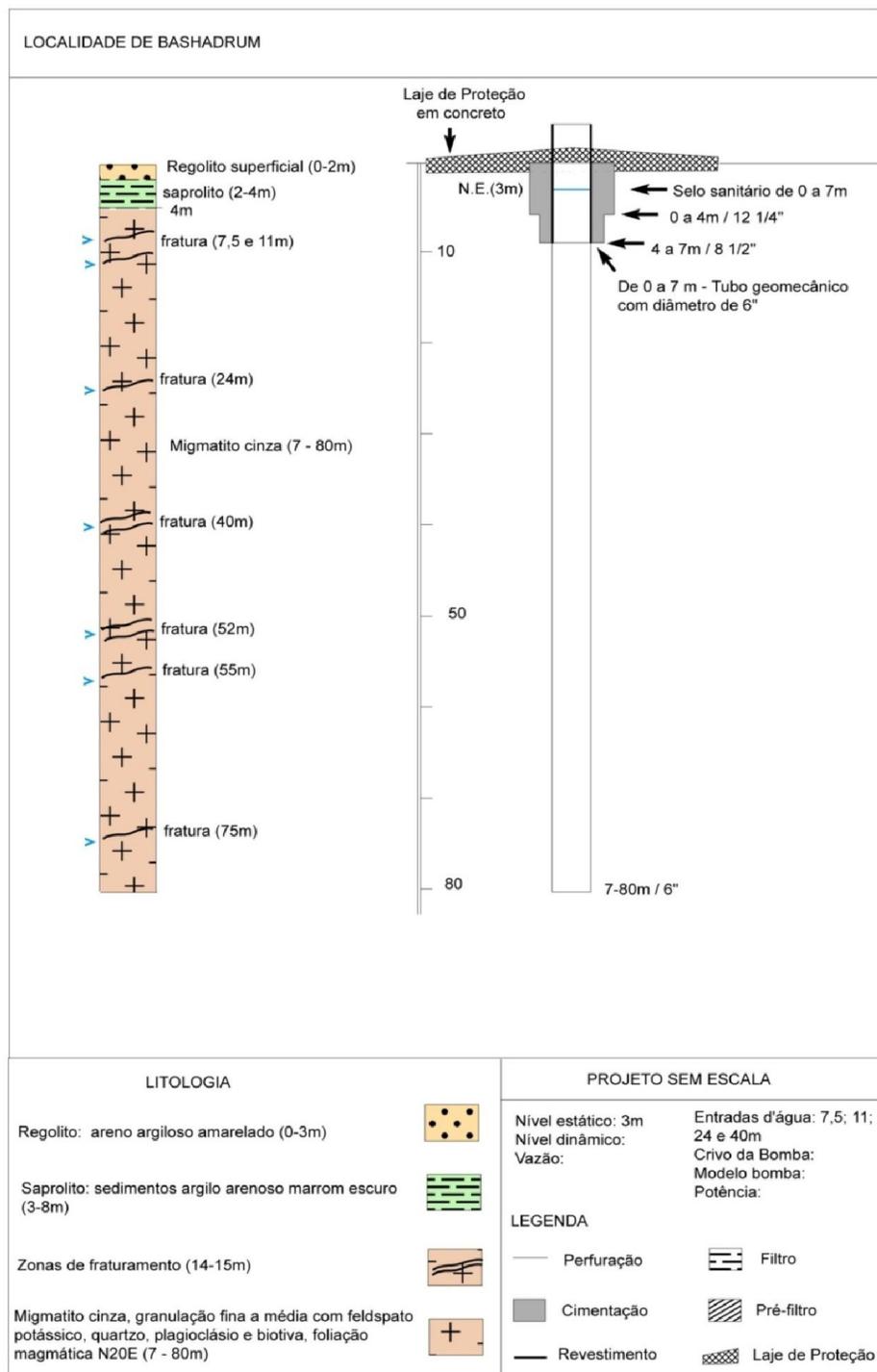
Crivo da Bomba - 73 metros

Nível Estático - 22 metros.

Nível Dinâmico - 70 metros.

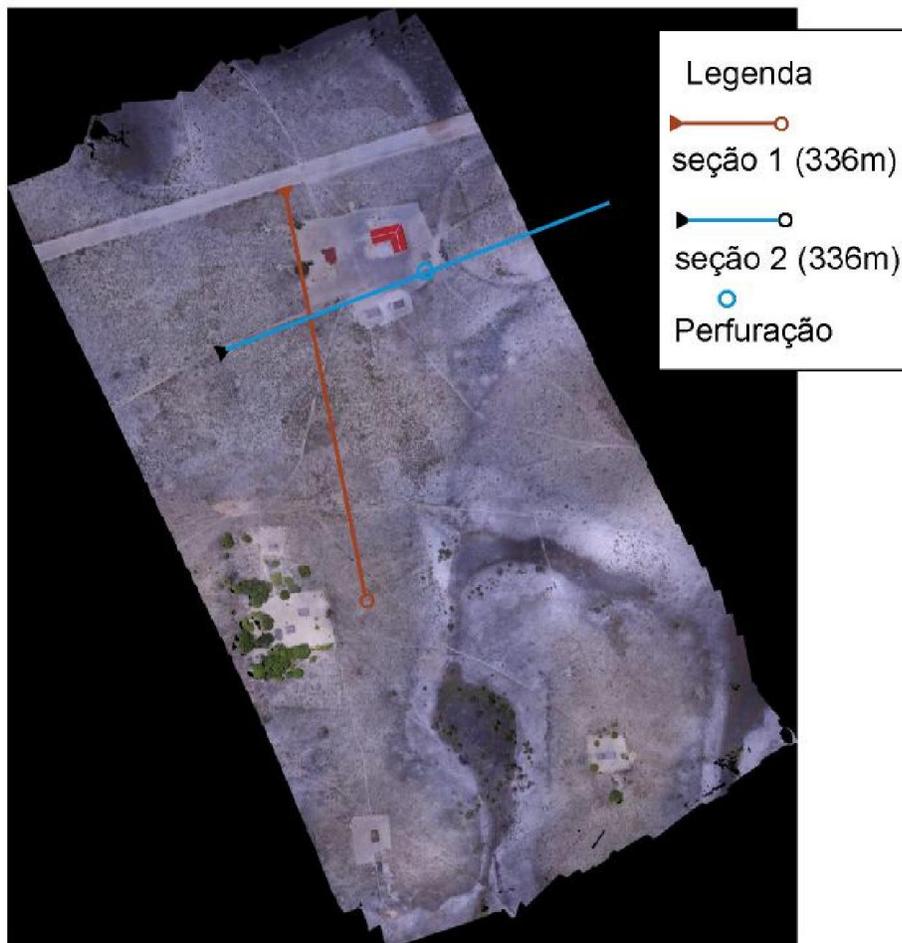
Tubo Edutor - 1 1/2".

Figura 25 - Perfil litológico da perfuração na Comunidade de *Bashaidrum*



Fonte: A Autora, 2019.

Figura 26 - Imagem aérea de localidade de Bashaidrum



Fonte: Google Earth, 2019.

4.2.8 Discussões dos resultados obtidos na comunidade de *Bashaidrum*

Com os dados acima apresentados (estudos, locação e perfuração) concluímos que o local estimado para a perfuração na comunidade, baseado nos baixos valores de resistividade representados na seção geométrica, uma vez perfurado e produtivo, considera-se potencial para presença de zonas fraturadas no embasamento cristalino, constituindo zonas preferenciais para a perfuração de poços para a produção de água subterrânea.

Com a junção de interpretações dos dados levantados em março de 2018, foi escolhido como ponto principal o local indicado na Figura 22 a 208 m do início da seção de resistividade que tem extensão de 336m. Já fase de perfuração, em outubro de 2018, foi realizada uma nova seção geométrica e um novo ponto de perfuração foi definido (Figura 26).

4.6 COMUNIDADE 6: MARURANAWAU

Comunidade: *Maruranawau*

Data levantamento: 25 de março de 2018

Ponto inicial: 02° 44.795'; 59° 09.619'; Ponto médio: 02° 44.772'; 59° 09.702' Ponto final 02° 44.752'; 59° 09.786'.

Local de perfuração na seção: 152m;

Local alternativo de perfuração: 242m.

Fonte: Google Earth, 2018.

Figura 27 - Imagem aérea de localidade de *Maruranawau*

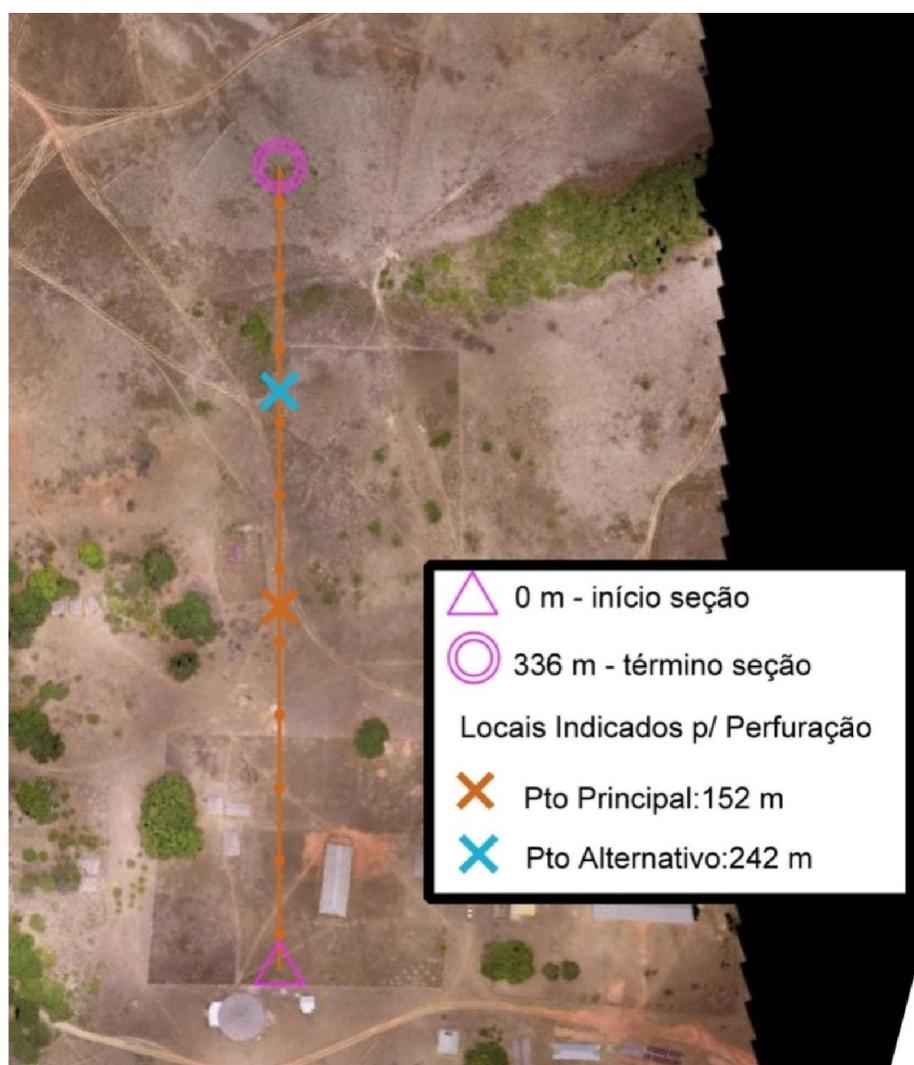
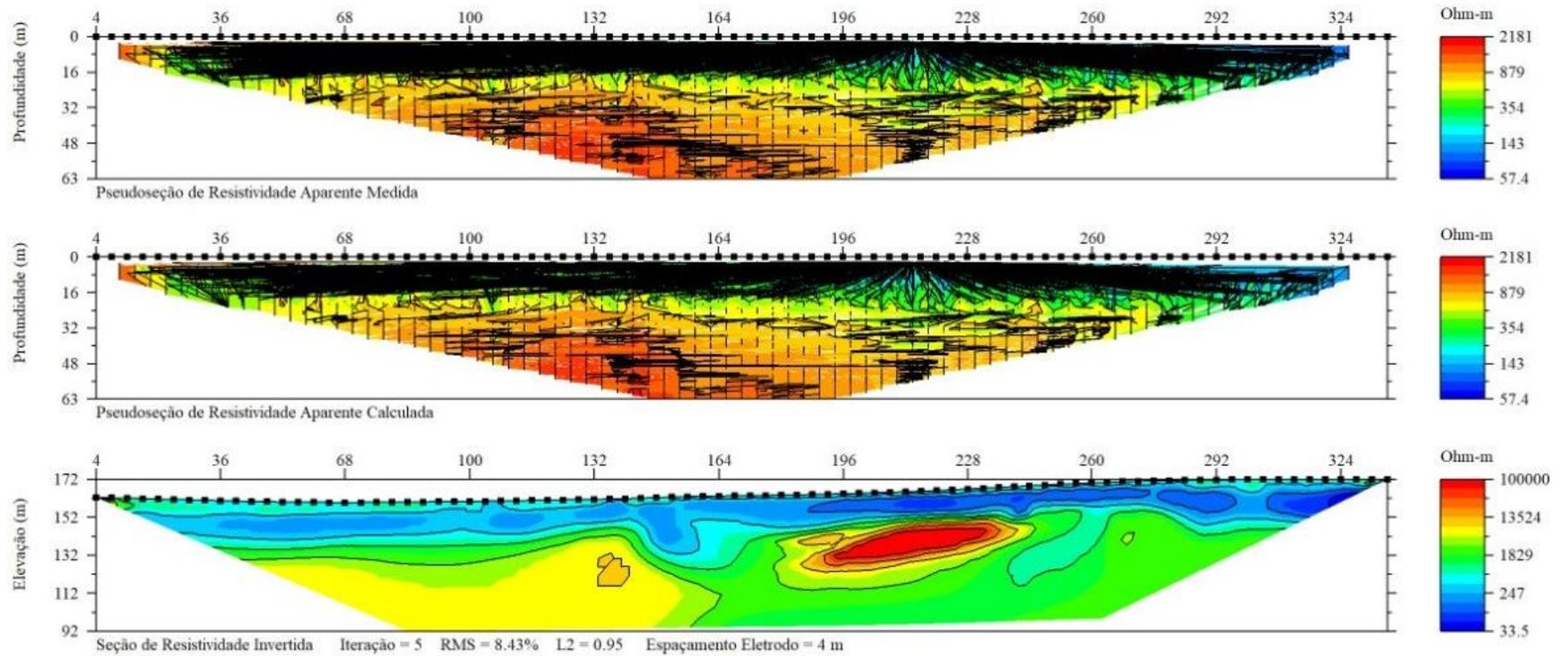


Figura 28 - Seção geolétrica gerada para o levantamento na comunidade de *Marurana*



Fonte: *Software EarthImager 2D*, 2019

INFORMAÇÕES:

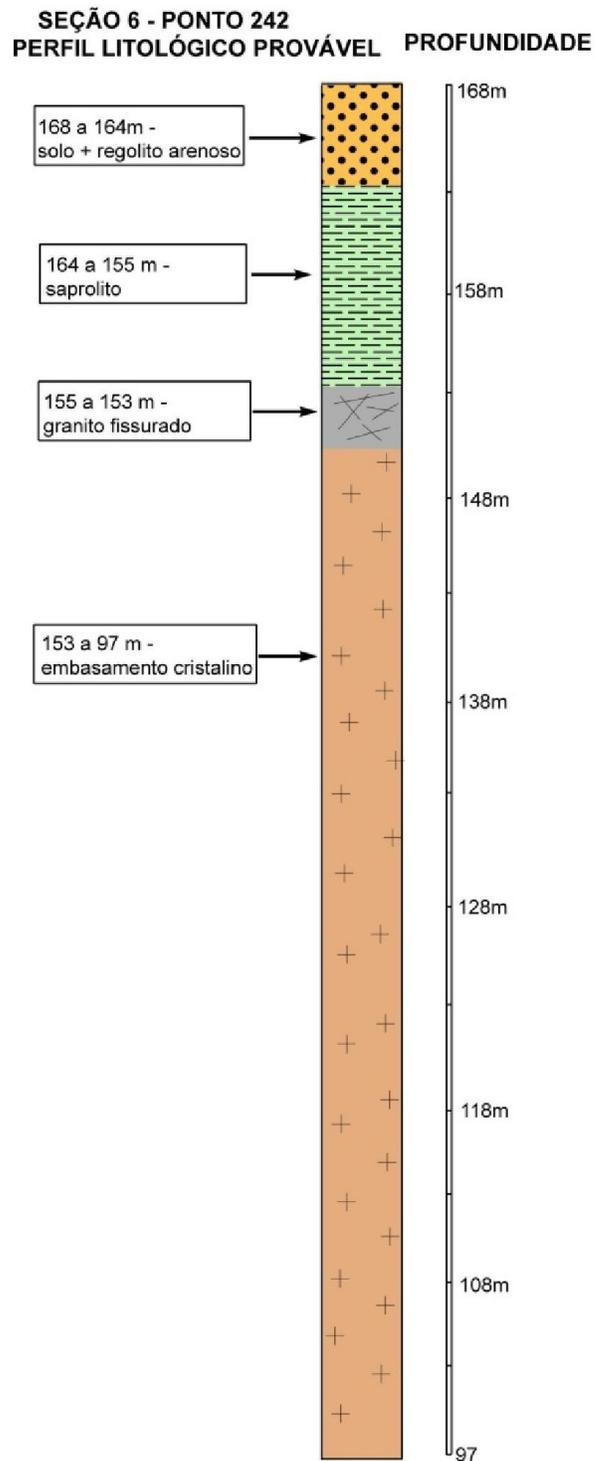
A Figura 28 apresenta três seções geoeletricas. A superior corresponde à distribuição dos valores de resistividade aparente medidos. A intermediária aos valores de resistividade aparente calculados considerando o modelo de distribuição dos valores de resistividade reais (seção inferior). O processo de inversão é iterativo. O objetivo é minimizar a diferença entre a seção superior e a seção inferior. Quando essa diferença se torna mínima a seção inferior é considerada satisfatória e representativa da subsuperfície.

No levantamento foi utilizado espaçamento de 4 m entre os eletrodos totalizando 336m. Foi utilizado o arranjo dipolo-Gradiente e o local de perfuração potencialmente favorável foi estimado buscando as formações com baixa resistividade (<50 Ohm-s), máxima espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, possibilitando a percolação em aquíferos mais profundos.

Com a junção de interpretações dos dados levantados, foi escolhido como ponto principal o local indicado na Figura 27a 152 m do início da seção de resistividade. Na fase de perfuração, outubro de 2018, para essa comunidade, não foi feita alguma outra seção geoeletrica, portando a imagem aérea correspondente é a Figura 8.

4.6.1 Perfil litológico estimado (antes da perfuração) para o poço na comunidade de Maruranaú:

Figura 29 - Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de Maruranaú
Fonte: A Autora, 2018



4.6.2 Relatório final de perfuração do poço tubular profundo da comunidade de *Maruranaú*:

Local da Perfuração: *Maruranaú*

Início da perfuração: 23/10/18

Término da perfuração: 25/10/18

Coordenadas: 02°28.558'; 59°19.044'

Equipe do 2º Sargento Francinaldo.

- **PROFUNDIDADE:**

129 metros.

- **PERFURAÇÃO:**

De 00 a 09 metros – diâmetro de Ø 10.1/2”.

De 09 a 11 metros – diâmetro de Ø 8”.

De 11 a 129 metros - diâmetro de Ø 6”

- **GEOLOGIA DO LOCAL:**

De 00 a 09 metros – Solo Areno Argiloso.

De 09 a 129 metros – Granito cinza de granulacão fina.

- **REVESTIMENTO:**

De 00 a 11 metros: Tubo Liso Geomecânico Leve Ø 6”.

De 00 a 11 metros:selo sanitário - 1m³ de concreto

- **DESINFECÇÃO:**

Air-lift com bico jato por 3 horas e adição de hipoclorito de sódio.

- **LAJE DE PROTEÇÃO:**

Medidas - 1 m x 1 m x 20 cm

- **RESULTADO DO TESTE DE VAZÃO:**

Vazão - 1.600 l/h

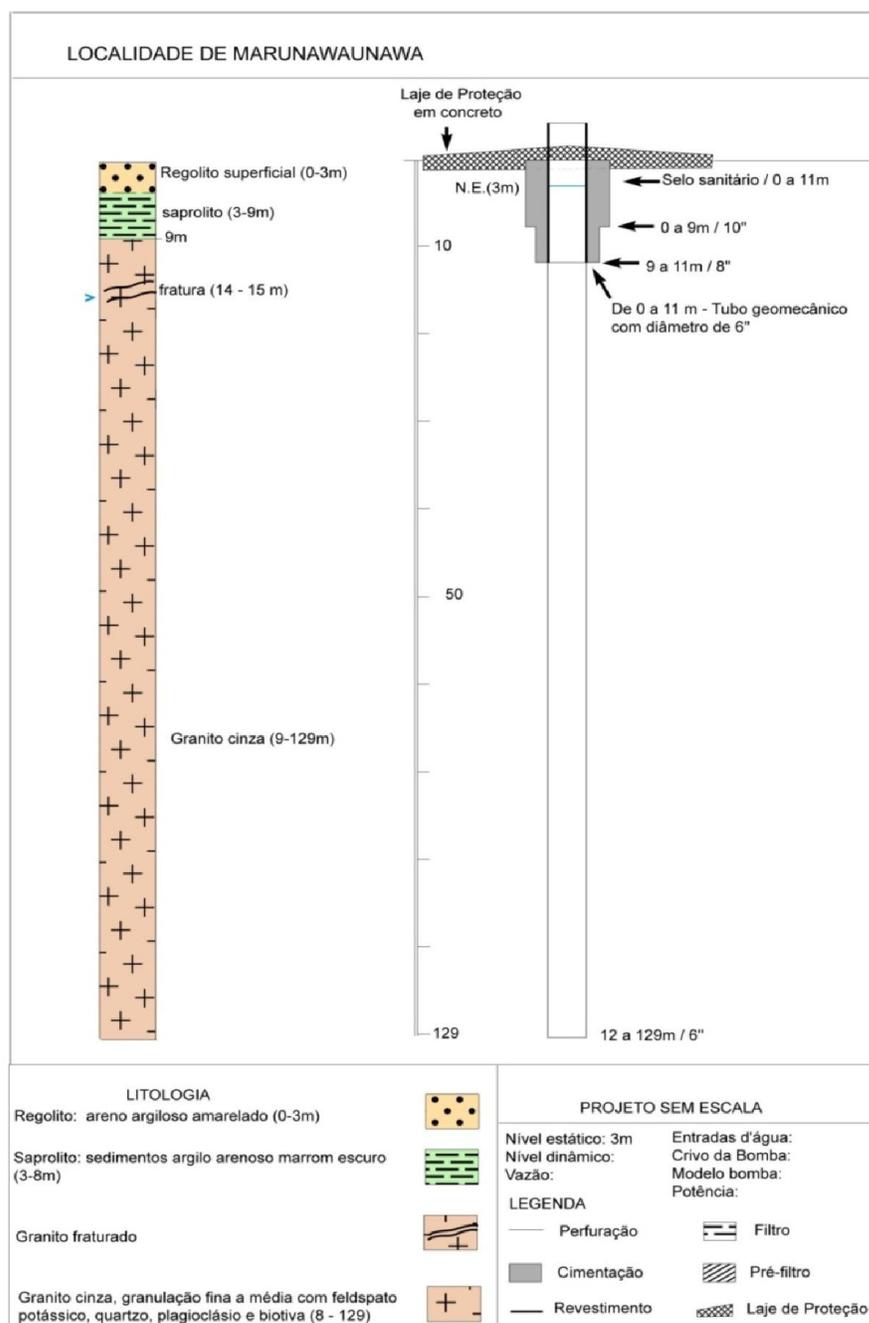
Crivo da Bomba - 101 metros

Nível Estático - 22 metros.

Nível Dinâmico - 70 metros.

Tubo Edutor (diâmetro) - 2"

Figura 30 - Perfil do poço perfurado na comunidade de *Maruranau*



Fonte: A Autora, 2019.

4.6.3 Discussões dos resultados obtidos na comunidade de *Maruranau*

Com os dados acima apresentados (estudos, locação e perfuração) concluímos que o local estimado para a perfuração na comunidade, baseado nos baixos valores de resistividade representados na seção geoeétrica, uma vez perfurado e produtivo, considera-se potencial para presença de zonas fraturadas no embasamento cristalino, constituindo zonas preferenciais para a perfuração de poços para a produção de água subterrânea.

Na fase de perfuração, outubro de 2018, para a perfuração nessa comunidade foi utilizada a seção geoeétrica feita em março de 2018. Não foi feita nenhuma seção complementar em outubro de 2018. O local da perfuração fica a 152 m do início da seção de 336 m como mostra a Figura 27.

4.7 COMUNIDADE 7: SHEA

Comunidade: *Shea*

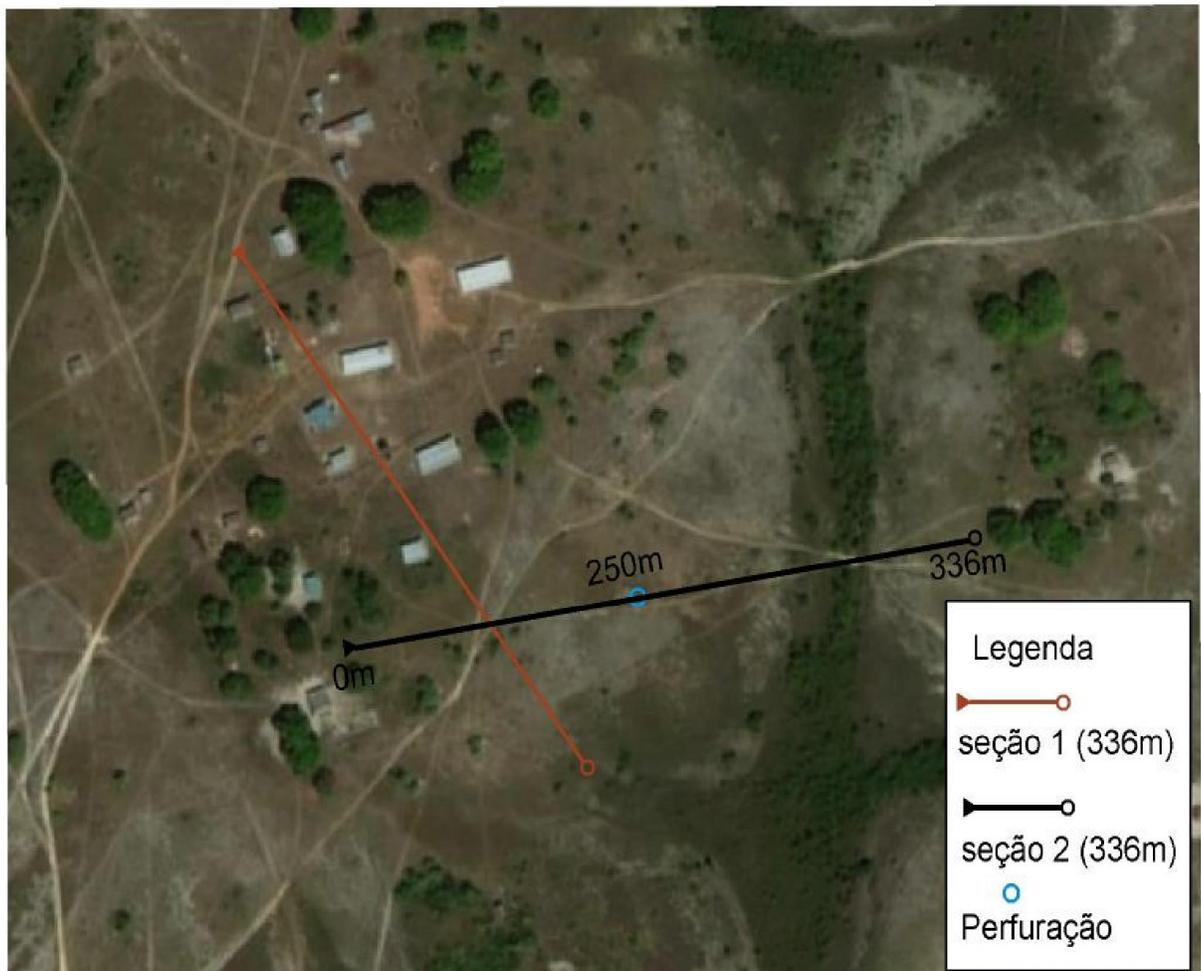
Data levantamento: 26 de março de 2018

Ponto final 02° 48.894'; 59° 08.795'

Local de perfuração na seção: 250m;

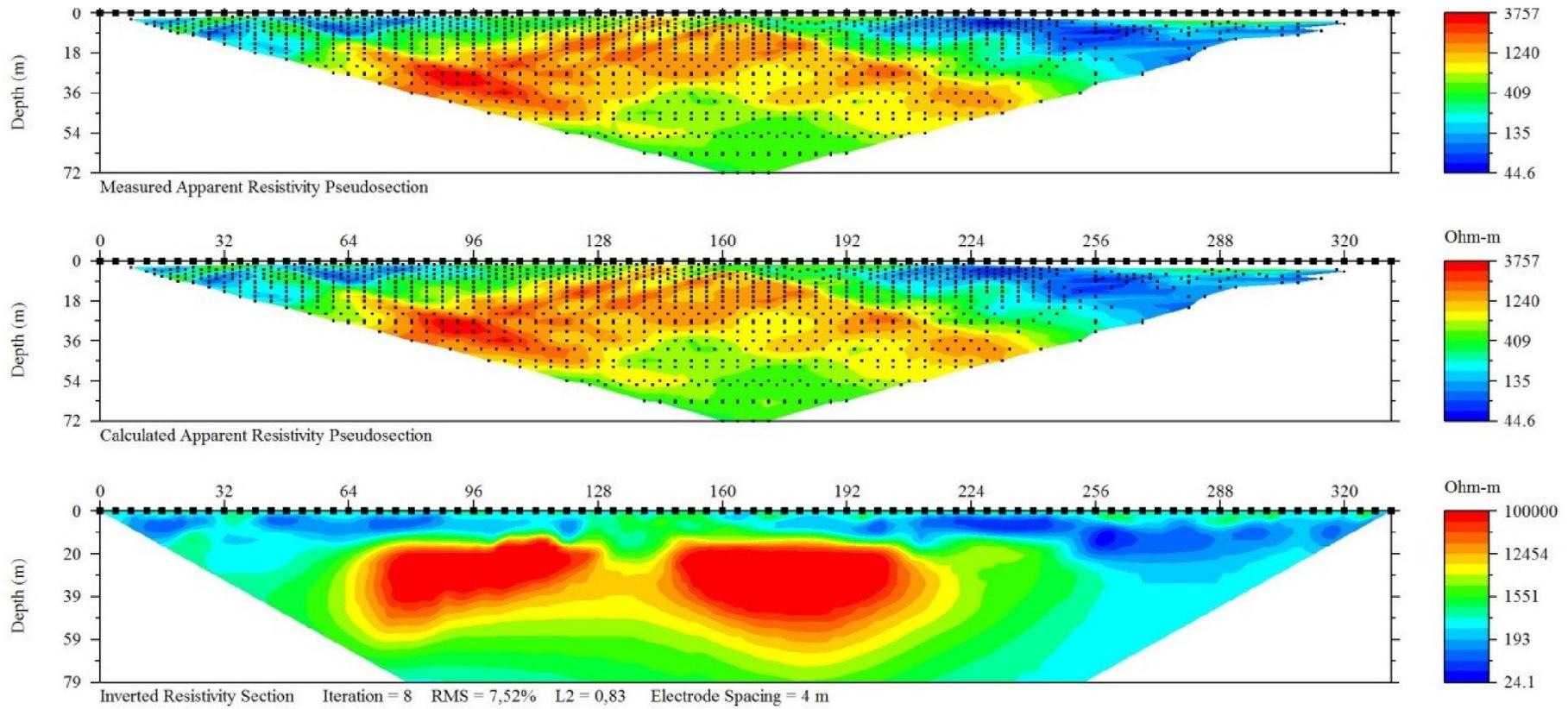
Local alternativo de perfuração: 48m.

Figura 31 - Imagem aérea de localidade de *SHEA*



Fonte: Google Earth, 2018.

Figura 32 - Perfil de resistividade realizado na comunidade de Shea



Fonte: Software EarthImager 2D, 2019

INFORMAÇÕES:

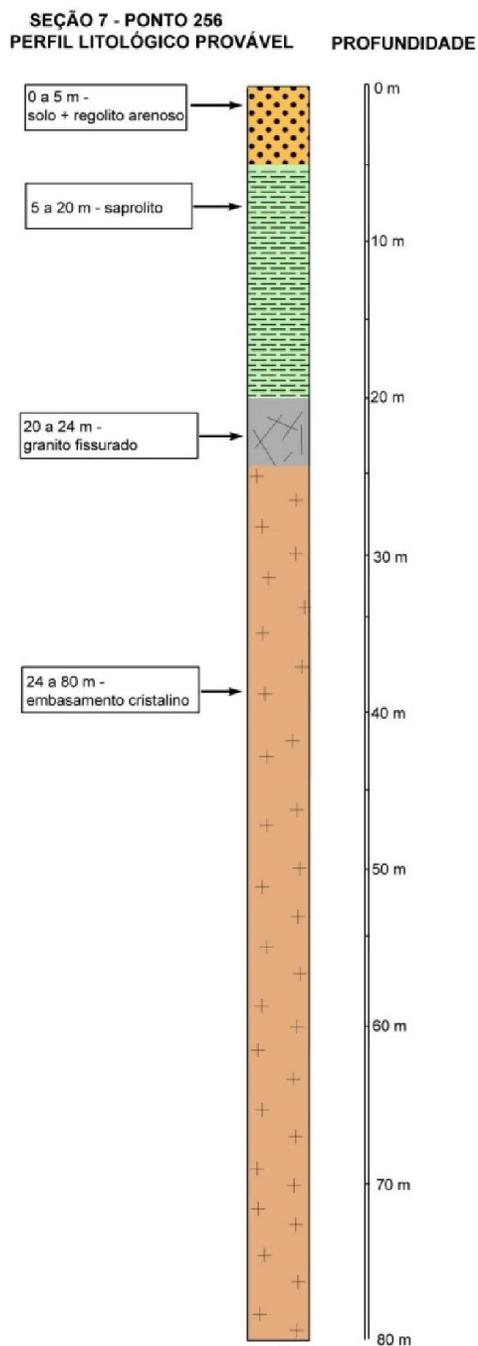
A Figura 32 apresenta três seções geelétricas. A superior corresponde à distribuição dos valores de resistividade aparente medidos. A intermediária aos valores de resistividade aparente calculados considerando o modelo de distribuição dos valores de resistividade reais (seção inferior). O processo de inversão é iterativo. O objetivo é minimizar a diferença entre a seção superior e a seção inferior. Quando essa diferença se torna mínima a seção inferior é considerada satisfatória e representativa da subsuperfície.

No levantamento foi utilizado espaçamento de 4 m entre os eletrodos totalizando 336 m em cada uma das duas seções. Foi utilizado o arranjo Dipolo-Dipolo nos dois levantamentos e o local de perfuração potencialmente favorável foi estimado buscando formações com baixa resistividade (<50 Ohm-s), máxima espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, possibilitando a percolação em aquíferos mais profundos.

Os dados de Shea foram dados nas duas etapas: em março e em outubro de 2018, foi escolhido como ponto de perfuração, o local indicado na Figura 34 a 250 m do início da seção dois de resistividade. Ambas têm extensão de 336m.

4.6.4 Perfil litológico estimado (antes da perfuração) para a comunidade de *Shea*

Figura 33 - Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de *Shea*



Fonte: A Autora, 2018.

4.6.5 Relatório final da perfuração do poço tubular profundo da comunidade de Shea

Local da Perfuração: *SHEA*

Início da perfuração: 23/10/18

Término da perfuração: 26/10/18

Coordenadas: 02°48.927'; 59°08.784'

Equipe do Sargento Rafael

- **PROFUNDIDADE:**

100 metros.

- **PERFURAÇÃO:**

De 00 a 19 metros – diâmetro de Ø 10.1/2”.

De 19 a 100 metros – diâmetro de Ø 6”.

- **GEOLOGIA DO LOCAL:**

De 00 a 19 metros – Solo Areno Argiloso.

De 19 a 100 metros – Granito cinza de granulação fina.

- **REVESTIMENTO:**

De 00 a 19,5 metros: Tubo Liso Geomecânico Leve Ø 6”.

De 00 a 19 metros: selo sanitário - 1m³de concreto.

- **DESINFECÇÃO:**

Air-lift com bico jato por 3 horas e adição de hipoclorito de sódio.

- **LAJE DE PROTEÇÃO:**

Medidas - 1 m x 1 m x 20 cm

- **RESULTADO DO TESTE DE VAZÃO:**

Vazão - 2.500L/H

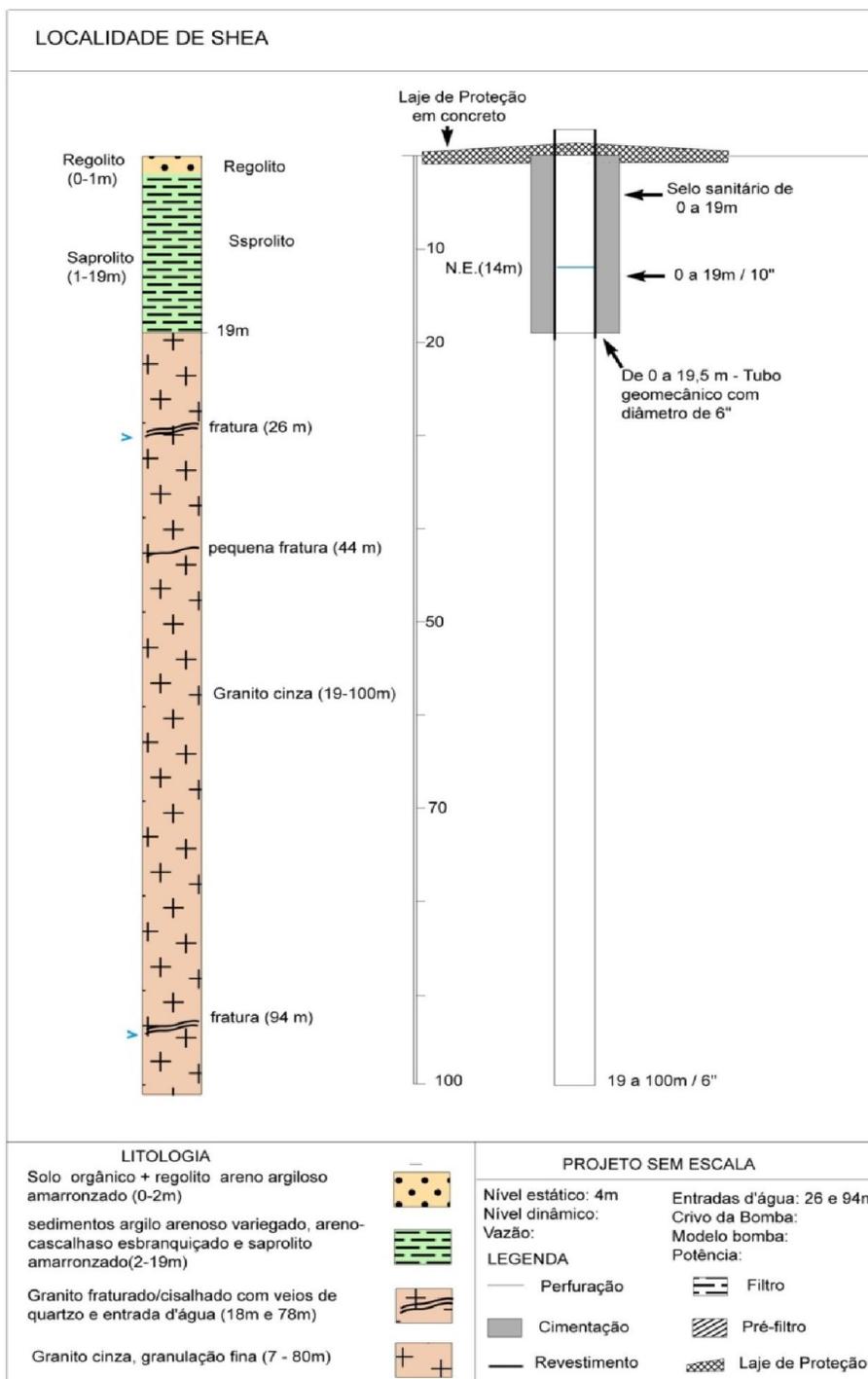
Crivo da Bomba - 73 metros

Nível Estático - 9 metros.

Nível Dinâmico - 70 metros.

Tubo Edutor (diâmetro) - 1 1/2”

Figura 34 - Perfil litológico da perfuração do poço tubular na comunidade de Shea



Fonte: A Autora, 2019.

4.6.6 Discussões dos resultados obtidos na comunidade de *Shea*

Com os dados acima apresentados (estudos, locação e perfuração) concluímos que o local estimado para a perfuração na comunidade, baseado nos baixos valores de resistividade representados na seção geolétrica, uma vez perfurado e produtivo, considera-se potencial para presença de zonas fraturadas no embasamento cristalino, constituindo zonas preferenciais para a perfuração de poços para a produção de água subterrânea.

Na fase de perfuração, outubro de 2018, para a perfuração nessa comunidade foi utilizada a seção geolétrica que cruza a primeira. O local da perfuração fica a 250 m do início da seção 2 que tem 336 m como mostra a Figura 34.

4.8 COMUNIDADE 8: CHURIKIDNAU

Comunidade: *Churikidnau*

Data levantamento: 27 de março de 2018

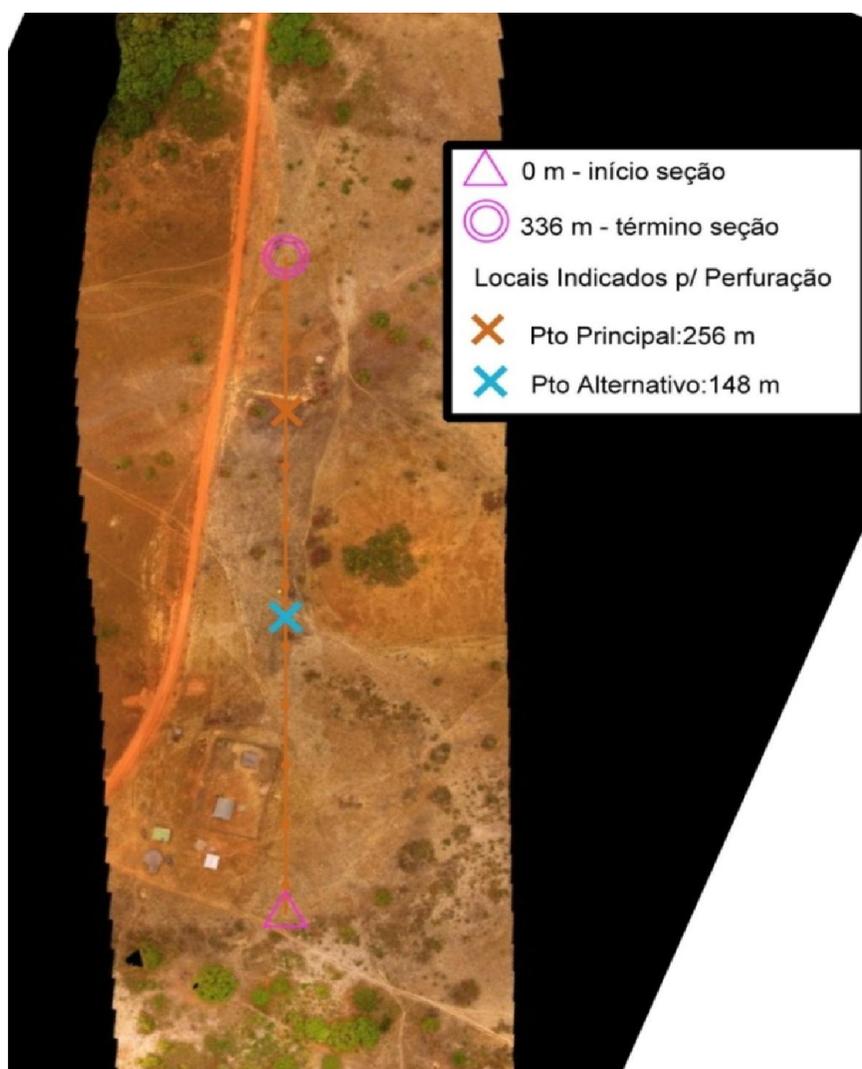
Ponto final $02^{\circ} 31.899'$; $59^{\circ} 16.573'$; Ponto médio $02^{\circ} 31.982'$ $59^{\circ} 16.607'$;

Ponto final: $02^{\circ} 32.066'$ $59^{\circ} 16.641'$

Local de perfuração na seção: 256m;

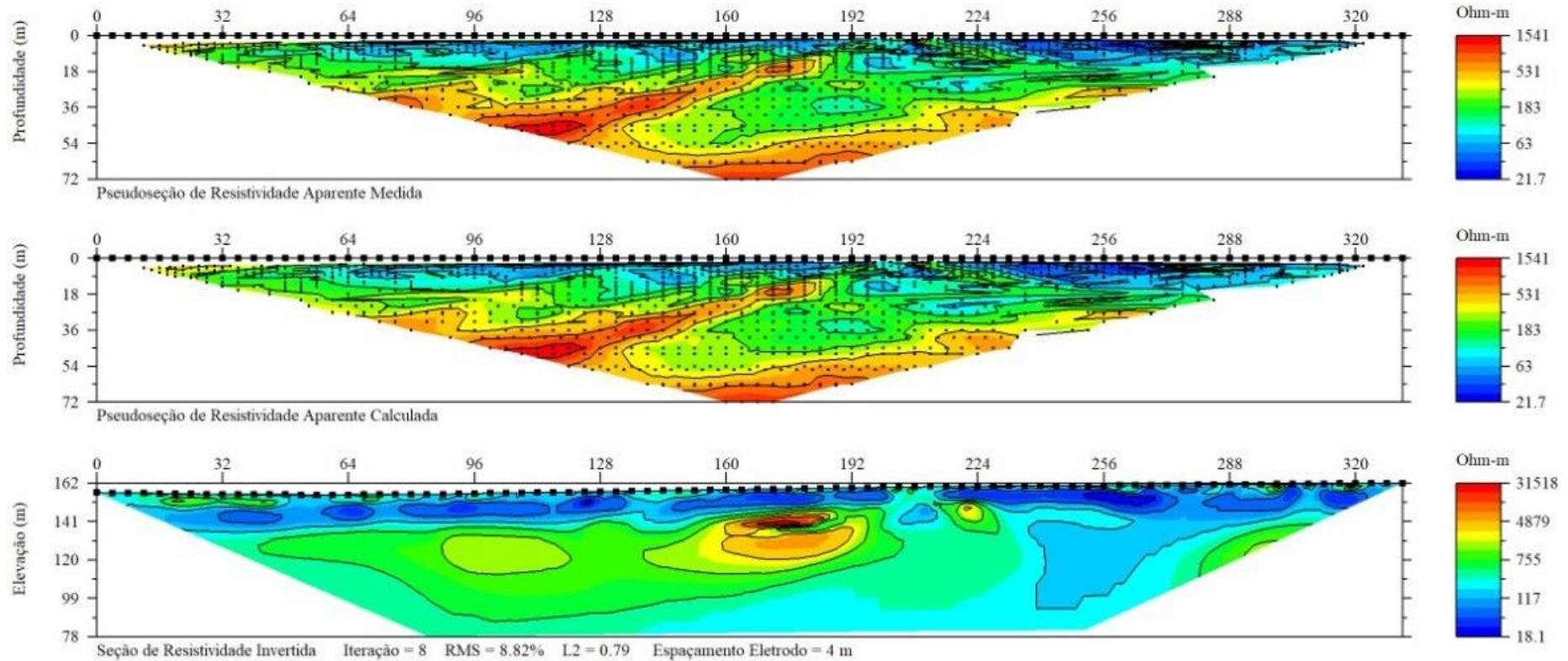
Local alternativo de perfuração: 152m

Figura 35 - Mapa de localização da Seção 8 com a indicação dos locais de perfuração



Fonte: Google Earth, 2018.

Figura 36 - Seção Geolétrica para a perfuração na comunidade de *Churikidnau*



Fonte: Software *EarthImager 2D*, 2019

INFORMAÇÕES:

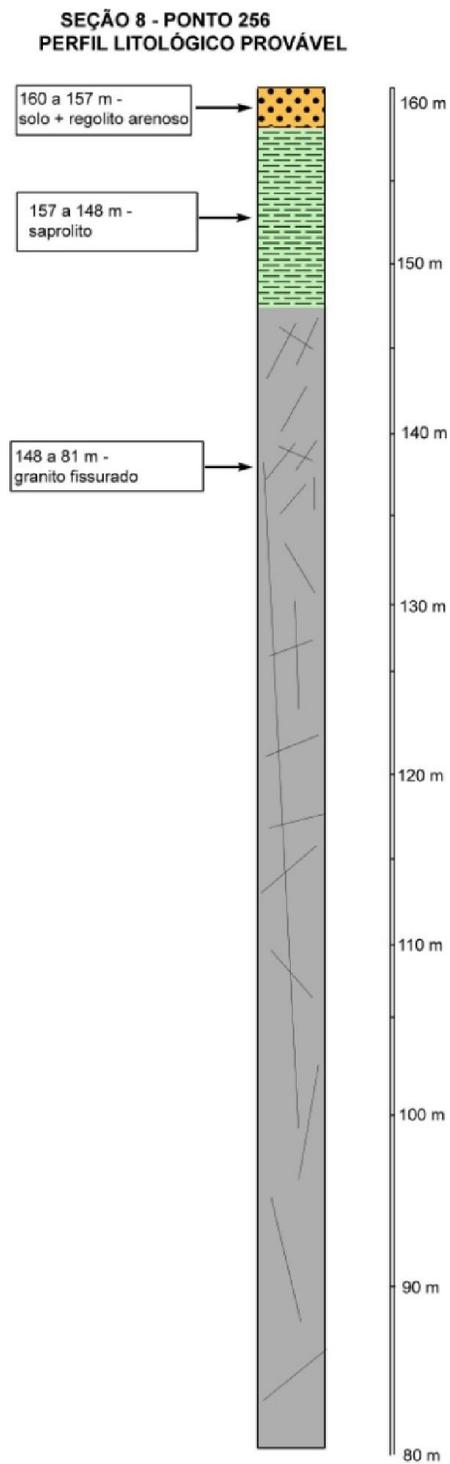
A Figura 36 apresenta três seções geoeletricas. A superior corresponde à distribuição dos valores de resistividade aparente medidos. A intermediária aos valores de resistividade aparente calculados considerando o modelo de distribuição dos valores de resistividade reais (seção inferior). O processo de inversão é iterativo. O objetivo é minimizar a diferença entre a seção superior e a seção inferior. Quando essa diferença se torna mínima a seção inferior é considerada satisfatória e representativa da subsuperfície.

No levantamento foi utilizado espaçamento de 4 m entre os eletrodos totalizando 336 m em cada uma das duas seções. Foi utilizado o arranjo Dipolo-Dipolo nos dois levantamentos e o local de perfuração potencialmente favorável foi estimado buscando formações com baixa resistividade (<50 Ohm-s), máxima espessura e inclinação em direção ao contato com o embasamento, possibilitando a percolação em aquíferos mais profundos.

Os dados de *Churikidnau* da fase 1 de reconhecimento, levantados em março de 2018 foram os efetivamente utilizados. Foi escolhido como ponto de perfuração, o local indicado na Figura 36 a 256 m do início da seção um de resistividade. Ambas têm extensão de 336m.

4.6.7 Perfil litológico estimado (antes da perfuração) para a comunidade de *Churikidnau*

Figura 37 - Perfil litológico estimado para a perfuração na comunidade de *Churikidnau*



Fonte: A Autora, 2018.

4.6.8 Relatório final da perfuração do poço tubular profundo da comunidade de *Churikidnau*

Início da perfuração: 15 de outubro de 2018

Término da perfuração: 15 de outubro de 2018

Coordenadas: 02°32' 00" N; 59°11' 42" W

Equipe do Sargento Francinaldo.

- **PROFUNDIDADE:**

80 metros.

- **PERFURAÇÃO:**

De 00 a 04 metros – diâmetro de Ø 9.7/8”.

De 04 a 08 metros – diâmetro de Ø 8”.

De 08 a 80 metros - diâmetro de Ø 6”.

- **GEOLOGIA DO LOCAL:**

De 00 a 04 metros – Solo Areno Argiloso.

De 04 a 32 metros – Granito cinza-amarelado de granulação fina a média, com enclaves.

De 32 a 80 metros - Rocha básica e metasiltito cinza esverdeado.

- **REVESTIMENTO:**

De 00 a 08 metros - Tubo Liso Geomecânico Leve Ø 6”.

De 00 a 08 metros -selo sanitário - 1m³ de concreto.

- **DESINFECÇÃO:**

Air-lift com bico jato por 3 horas e adição de hipoclorito de sódio.

- **LAJE DE PROTEÇÃO:**

Medidas - 1 m x 1 m x 20 cm

- **RESULTADO DO TESTE DE VAZÃO:**

Vazão – 3.500 l/h

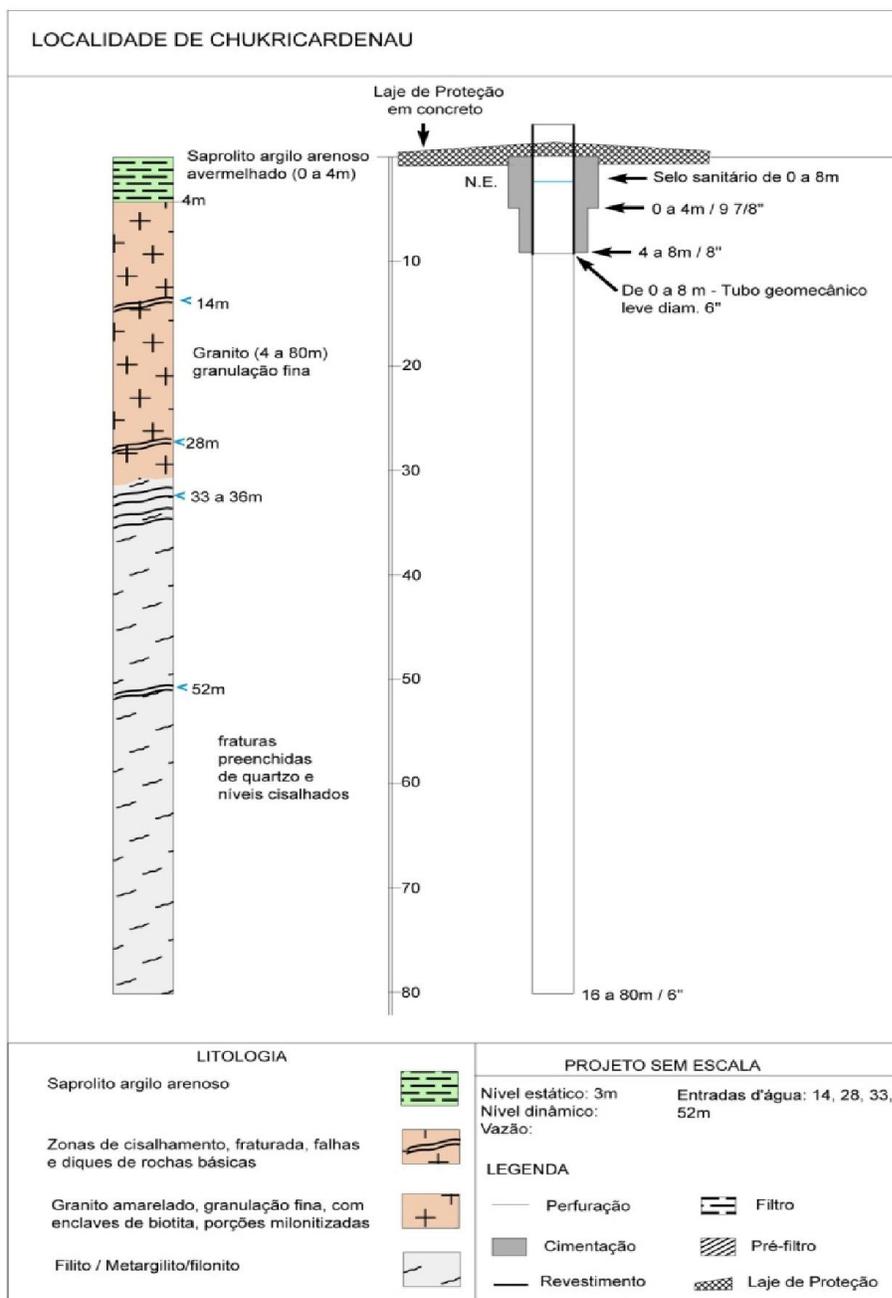
Crivo da Bomba - 73 metros

Nível Estático - 2 metros.

Nível Dinâmico - 70 metros.

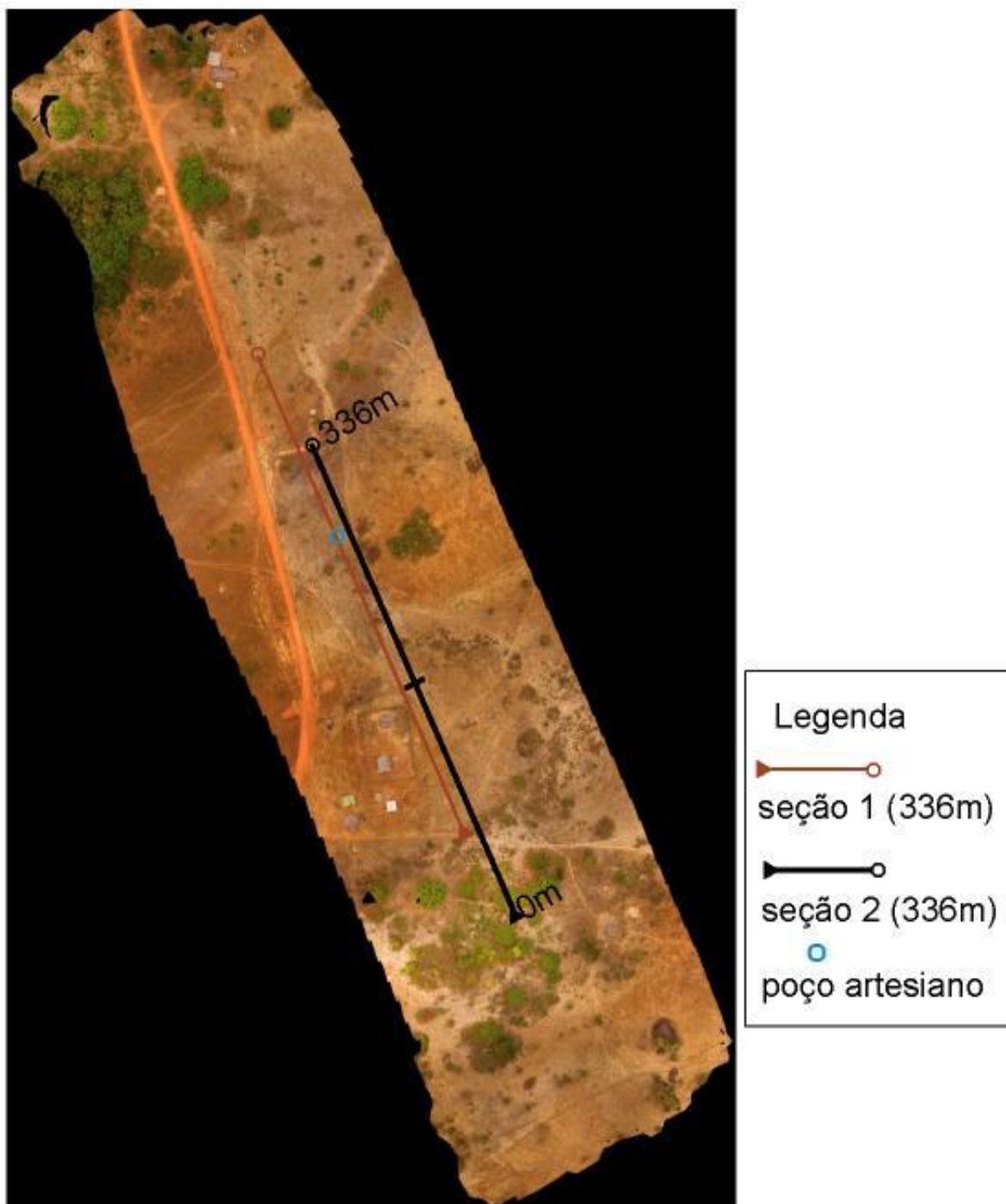
Tubo edutor - 1 1/2"

Figura 38 - perfil litológico da perfuração na comunidade de Churikidnau



Fonte: A Autora, 2019.

Figura 39 - Imagem aérea de localidade de *Churikidnau* mostrando as seções de resistividades realizadas e a localização do poço perfurado



Fonte: Google Earth, 2019.

4.6.9 Discussões dos resultados obtidos na comunidade de *Churikidnau*

Com os dados acima apresentados (estudos, locação e perfuração) concluímos que o local estimado para a perfuração na comunidade, baseado nos baixos valores de resistividade representados na seção geolétrica, uma vez perfurado e produtivo, considera-se potencial para presença de zonas fraturadas no embasamento cristalino, constituindo zonas preferenciais para a perfuração de poços para a produção de água subterrânea.

Na fase de perfuração, outubro de 2018, para a perfuração nessa comunidade foi utilizada a seção geolétrica que cruza a primeira. O local da perfuração fica a 250 m do início da seção 2 que tem 336 m como mostra a figura 34.

Os dados de *Churikidnau* da fase 1 de reconhecimento, levantados em março de 2018 foram os efetivamente utilizados. Foi escolhido como ponto de perfuração, o local indicado na Figura 38 a 256 m do início da seção um de resistividade. Ambas têm extensão de 336m.

5 CONCLUSÕES

O método da eletrorresistividade foi aplicado com sucesso na locação de poços para a produção de água subterrânea em terrenos cristalinos fraturados da Guiana Inglesa. A técnica do caminhamento elétrico, associada aos arranjos dipolo-dipolo e gradiente, se mostrou adequada para a identificação de zonas de baixa resistividade elétrica que apresentam continuidade em profundidade, as quais são interpretadas como zonas com fraturas saturadas com água.

A utilização de um resistivímetro multicanal com aquisição automática de dados permitiu que o trabalho geofísico de campo fosse realizado, nas oito localidades investigadas, em um prazo de dez dias. Nesse período foram adquiridos 5096 metros de linhas 2D com espaçamento mínimo entre eletrodos de 3 ou 4 metros, utilizando 84 eletrodos em cada linha. Tal produtividade seria impraticável no caso de utilização de um eletroresistivímetro monocanal.

Os poços perfurados segundo as locações indicadas pelas seções geoeletricas foram todos produtivos e o fluxo de água mostrado logo após a perfuração se mostrou fortemente controlado pelo grau de fratura das rochas ígneas e metamórficas que compõem o embasamento cristalino da região (Figura 42). Tais regiões fraturadas do embasamento cristalino, conforme mapeadas nos perfis litológicos dos poços, mostraram uma correspondência com zonas de baixa resistividade nas seções geoeletricas. Essa correspondência permite utilizar o método da eletrorresistividade como um indicador de zonas fraturadas do embasamento com potencial para a produção de água subterrânea.

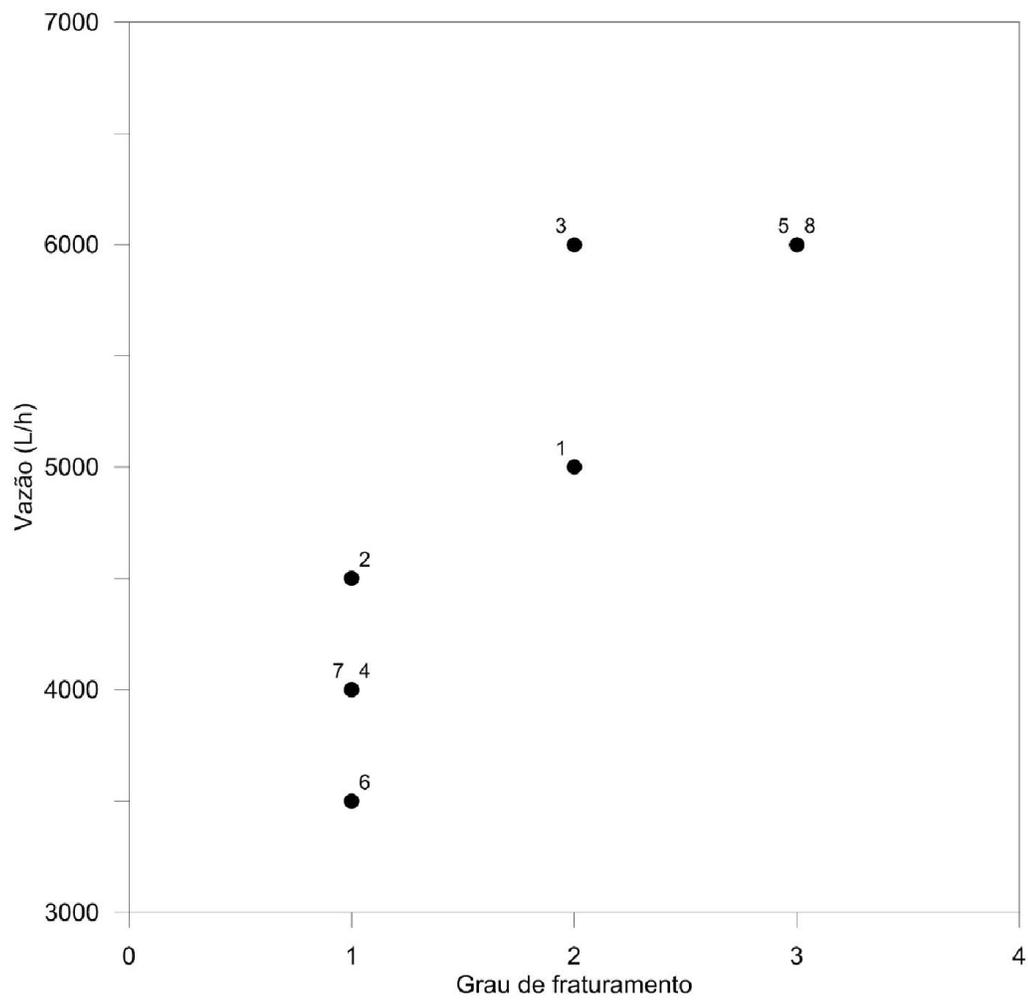
Uma forte diminuição da resistividade elétrica característica do embasamento cristalino com o aumento da densidade de fraturamento foi observada em seis dos oito poços perfurados (Figura 43). Além disso, uma diminuição consistente em seu fluxo foi observada com o aumento da resistividade característica. Por estas razões, regiões profundas com baixos valores de resistividade elétrica nas seções geoeletricas são indicadores potenciais da presença de zonas fraturadas no embasamento cristalino, constituindo zonas preferenciais para a perfuração de poços.

Em duas localidades não se observou a relação esperada entre a resistividade representativa do embasamento na posição em que os poços foram perfurados e o grau de fraturamento do embasamento e, conseqüentemente, com a vazão de água produzida (Figura 43). Isto sugere que, em alguns casos, outras variáveis podem interferir nessa relação. No caso em que a resistividade é baixa apesar do baixo grau de fraturamento, pode haver a ocorrência

de argilominerais que diminuem a resistividade, porém não permitem elevadas vazões devido à sua impermeabilidade intrínseca. Por outro lado, quando a resistividade característica é elevada, apesar de haver um alto grau de fraturamento associado a uma elevada vazão de água, pode ocorrer água doce, a qual é naturalmente resistiva. A experiência adquirida neste estudo permitirá otimizar o processo de locação de poços para a produção de água subterrânea em terrenos cristalinos, como ocorre na ampla maioria dos terrenos da região semiárida do nordeste brasileiro.

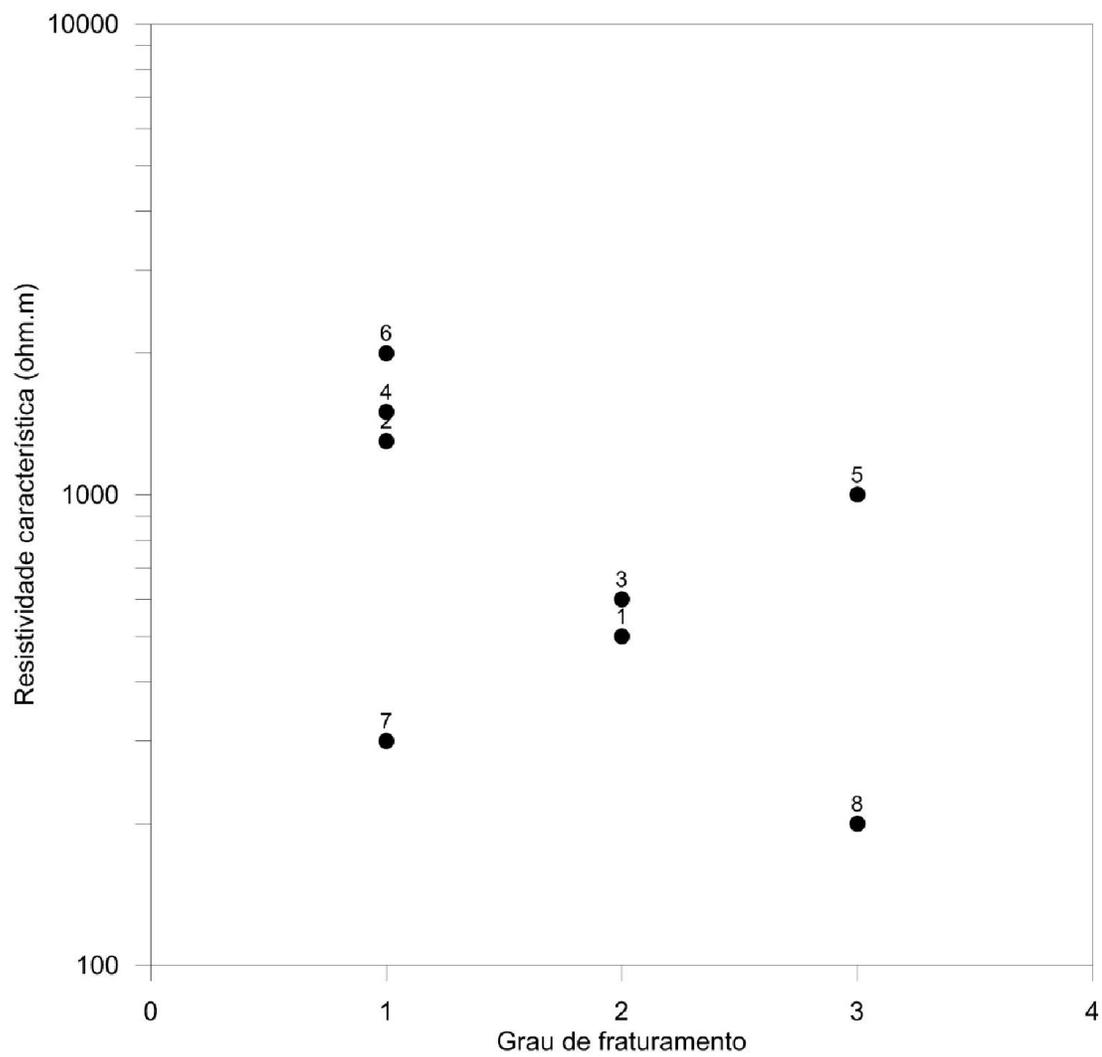
Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se desenvolver estudos para quantificar os efeitos da saturação parcial de água e da salinidade da água sobre a resistividade elétrica de zonas fraturadas em rochas típicas do embasamento cristalino.

Figura 40 - Relação entre vazão instantânea dos poços e grau de fraturamento do embasamento cristalino



Fonte: A Autora, 2019.

Figura 41 - Relação entre resistividade característica e grau de fraturamento do embasamento cristalino



Fonte: A Autora, 2019.

REFERÊNCIAS

- BERRANGÉ J.P. 1977. **The geology of Southern Guyana, South America**. Institute of Geological Sciences Overseas Memoir. 4, p. 112.
- DEWANDEL, B., LACHASSAGNE, P., WYNS, R., MARECHAL, J.C., KRISHNAMURTHY, N.S. 2006. **Journal of Hydrology**, 330: 260-284.
- NADEAU S., CHEN W., REECE J., LACHHMAN D., AULT R., FARACO M.T.L., FRAGA L.M., REIS N.J., BETIOLLO L.M. 2013. **Guyana: The lost hadean crust of South America? Brazilian Journal of Geology**, 43(4):601-606.
- OLDENBURG, D.W.; Li, Y. 1999. **Estimating depth of investigation in DC resistivity and IP surveys. Geophysics**, 64(2):403-416.
- AIZEBEOKHAI, A. P.; OYEYEMI, K. D. **The use of the multiple-gradient array for geoelectrical resistivity and induced polarization imaging. Journal of Applied Geophysics**, v. 111, p. 364–376, 2014.
- CORIOLOANO, A. C. F. **Reavaliação de critérios estruturais na hidrogeologia de terrenos cristalinos, com ênfase na neotectônica e sensoriamento remoto**, 2002.
- DAHLIN T; ZHOU B. **A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. Geophysical prospecting**, v. 52, n.5, p. 379–398, 2004.
- OLIVEIRA, A. C. B. **Geofísica aplicada: Métodos Geométricos em Hidrogeologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- BRAGA, A. C. O. 2016. **Geofísica Aplicada: Métodos Geométricos em Hidrogeologia**. Oficina de Textos.
- DEWANDEL B, LACHASSAGNE P, WYNS R, MARÉCHAL J & KRISHNAMURTHY N. 2006. **A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. Journal of Hydrology**, 330(1-2): 260–284.
- DOBECKI T & ROMIG P. 1985. **Geotechnical and Groundwater Geophysics. Geophysics**, 50(12): 2621–2636.
- GALLAS JDF. 2003. **Prospecção de água subterrânea em aquíferos cristalinos com o emprego de métodos indiretos. Revista do Instituto Geológico**, 24(1-2): 43–51.
- GEOSCIENCES A. 2018. **SuperSting Earth Resistivity, IP & SP System with Wi-Fi. Instruction Manual V. 20180515**.
- HAZELL J, CRATCHLEY C & JONES C. 1992. **The hydrogeology of crystalline aquifers in northern Nigeria and geophysical techniques used in their exploration. Geological Society, London, Special Publications**, 66(1): 155–182.
- KEAREY P, BROOKS M & HILL I. 2009. **Geofísica de exploração**. Oficina de textos.

- LABRECQUE D, RAMIREZ A, DAILY W, BINLEY AM & SCHIMA S. 1996. **ERT monitoring of environmental remediation processes. Measurement Science and Technology**, 7(3): 375.
- LOKE MH & BARKER RD. 1996. **Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method 1.** Geophysical prospecting, 44(1): 131–152.
- MADRUCCI V, TAIOLI F & ARAÚJO CCD. 2005. **Análise integrada de dados de sensoriamento remoto, geologia e geofísica no estudo de aquífero fraturado**, Lindóia-SP. Revista Brasileira de Geofísica, 23(4): 437–451.
- MARTORANA R, CAPIZZI P, D’ALESSANDRO A & LUZIO D. 2017. **Comparison of different sets of array configurations for multichannel 2D ERT acquisition. Journal of Applied Geophysics**, 137: 34–48.
- MOREIRA CA, CAVALHEIRO MLD, PEREIRA AM & SARDINHA DDS. 2013. **Análise das relações entre parâmetros geolétricos e vazões para o aquífero livre de Caçapava do Sul-RS.** Águas Subterrâneas, p. 45–59.
- OLDENBURG DW & LI Y. 1999. **Estimating depth of investigation in dc resistivity and IP surveys.** Geophysics, 64(2): 403–416.
- PEDERSEN LB, BASTANI M & DYNESIUS L. 2005. **Groundwater exploration using combined controlled-source and radiomagnetotelluric techniques.** Geophysics, 70(1): G8–G15.
- POWER C, GERHARD JI, TSOURLOS P & GIANNOPOULOS A. 2013. **A new coupled model for simulating the mapping of dense nonaqueous phase liquids using electrical resistivity tomography.** Geophysics, 78(4): EN1–EN15.
- SASAKI Y. 1992. **Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation 1. Geophysical prospecting**, 40(4): 453–463.
- STEEPLES DW. 2001. **Engineering and environmental geophysics at the millennium. Geophysics**, 66(1): 31–35.
- TELFORD W, GELDART L, SHERIFF R & KEYS D. 1976. **Applied Geophysics Cambridge University Press. Cambridge**, 860.
- WRIGHT EP. 1992. **The hydrogeology of crystalline basement aquifers in Africa.** Geological Society, London, Special Publications, 66(1): 1–27.