

LEVANTAMENTO GEOFÍSICO - ATRAVÉS DO MÉTODO GEOLÉTRICO DA ELETORRESISTIVIDADE - PARA INVESTIGAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

LOCAÇÃO DE POÇO TUBULAR ATRAVÉS DE ESTUDO GEOLÓGICO E
GEOFÍSICO ELÉTRICA NA LOCALIDADE DE AIURE E ÁREA URBANA
DO MUNICÍPIO DE GRÃO PARÁ – SC.

EMPRESA SOLICITANTE: **SAMAE**

Abril, 2018

Sumário

1. Introdução	3
2. Objetivos	3
3. Localização das Áreas	3
4. Síntese geológica e hidrogeológica	3
4.1. Geologia Estrutural	4
5. Metodologia de Estudo	6
5.1. Equipamento / Aquisição dos dados Geoelétricos	10
5.2. Processamento dos Dados	11
6. Resultados Obtidos	11
7. Conclusões e Recomendações	15
8. Referências Bibliográficas	17
9. Anexo I (Documentação fotográfica)	18
10. Anexo II (ART)	21

Figuras

- Figura 01 - Mapa de localização
- Figura 02 - Mapa Geológico regional
- Figura 03 - Imagem *Google Earth* com a localização das áreas de investigação geofísica na área da Sede
- Figura 04 - Imagem *Google Earth* com a localização das áreas de investigação geofísica na área de Aiure
- Figura 05 - Ilustração do princípio dos métodos elétricos de prospecção
- Figura 06 - Representação da pseudo-seção e níveis de investigação
- Figura 07 - Secção Geoelétrica modelada de L₁ (S-6)
- Figura 08 - Secção Geoelétrica modelada de L₂ (S-4)
- Figura 09 - Secção Geoelétrica modelada de L₃ (S-2)
- Figura 10 - Secção Geoelétrica modelada de L₁ (A-1)
- Figura 11 - Secção Geoelétrica modelada de L₂ (A-3)
- Figura 12 - Secção Geoelétrica modelada de L₃ (A-2)

1. Introdução

Estudos Geofísicos, através do método da eletrorresistividade, foram realizados no período de 26 a 28 de fevereiro de 2018, na área urbana e na localidade de Aiure, no município de São Bonifácio – SC.

O objetivo dos estudos é a avaliação da potencialidade hidrogeológica das áreas para ocorrência de água subterrânea e sua posterior captação através de poços tubulares. A aplicação do método de geofísica elétrica é justificada pelo fato das zonas fraturadas com percolação de água apresentem valores de resistividade elétrica anormalmente baixos em relação à rocha não fraturada e sem água (Ward, 1990).

No presente relatório são resumidos os principais métodos aplicados para a pesquisa realizada, sendo descritos os procedimentos adotados e os resultados obtidos, observando-se os conhecimentos de natureza geológica e hidrogeológica.

2. Objetivos

O objetivo dos estudos é definir as condições hidrogeológicas locais através da interpretação de imagens remotas e levantamentos geofísicos (IE – Imageamento elétrico) para localização de estruturas favoráveis a captação de água subterrânea através de poços tubulares.

3. Localização das Áreas

As áreas de estudo localizam-se na área urbana do município de Grão Pará e na localidade de Aiure e distam aproximadamente 185 e 201 km, respectivamente, a sudoeste da capital do estado Florianópolis. A altitude da sede do município é de 105 m e de Aiure é de aproximadamente 230 metros acima do nível do mar e nas seguintes coordenadas *UTM*: Sede - 675 500 m E / 6 881 000 m N; Aiure - 667 200 m E / 6 689 700 m N (Figuras 01 e 02).

4. Síntese Geológica e Hidrogeológica

A região de estudo pertence ao domínio geomorfológico do escudo catarinense, sendo seu substrato formado pelas rochas do embasamento cristalino (Sede) e da Bacia do Paraná (Aiure).

Na área da Sede do município as litologias presentes pertencem ao Complexo Granito-gnáissico do Neoproterozóico. O litotipo predominante é o Granito Santa Rosa De Lima. Composto por um conjunto de granitóides, cor cinza-escuro a cinza róseo, às vezes leucocráticos, de composição sieno e monzogranítica, subordinadamente

granodiorítica, caracterizados pelas foliações miloníticas, (augen-gnaisses, milonitos, protomilonitos e protocataclasitos) e de fluxo ígneo.

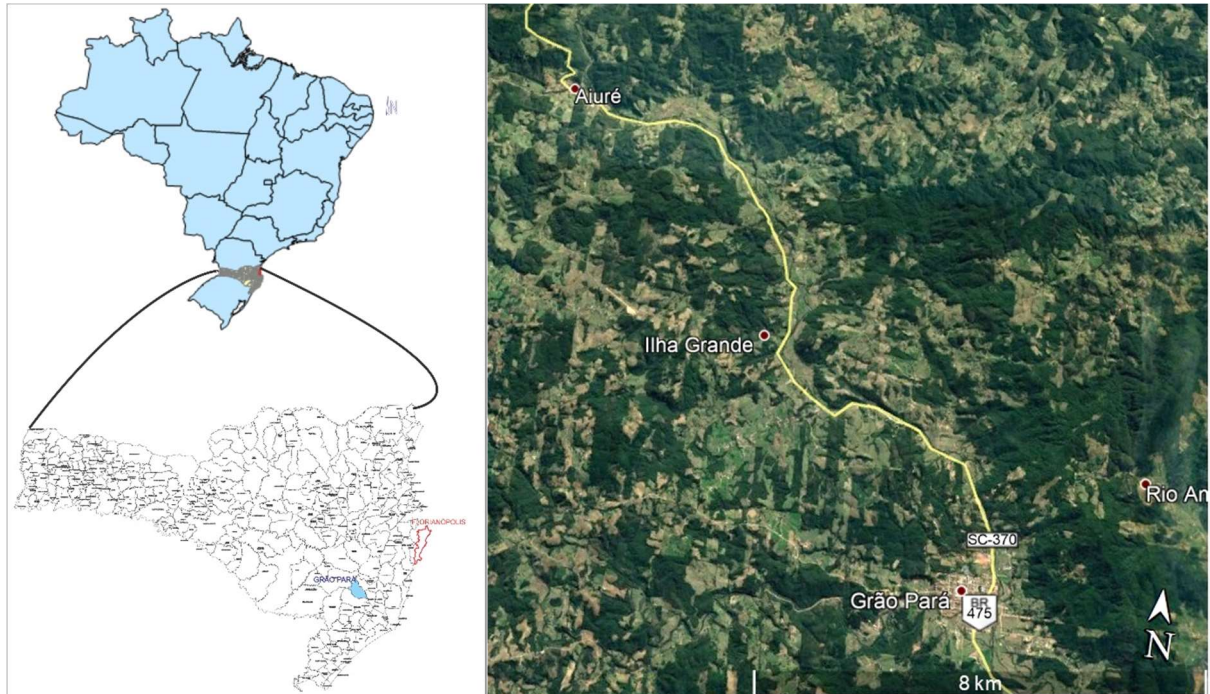


Figura 01 – Mapa de localização.

Na localidade de Aiure o substrato rochoso é composto por rochas da Bacia do Paraná. Os litotipos presentes são as rochas sedimentares do Permiano Inferior, composta por Arenitos finos, argilitos, folhelhos e siltitos pretos das Formações Rio Bonito e Rio do Sul. Estas Formações são caracterizadas como aquíferos intergranulares, ampliados por fraturamentos. Estes aquíferos são de grande importância local com média a baixa vulnerabilidade e risco de contaminação (Figura 02).

4.1. Geologia Estrutural

A geomorfologia da sede do município é caracterizada pelo relevo montanhoso, intensamente dissecado, já a localidade de Aiure apresenta relevo residual de topo de plano e colinas suaves.

A área da sede de Grão Pará está inserida na Unidade Hidroestratigráfica do Embasamento Cristalino, onde as condições hidrogeológicas são restritas a zonas fraturadas. A área de Aiure está inserida na Unidade Hidroestratigráfica Rio do Sul (Itararé) e Rio Bonito.

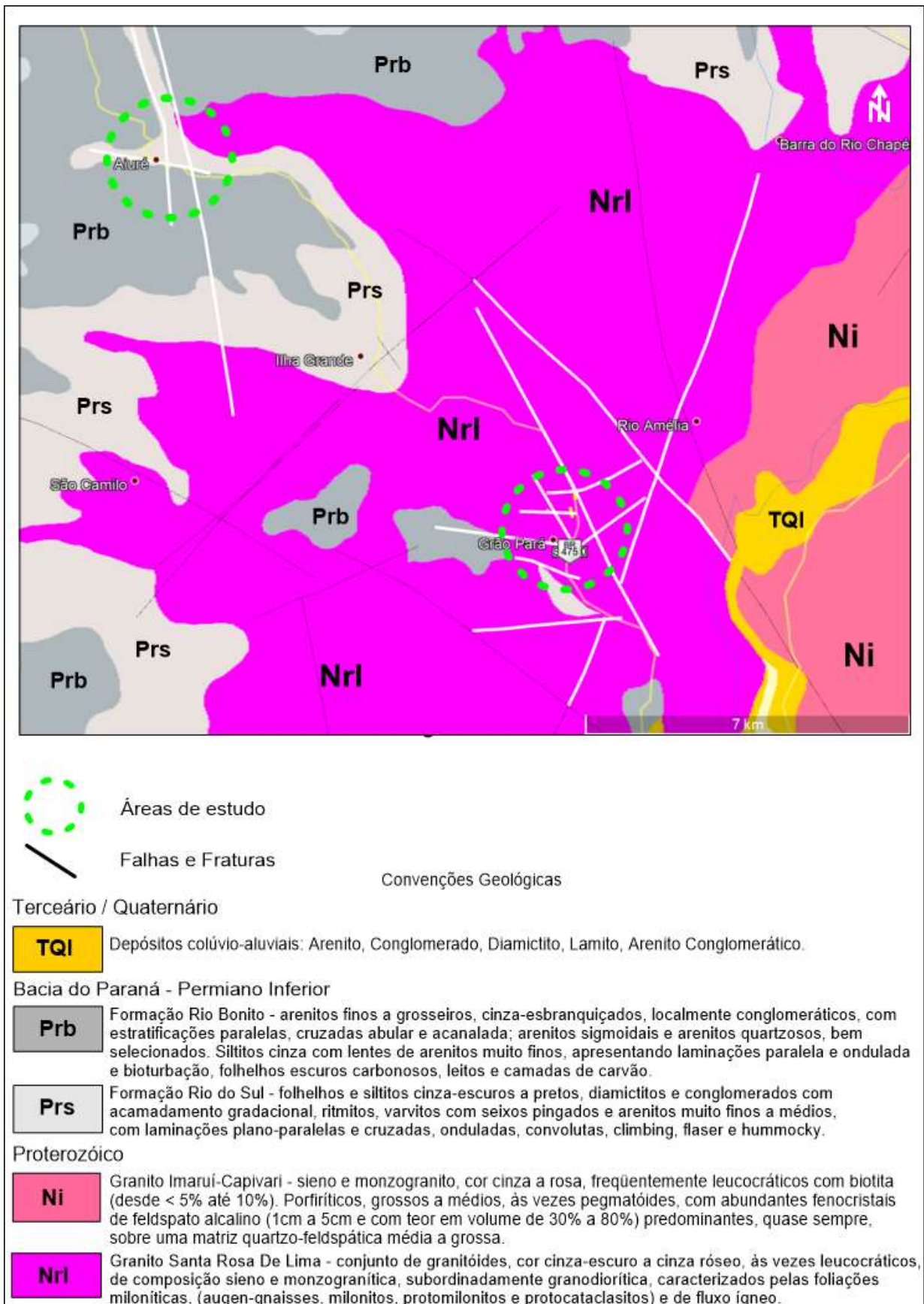


Figura 02 – Mapa geológico de SC modificado com base nos arquivos KML disponível no SGB sobre imagens do Google Earth. Escala indicada (Fonte: CPRM, 2014).

À avaliação estrutural da área e seleção dos pontos a serem realizados os estudos geoeletricos foi obtida através da análise do mapa geológico regional (Figura 02) e da interpretação de imagens de satélite do *Google Earth* (Figuras 03 e 04), objetivando delimitar os principais sistemas de fraturas tectônicas e regionais que ocorrem nas áreas.

As principais direções dos lineamentos regionais são: *N20°E; N60°E; N70°E; N10°W; N25°W; N40-50°W; N70-80°W*.

Os estudos geofísicos objetivaram melhor definir o comportamento espacial e por consequência posicionar os poços ao longo dessas estruturas, pois como citado anteriormente o maior interesse para a prospecção de água subterrânea situa-se nas estruturas rúpteis (falhas e fraturas) que ocorrem nestas litologias. Estas estruturas são resultantes da acomodação de blocos rochosos ou de tectonismos (movimentos da crosta terrestre).

Estas discontinuidades estruturais podem ser localizadas no campo através de mapas topográficos ou imagens aéreas com análise de drenagens, já que cursos d'água e drenagens menores tendem a encaixar-se às discontinuidades dos corpos rochosos.

5. Metodologia de Estudo

Os estudos iniciaram com a investigação das áreas alvo através da análise de mapas geológicos regionais (Figura 02 - CPRM,2014), bem como imagens de satélite do *Google Earth* (Figuras 03 e 04) objetivando definir as estruturas geológicas regionais (falhamentos e fraturamentos).

Definidas as estruturas mais favoráveis para a presença de água subterrânea (falhamentos e/ou fraturamentos), foram executados caminhamentos geoeletricos, transversais às mesmas, objetivando mapear os locais potenciais para execução do poço tubular. As tabelas 1 e 2 abaixo indicam os locais selecionados para investigação geofísica nas áreas de estudo, com as respectivas coordenadas.

Área Sede	
Ponto	Coordenadas UTM (WGS84)
S1	675 548 E / 6 880 766 S
S2	675 161 E / 6 881 535 S
S3	675 436 E / 6 880 989 S
S4	675 521 E / 6 881 496 S
S5	675 997 E / 6 881 002 S
S6	675 632 E / 6 881 962 S

Tabela 1.

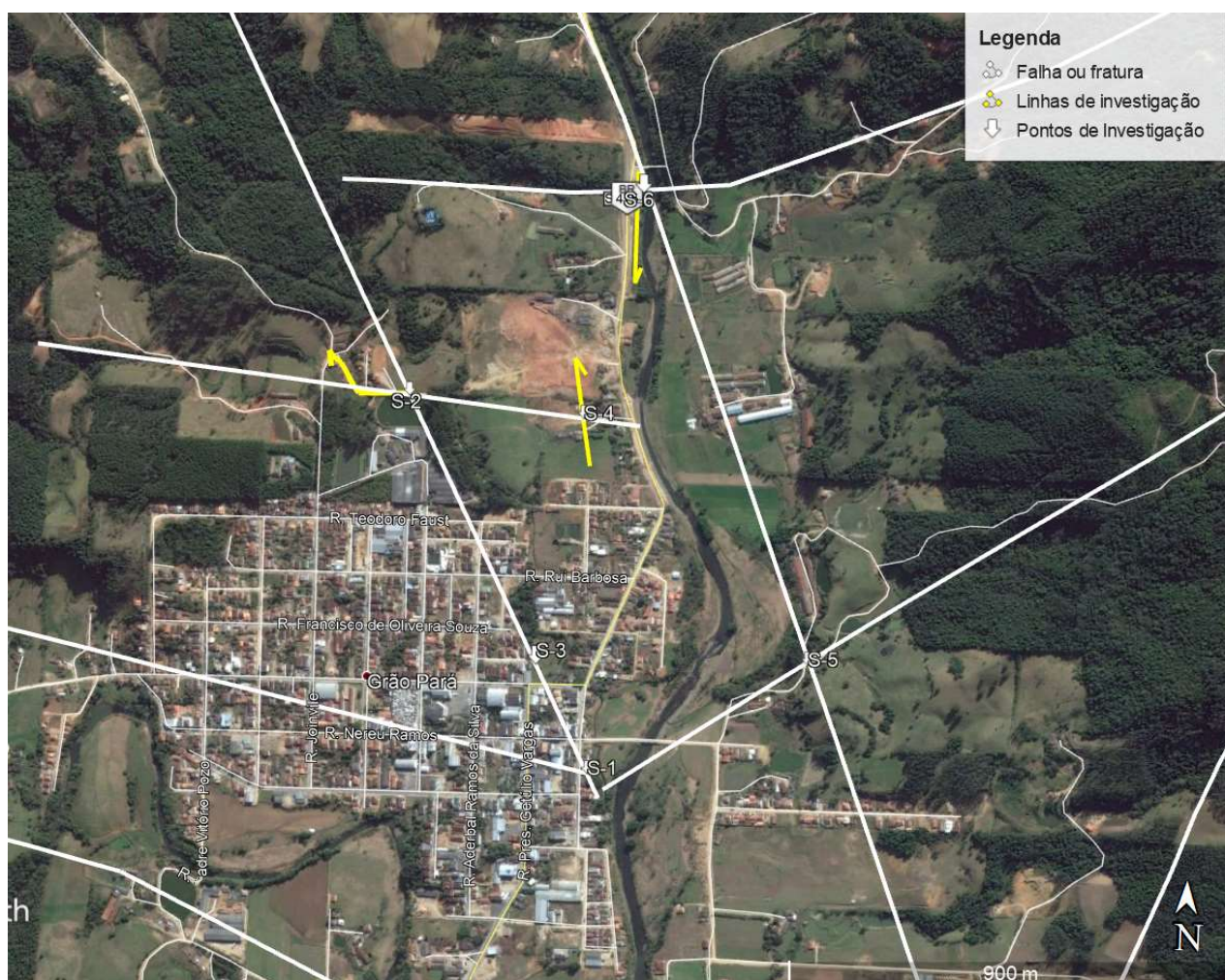
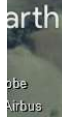


Figura 03 - Imagem *Google Earth* com a localização das áreas de investigação e os pontos indicados para a realização os estudos geofísicos na área de Sede (Escala indicada).

Área Aiure	
Ponto	Coordenadas UTM (WGS84)
A1	667 889 E / 6 889 417 S
A2	667 271 E / 6 889 590 S
A3	666 981 E / 6 889 660 S
A4	667 900 E / 6 889 330 S
A5	666 794 E / 6 889 709 S

Tabela 2.



Airbus

estruturais.

observados preliminarmente nos estudos de geologia estrutural.

Na aquisição dos dados geoeletricos foi utilizada a técnica do Imageamento Elétrico, por meio do arranjo de eletrodos dipolo-dipolo

O princípio dos métodos elétricos de prospecção (Figura 05) é baseado na injeção, no terreno, de uma corrente I através de dois eletrodos (A e B) e na medida da diferença de potencial ΔV , entre outros dois eletrodos (M e N). A função resistividade aparente (ρ_a) é dada pela seguinte expressão: $\rho_a = K * \Delta V / I$.

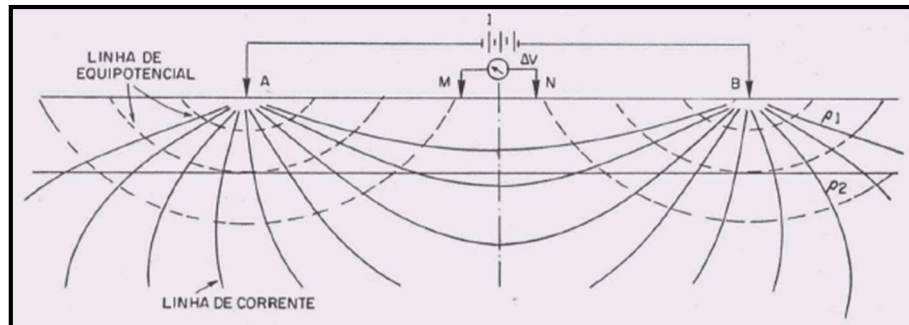


Figura 05 - Ilustração do princípio dos métodos elétricos de prospecção (Telford et al, 1990).

O fator K que multiplica $\Delta V / I$ é puramente geométrico e depende apenas da disposição dos eletrodos A , B , M e N . A resistividade aparente (ρ_a) não é um parâmetro físico do meio, mas um efeito integrado sobre um segmento do semiespaço, para a qual contribuem os valores da resistividade em cada ponto, a geometria elétrica do terreno e a disposição geométrica dos eletrodos.

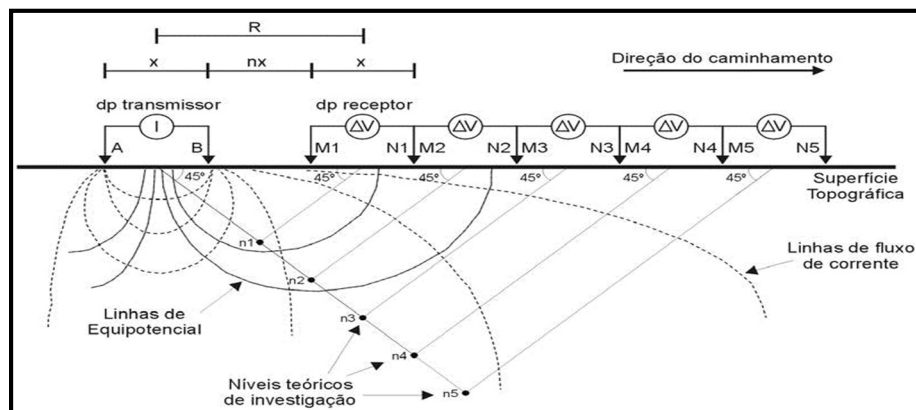


Figura 06 - Representação de uma seção de medidas de imageamento elétrico 2-D – arranjo dipolo-dipolo.

Na prática dos levantamentos de Imageamento elétrico denomina-se geralmente a fonte de corrente como transmissor e os circuitos relacionados com os eletrodos de potencial como receptor. O arranjo dos eletrodos normalmente utilizado neste tipo de levantamento é o dipolo-dipolo (mais sensível na identificação das

variações laterais do terreno) onde a separação entre os eletrodos de corrente (AB) é a mesma dos eletrodos de potencial (MN). O procedimento mais comum é posicionar os eletrodos de corrente (AB) no início da linha. As leituras são feitas através de pares sucessivos de eletrodos de potencial (MN), igualmente espaçados.

Através deste método é possível a construção de seções elétricas, onde a profundidade alcançada é função do espaçamento entre os eletrodos e da resistividade dos materiais do terreno (Figura 06).

5.1. Equipamento / Aquisição dos dados Geoeletricos

O equipamento utilizado na aquisição dos dados geoeletricos foi o Resistivímetro digital multicanal SYSCAL Pro (IRIS Instruments – França) com sistema de cabos multieletrodos e espaçamento de 10 m (Figura 07.a). As aquisições dos dados em campo foram através de múltiplos espaçamentos (2xa, 3xa, 4xa, 5xa, etc.), sendo a igual distância entre eletrodos. Este procedimento permite uma investigação com altíssima densidade de dados (pontos coletados). A Figura 07.b apresenta um modelo de perfil com os pontos medidos amostrados pela técnica do Imageamento elétrico 2D.

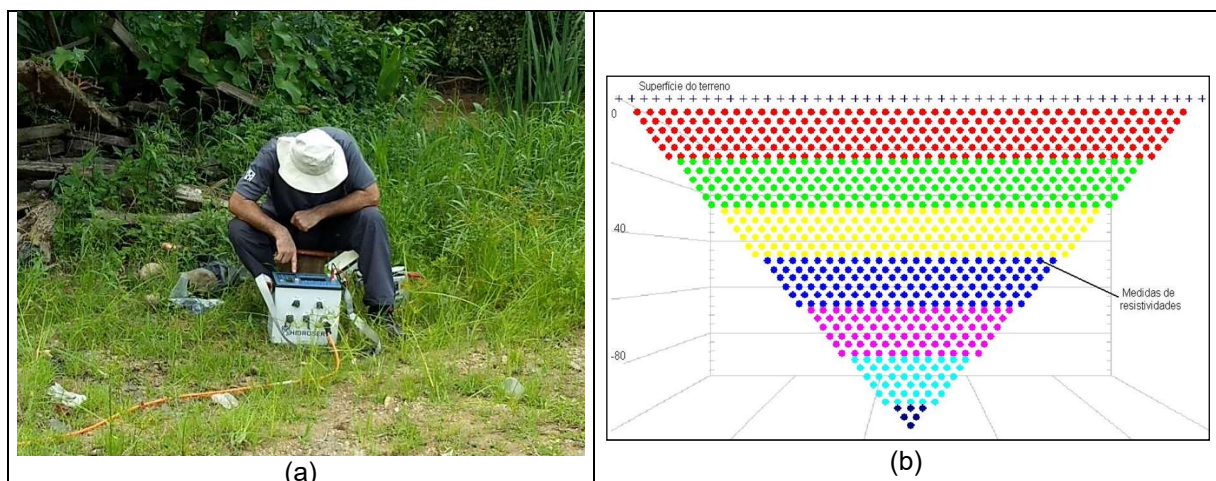


Figura 07 – Equipamento utilizado nos levantamentos geoeletricos e modelo de dados obtidos na seção elétrica.

Os estudos de campo, realizados pelo imageamento 2-D, através do arranjo dipolo-dipolo, investigou três áreas em cada localidade, com perfis dispostos de forma a interceptar as estruturas identificadas. O espaçamento entre as leituras $AB = MN = 10$ m, em 10 níveis de investigação ($n=10$) atingindo até 120 m no processo de

inversão, visando detectar horizontes promissores, visando detectar estruturas mais promissoras, em termos hidrogeológicos, presentes nas áreas (Figuras 03 e 04).

5.2. Processamento dos dados Geoelétricos

Os ensaios de geofísica elétrica, executados através do imageamento 2-D, foram interpretados pelo método da inversão. Os métodos de inversão tentam, essencialmente, encontrar um modelo cujas respostas estejam em conformidade com os dados medidos. No método dos *mínimos-quadrados*, usado pelo *software RES2DINV*, os parâmetros são os valores de resistividades dos blocos do modelo, enquanto que os dados são os valores de resistividades aparentes medidos. Sabe-se muito bem que para um mesmo conjunto de dados há uma ampla variedade de modelos cujas resistividades calculadas se aproximam, em algum grau, dos valores medidos (ambiguidade). Além de tentar minimizar as diferenças entre os valores calculados e medidos, os métodos de inversão também procuram reduzir outros parâmetros que produzem certas características desejadas no modelo resultante. O programa *RES2DINV*, usa um método iterativo (*smoothness-constrain*) que, partindo de um modelo inicial, tenta encontrar um modelo aprimorado, cujos valores de resistividades aparentes sejam mais próximos dos valores medidos. A versão do software de interpretação usado foi o da versão 3.4, *2D Resistivity and IP Inversion*, Copyright (1995-2017) *Geotomo Software*, Malaysia, que utiliza o sistema operacional do Microsoft Windows®.

6. Resultados Obtidos

Os ensaios de geofísica elétrica, executados pelo imageamento elétrico, foram interpretados considerando os resultados obtidos e o conhecimento já adquirido na execução de inúmeros trabalhos para empresas privadas e órgãos públicos.

Os dados obtidos são apresentados anexos, com os valores de resistividades calculados para os diferentes perfis executados. A orientação das linhas de prospecção objetivou interceptar os possíveis fraturamentos existentes na área de estudo registrando as seguintes características para as distintas áreas:

6.1. Sede

– Linha L₁ (S-6)

A linha de imageamento elétrico L₁, executada com orientação aproximada N-S, junto a SC-475 e ao rio Pequeno, teve como objetivo investigar a área de influência do cruzamento dos lineamentos morfo-estruturais *N20°W com W-E*, que corresponde ao ponto **S-6** da interpretação da imagem de satélite do *Google Earth* (Figura 03). Esta linha de investigação caracteriza anomalia de resistividade nas estações iniciais da seção, com valores de resistividade variando entre 150 a 1 000 $\Omega.m$, entre as estações 60 a 70 m. A anomalia é registrada até o nível final nesta posição da seção ocorrendo um incremento dos valores de resistividades com o aumento da profundidade. Nas posições posteriores à anomalia, nos níveis mais profundos, são registrados valores mais elevados de resistividades, acima de 3 000 $\Omega.m$ que caracterizam o *background* local para as rochas do embasamento cristalino (Figura 08).

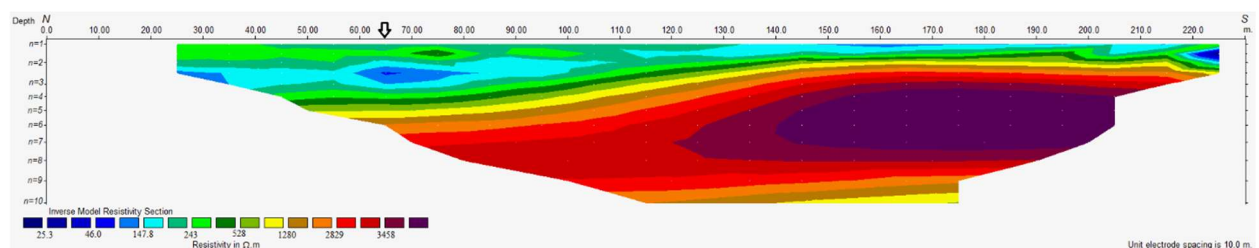


Figura 08 – Seção geoeletrica modelada de L₁ com indicação da estrutura interceptada.

▪ Linha L₂ (S-4)

A linha L₂, executada junto ao loteamento em instalação, com orientação S - N, teve como objetivo investigar a área de influência da estrutura detectada nos levantamentos preliminares que possui orientações *N-80°-W*. A área de influência deste lineamento corresponde ao ponto **S-4** e pode ser visualizado na figura 03. Nessa investigação foi identificada zona condutiva nas posições centrais da seção, onde os valores das resistividades variam entre 200 a 1 200 $\Omega.m$, alcançando até os níveis mais profundos. Esta anomalia fica melhor caracterizada na estação 100 m onde ocorre a maior concentração de valores baixos de resistividades, indicando zona de

maior condutividade na seção. Nas estações a noroeste são registrados incrementos positivos nos valores de resistividades indicando a restrição desta área fora da zona de anomalia (Figura 09).

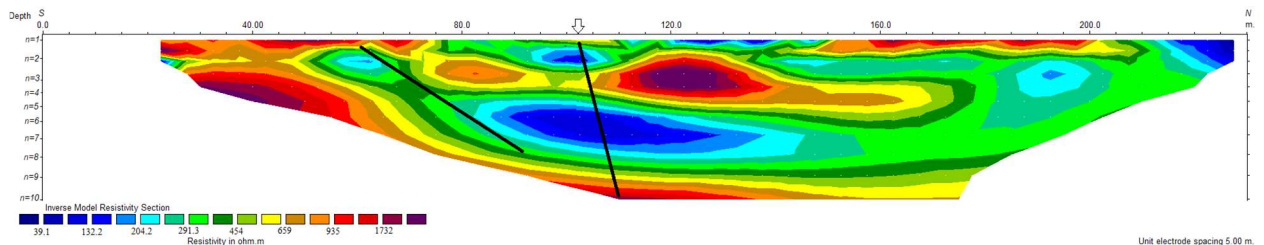


Figura 09 – Seção geoeletrica modelada de L2 com indicação da estrutura identificada.

▪ Linha L3 (S-2)

A linha de prospecção L3, executada com orientação SE-WNW, investigou a área de influência do cruzamento dos lineamentos morfo-estruturais de orientações N30° W e W-E. Nesta área está o ponto S-2, determinado através da interpretação de imagem de satélite do *Google Earth* (Figuras 03). Nesta seção é registrada uma zona de baixa resistividade localizada nas posições centrais, com valores variando entre 250 a 1 000 $\Omega.m$, na estação 110 m, onde ocorre a anomalia condutiva. A restrição desta linha de investigação é indicada pela ocorrência de valores elevados de resistividades nos níveis profundos nas demais estações, não ocorrendo outras zonas condutivas e caracterizando o *background* local (Figura 10).

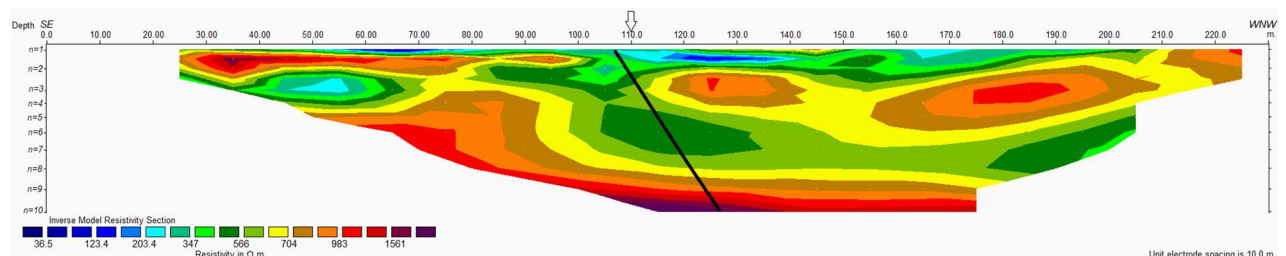


Figura 10 – Seção geoeletrica modelada de L3 com indicação da zona condutiva identificada.

7.1. Aiure

▪ Linha L₁ (A-1)

A linha de imageamento elétrico L₁, executada com orientação aproximada SE-NW, n propriedade do Sr. Miro, teve como objetivo investigar a área de influência do cruzamento dos lineamentos morfo-estruturais N10°W com N-80°-W, que corresponde ao ponto **A-1** da interpretação da imagem de satélite do *Google Earth* (Figura 04). Esta linha de investigação caracteriza anomalia de resistividade nas estações intermediárias a finais da seção, com valores de resistividade variando entre 300 a 1700 $\Omega.m$, entre as estações 140 a 160 m. Esta zona anômala é registrada até os níveis finais, onde a estação 150 m registra sua maior continuidade espacial. Nas posições anteriores a esta zona os valores são mais elevados, acima de 3 500 $\Omega.m$ que caracterizam o *background* local para as rochas arenosas da bacia do Paraná (Figura 11).

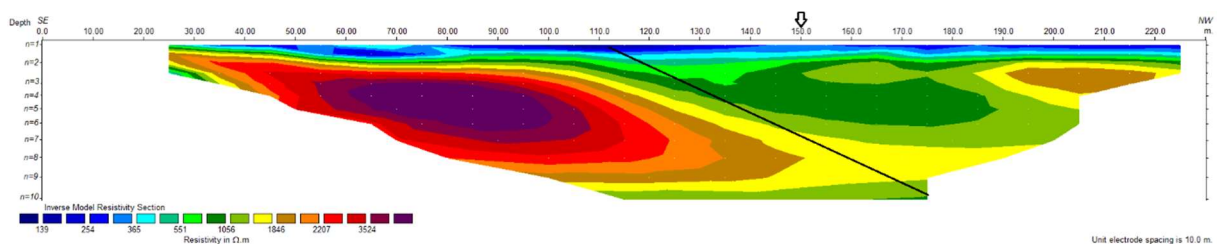


Figura 11 – Seção geoeletrica modelada de L₁ com indicação anomalia registrada.

▪ Linha L₂ (A-3)

A linha de imageamento elétrico L₂, executada com orientação aproximada NE-SW, junto a estrada municipal, teve como objetivo investigar a área de influência do lineamento morfo-estruturais N-80°-W, que corresponde ao ponto **A-3** dos levantamentos preliminares e pode ser visualizado na imagem de satélite do *Google Earth* (Figura 04). A área identificada nas posições medianas da seção registra valores baixos de resistividades, variando entre 100 a 800 $\Omega.m$, caracteriza a zona de influência da estrutura na seção. A melhor caracterização desta anomalia é registrada entre as estações 140 e 150 m. Os baixos valores de resistividades registrados entre os níveis $n=5$ e $n=7$, ao longo de toda seção, indicam a existência de horizonte argiloso ou argilo-siltoso que são características das rochas da bacia do Paraná na região (Figura 12).

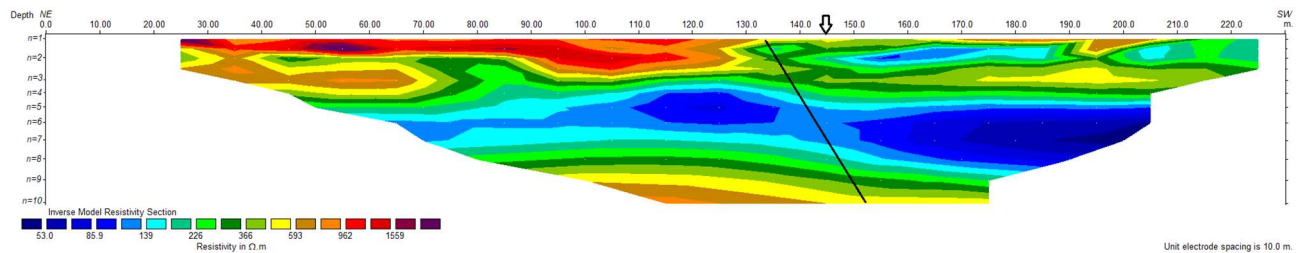


Figura 12 – Seção geolétrica modelada de L₂ com indicação da estrutura detectada.

▪ Linha L₃ (A-2)

A linha de prospecção L₃, executada com orientação *SE-NW*, junto a rodovia SC-370 e próximo a área da Doli, teve como objetivo investigar a área de influência do cruzamento dos lineamentos na área com orientações *N-80°-W* e *N-S*. A área de influência desta estrutura corresponde ao ponto **A-2**, interpretado nos levantamentos preliminares e pode ser visualizado na imagem de satélite do *Google Earth* (Figura 04). Esta linha de investigação não registrou anomalias de resistividades que possam ser associadas a presença de estruturas hidrogeologicamente relevantes. A restrição desta área é caracterizada pela presença de valores elevados de resistividades a partir do nível $n=3$ e variando entre 2 500 a 4 500 $\Omega.m$, atingindo valores acima de 5 000 nas posições mais profundas a *SE* da seção (Figura 13).

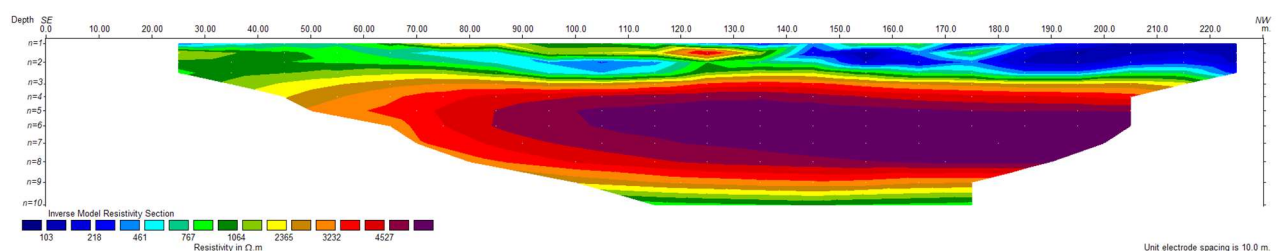


Figura 13 – Seção geolétrica modelada de L₃.

8. Conclusões e Recomendações

Baseado nos estudos preliminares e a proximidade da área a ser abastecida com o poço, foram selecionados os locais com maior potencialidade para a ocorrência de água subterrânea, assim nestes pontos mais favoráveis foram realizados estudos de geofísica elétrica (Imageamento Elétrico).

O posicionamento espacial das linhas geolétricas levou em consideração a orientação das estruturas geológicas presentes na área de estudo, como as mais promissoras para a ocorrência de água subterrânea, como discutido e exposto

anteriormente. Desta forma, o objetivo foi a comprovação da existência de tais estruturas e se estas apresentam potencialidades para a presença de água subterrânea.

A análise e correlação dos parâmetros obtidos e calculados no imageamento elétrico, associado às observações geológicas de superfície, permitiram os resultados apresentados na forma de perfis geoeletricos mostrando a variação espacial bidimensional e as condições hidroestruturais capazes de armazenar e possivelmente ceder água subterrânea a partir de áreas fraturadas. Estas estruturas ampliam a potencialidade hidrogeológica e condicionam a ocorrência de água subterrânea nas rochas do embasamento cristalino.

A Tabela 3 apresenta os resultados qualitativos obtidos pelos parâmetros geoeletricos nas áreas de investigação e que melhor caracterizaram os locais onde devem ser executados os poços tubulares. Os pontos investigados estão indicados com a ordem preferencial de perfuração para cada área.

Ponto	Coordenadas UTM E/N (WGS84)	Estação (m)
Sede		
1. S-2	675 057 m E / 6 881 537 m N	110
2. S-4	675 519 m E / 6 881 501 m N	100
3. S-6	675 620 m E / 6 881 942m N	65
Aiure		
1. A-1	667 850 m E / 6 889 430 m N	150
2. A-3	666 908 m E / 6 889 624 m N	145

Tabela 3.

A possibilidade de sucesso na perfuração deve levar em conta a rigorosa locação citada acima, uma vez que a área é restritiva para o condicionamento hidrogeológico fora das estruturas presentes. Os pontos locados nas estruturas presentes estão registrados nas Figuras 03 e 04. Os pontos escolhidos para o estudo levaram em consideração primeiramente o aspecto técnico, as condições de infraestrutura existente no município, bem como as condições de acesso dos equipamentos de perfuração.

As áreas investigadas indicaram potencialidade moderada, desta forma o poço tubular deverá ser executado no ponto indicado acima para cada área, atingindo profundidade máxima de 150 m.

Os estudos geofísicos são métodos indiretos, não-destrutivos, desta forma as profundidades teóricas calculadas podem variar em até 10 - 15 %, quanto às profundidades reais, uma vez que os estudos foram conduzidos em meio urbano onde a quantidade de interferências elétricas e eletromagnéticas são elevadas.

Salienta-se, ainda, que os métodos de prospecção geofísica são qualitativos não indicando ou fornecendo quaisquer dados referentes à vazão a ser obtida pelos poços perfurados.

9. Referências Bibliográficas

- Bernard, J. & Valla, P; 1991. Groundwater exploration in fissured media with electrical and *VLF* methods. *Geoexploration*, V. 27: 81 – 91.
- CPRM, 20014. Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina. Escala 1: 500.000.
- Google Earth 2018* – Image ® CNS / Astrium. Disponível em: www.googleearth.com.
- IBGE, 2004 – Geologia da Folha SG.22-Z-D – Florianópolis. Escala 1: 250 000.
- IP2win* (VES-IP) v. 3.0.1. 2003. Resistivity Sounding Interpretation. Manual, Moscow State University.
- Loke, M.H., 2000. Eletrical imaging surveys for environmental and engineering studies: a pratical guide to 2-D and 3-D surveys, 59p. (<http://www.agiusa.com>).
- Machado, J. L. F. (2013). "Mapa Hidrogeológico de Santa Catarina, escala 1: 500.000"- Nota explicativa CPRM-SDS. Porto Alegre.
- Orellana,E. – 1972 – *Prospección Geoelétrica en Corriente Continua*. Madrid, Editora Paraninfo, 523 pp.
- Robinson, E. and Corun, C., 1988. *Basic Exploration Geophysics*. John Wiley & Sons, New York, 562p.
- RES2DINV - Geoelectrical Imaging 2-D & 3D. versão 3.4, Resistivity and IP Inversion. Geotomo Software. 2012.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. F., & Keys, D. A., (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, 841 pp.
- Ward, S. H., 1990. Resistivity and Induced Polarization Methods. *Geotechnical and Environmental Geophysics*. Series in Geophysics N. 5. Ed. Stanley H. Ward - Tulsa - Society of Exploration Geophysicists – Vol. I – Review and tutorial. - pp 147-185.

ANEXO I

Fotografias



Fotografia 1 - Execução da linha de L₁ (S-6).



Fotografia 2 - Instalação dos cabos multieletródos na linha L₂ (S-4).



Fotografia 3 - Execução da linha da L₃ (A-2).



Fotografia 4 - Aquisição dos dados geoeletricos L₃ (S-2).

ANEXO II

ART

ABR/18