

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Graduação em Geologia

ESTUDO GEOFÍSICO E ESTRATIGRÁFICO PARA FINS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE CORDEIRÓPOLIS (SP)

NIKOLAS KONSTANTINOW

Prof. Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro (SP)

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

NIKOLAS KONSTANTINOW

ESTUDO GEOFÍSICO E ESTRATIGRÁFICO PARA FINS
DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO
MUNICÍPIO DE CORDEIRÓPOLIS (SP)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Rio Claro - SP

2017

551.49 Konstantinow, Nikolas
K82e Estudo geofísico e estratigráfico para fins de captação de
água subterrânea no município de Cordeirópolis (SP) /
Nikolas Konstantinow. - Rio Claro, 2017
56 f. : il., figs.

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: César Augusto Moreira

1. Aquíferos. 2. Eletorresistividade. 3. Inversão 2D. I.
Título.

NIKOLAS KONSTANTINOW

ESTUDO GEOFÍSICO E ESTRATIGRÁFICO PARA FINS
DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO
MUNICÍPIO DE CORDEIRÓPOLIS (SP)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira (orientador)

Prof. (a) Msc. Livia Portes I. Helene

Msc. Leonardo Zani Castello

Rio Claro, 04 de Dezembro de 2017.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Com a finalização deste trabalho, o sentimento que me acomete é de imensa felicidade e gratidão por mais um ciclo encerrado na minha vida. Dedico este trabalho aos meus pais Olga e José pelo apoio, amor incondicional e suporte para que eu pudesse realizar meu sonho de me formar em Geologia.

À todos os professores do curso que de certa forma me ajudaram nesta caminhada, em especial ao professor e orientador César Moreira, por todo conhecimento compartilhado, disposição e tempo investido na realização deste trabalho.

À Jacqueline Domingues pelo incentivo sem medida, amor e dedicação, ajuda em todos os momentos da realização deste trabalho e pelo companheirismo puro e verdadeiro.

À todos os amigos de república que tornaram meus dias melhores e mais divertidos, em especial a República Mansão e Nóia que me acolheram durante esses longos anos. À todos meus amigos de turma, em especial Buda, Lessi, Tião, Ralo, Mumuco, Quevedo, Buero, Pupu, Rafaela, 2D e Caio Breda. Ao meu grande amigo Lumbriga pelas longas conversas e risadas compartilhadas ao longo desses anos.

Em especial aos meus amigos Leonides (300), Leonardo (Moça), Daniel (Leitoa), pela amizade, risadas, noites mal dormidas e cervejas compartilhadas.

RESUMO

Em um cenário de longos períodos de estiagem e de intensa exploração e poluição das fontes hídricas superficiais a busca e o estudo de fontes alternativas para complementar ou substituir as fontes convencionais se torne imprescindível para o abastecimento da população num futuro próximo. Assim o estudo de fontes hídricas subterrâneas é uma alternativa considerada e em alguns casos a única opção para populações rurais de diversas cidades. Este trabalho apresenta os resultados da aplicação conjunta do método da eletrorresistividade para caracterização do aquífero confinado Tubarão e do aquífero fraturado da Formação Serra Geral e comparação destes dados geofísicos com dados de vazão de poços profundos que possuam descrição litoestratigráfica na cidade de Cordeirópolis (SP). O aquífero estudado está inserido na Bacia do Paraná, em especial no Grupo Itararé, Formação Tatuí e Formação Serra Geral, respectivamente, Aquífero Tubarão e Aquífero Serra Geral. Foram realizadas 4 linhas em arranjo Dipolo-Dipolo e Schlumberger por meio da técnica de imageamento elétrico, de 800 m de comprimento cada e 10 m de espaçamento entre os eletrodos. Os resultados indicam zonas de baixa resistividade próximo a 50 m de profundidade, relacionadas ao aquífero fraturado, além de algumas zonas de alta resistividade a partir de 100 m de profundidade, que indicam o diabásio da Formação Serra Geral que não apresentam fraturas e, conseqüentemente, não ocorre a percolação de água. Estes resultados corroboram para um melhor entendimento do comportamento do aquífero fraturado na região e de como este pode ser explorado para atender pequenas propriedades rurais.

Palavras-chave: Aquífero, Eletrorresistividade, Inversão 2D

ABSTRACT

In a scenario of long periods of drought and intensive exploitation and pollution of surface water sources, the search and study of alternative sources to supplement or replace as conventional sources becomes essential for the supply of the population in the near future. Thus, the study of underground water sources is an alternative and in some cases a single option for rural populations of several cities. This work presents the results of the joint application of the electrorresistivity method for the characterization of the confined aquifer Tubarão and fractured aquifers of the Serra Geral Formation and disseminate data in line with voids data from deep wells that have a lithostratigraphic description in the city of Cordeirópolis, . The studied aquifer is located in the Paraná Basin, especially in the Itararé Group, Tatuí Formation and Serra Geral Formation, respectively, Tubarão Aquifer and Serra Geral Aquifer. Four lines were made in Dipole-Dipole and Schlumberger arrangement by means of the electric image technique, 800 m long each and 10 m spacing between the electrodes. The results indicate areas of low resistivity near 50 m depth, related to the fractured aquifer, in addition to some zones of high resistivity from 100 m depth, which indicate the diabase of Serra Geral Formation that is not found in fractures and, consequently, no percolation of water occurs. These results corroborate a better understanding of the behavior of guarantors in the region and of how this can be exploited to serve small rural properties.

Key-words : Aquifer, Eletroresistivity, 2D Inversion

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem aérea da cidade de Cordeirópolis, porção norte da cidade e sua principal rota de acesso	12
Figura 2: Perfil Geomorfológico do Estado de São Paulo	13
Figura 3: Localização da Bacia do Paraná no continente Sul Americano	14
Figura 4: Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região estudada, Perinotto & Zaine (2008) modificado de Soares e Landim (1975)	15
Figura 5: Seção colunar da área de Limeira, próximo a área de estudo (ARAB et al., 2009)	16
Figura 6: Esquema dos tipos de aquífero existentes	20
Figura 7: Esquema de recarga dos aquíferos confinado e livre	21
Figura 8: Mapa Hidrogeológico do Estado de São Paulo	22
Figura 9: Esquema hidrogeológico do Aquífero Tubarão	22
Figura 10: Esquema hidrogeológico do Aquífero Serra Geral	23
Figura 11 Boletim de cadastramento de poços do DAAE	24
Figura 12: Exemplo de coluna confeccionada através do boletim de cadastramento do DAAE	25
Figura. 13: Parâmetros utilizados na definição de resistividade	27
Figura 14: Distribuição das linhas equipotenciais e corrente elétrica em modelo de subsuperfície homogêneo e isotrópico, visto em perfil (esquerda) e em planta (direita) (Modificado de MUSSET & KHAN, 2000)	28
Figura 15: Esquema da técnica Schlumberger e cálculo de resistividade aparente (LOWRIE,2007)	29
Figura 16: Esquema da técnica Dipolo-Dipolo e cálculo de resistividade aparente (LOWRIE,2007)	30
Figura 17: Localização dos poços utilizados e linhas geofísicas traçadas	31

Figura 18: Superior- conexão entre os eletrodos e os fios do equipamento Terrameter LS; Inferior- Poço artesiano objeto de estudo_____	32
Figura 19: Equipamento Terrameter LS (ABEM)_____	33
Figura 20: Esquema de correlação entre o Poço 1 e seus respectivos arranjos_____	35
Figura 21: Coluna estratigráfica referente ao Poço 1_____	37
Figura 22: Seção Schlumberger referente ao Poço 1_____	37
Figura 23: Esquema de correlação entre o Poço 2 e seus respectivos arranjos_____	38
Figura. 24: Coluna estratigráfica referente ao Poço2_____	40
Figura 25: Seção 1 de inversão de resistividade elétrica, pelo arranjo Schlumberger_____	40
Figura 26: Esquema de correlação entre o Poço 3 e seus respectivos arranjos_____	41
Figura 27: Coluna estratigráfica referente ao Poço 3_____	43
Figura 28: Seção 3 de inversão de resistividade elétrica, pelo arranjo Dipolo-Dipolo_____	43
Figura 29: Esquema de correlação entre o Poço 4 e seus respectivos arranjos_____	44
Figura 30: Coluna estratigráfica referente ao Poço 4_____	46
Figura 31: Seção 4 de inversão de resistividade elétrica, pelo arranjo Schlumberger_____	46
Figura 32: Correlação entre os poços, com as possíveis associações entre as Formações e o nível de água_____	48
Figura 33: Local sugerido adequado para instalar um poço artesiano na Seção 1_____	49
Figura 34: Local sugerido adequado para instalar um poço artesiano na Seção 2_____	50
Figura 35: Local sugerido adequado para instalar um poço artesiano na Seção 3_____	50
Figura 36: Local sugerido adequado para instalar um poço artesiano na Seção 4_____	51

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	OBJETIVOS.....	12
3.	ÁREA DE ESTUDO	12
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1.	Geologia Regional	14
4.2.	Hidrogeologia	20
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
5.1.	Análise Estratigráfica.....	24
5.2.	Geofísica	25
5.2.1.	Eletrorresistividade.....	27
5.2.2.	Arranjos.....	29
6.	AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO	31
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
7.1.	Correlações entre os dados	34
7.2.	Correlação entre os Poços.....	47
7.3.	Poços artesianos futuros.....	49
8.	CONCLUSÃO.....	52
9.	BIBLIOGRAFIA	54

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos ao longo dos anos estão se tornando cada vez mais escassos, esta escassez ocorre por diversos fatores, dentre eles a poluição, manejo inadequado dos recursos hídricos pela administração pública e por questões climáticas, como longos períodos de estiagem. Os rios, lagos e represas que são as fontes hídricas principais, são as que mais estão suscetíveis a serem exploradas e manejadas inadequadamente, assim fontes hídricas alternativas viáveis e de rápida implementação são necessárias.

Assim os recursos hídricos subterrâneos se apresentam como uma fonte adequada para a solução deste problema, em muitos municípios e para populações rurais de diversas cidades que apresentam baixa disponibilidade de recursos hídricos superficiais, as águas subterrâneas são a principal fonte de abastecimento para a população (BALEK, 1989).

Para localizar estas fontes, a geofísica se mostra uma ferramenta importante para este tipo de estudo indireto, pois possui métodos adequados para obter de maneira rápida os dados pertinentes com este tipo de estudo, de custo relativamente baixo se comparado aos estudos diretos, como por exemplo a realização de sondagens, além de os dados gerados serem de fácil interpretação e análise.

Dentre todos os métodos geofísicos existentes, o mais adequado para a realização de estudos pertinentes a água e contaminações de solo é o método geoeletrico. Nos métodos geoeletricos serão comparados dois arranjos, o arranjo Dipolo-Dipolo e o arranjo Schlumberger, pois ambos são usualmente utilizados neste tipo de estudo.

No município de Cordeirópolis o abastecimento de água é realizado através de duas represas, porem a cidade apresenta em determinadas épocas do ano devido ao seu clima, um baixo nível de chuvas. Logo em períodos onde a estiagem dura muitos meses, com poucas ocorrências de chuvas o nível destas represas fica em níveis extremamente baixos, causando problemas de abastecimento da cidade.

Mas na região ocorre a presença de dois tipos de aquíferos, um aquífero confinado, chamado de Aquífero Tubarão e um aquífero fraturado, o Aquífero Serra Geral. Apesar de haver a existência destes aquíferos, a exploração de ambos não é feita de maneira apropriada para sanar o problema de abastecimento em épocas aonde o nível das represas é crítico.

Logo, opções para solucionar o problema de abastecimento da cidade não faltam, mas devido à escassez e/ou inexistência de estudos sobre o comportamento dos aquíferos na região, não são explorados de maneira eficiente e sustentável. Assim este trabalho foi realizado no intuito de analisar qual o melhor arranjo geofísico se encaixa para o estudo deste tipo de problemática, além de tentar identificar zonas propícias para a implementação de poços artesianos na região de estudo.

2. OBJETIVOS

Analisar as relações entre as medidas de resistividade elétrica obtidas por meio do método da Eletrorresistividade em ensaios de tomografia elétrica, com a estratigrafia de poços tubulares profundos que captam água na região de Cordeirópolis (SP) e identificar qual arranjo geoeletrico (Dipolo-Dipolo ou Schlumberger) se adequa melhor aos estudos dos aquíferos presentes na área, para entender o comportamento destes aquíferos e possibilitar uma exploração sustentável.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se encontra na porção norte da cidade de Cordeirópolis, no estado de São Paulo, está inserida da Microrregião de Limeira. O município está localizado a $22^{\circ}28'55''$ S e $47^{\circ}27'24''$ O, estando a uma altitude de 668 metros, possui uma área de aproximadamente 137.579 Km^2 e uma população de 21.080 habitantes, predominantemente instalados na área urbana. O acesso a cidade é feito pela Rodovia Washington Luís (SP-310), distante 162 quilômetros da capital paulista (Figura 1).

Fig. 1: Imagem aérea da cidade de Cordeirópolis, porção norte da cidade e sua principal rota de acesso.



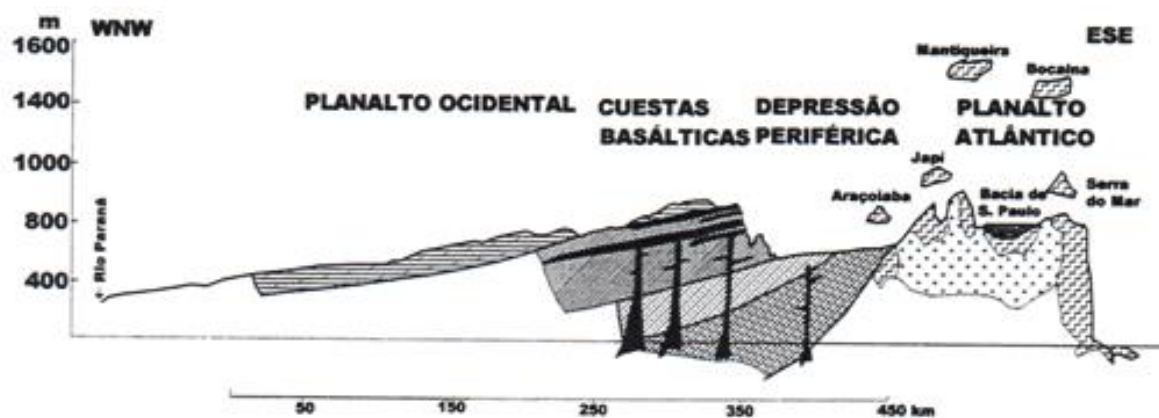
Fonte: Google Earth Pro.

A economia da cidade é bem diversificada, possui um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 1.366.099.192 (IBGE, 2010), as atividades econômicas que mais apresentam destaque na economia da cidade e da região são o plantio de cana-de-açúcar e as indústrias de cerâmica, papel e papelão.

A cidade possui dois ribeirões que passam pela área do município, o Ribeirão Tatu e o Ribeirão São Francisco, porém estes ribeirões não servem para o abastecimento da cidade. A cidade é atendida pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Cordeirópolis, com função de captar, tratar e distribuir a água que é captada das represas Mirante e Santa Maria.

Segundo a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo, o município de Cordeirópolis está inserido na Unidade Depressão Periférica Paulista (Figura 2). Na área de estudo as altitudes oscilam entre 600 e 750 metros, o relevo basicamente é constituído por colinas de topos tabulares amplos, com baixas declividades e os vales são entalhados até 20 metros, as maiores altitudes registradas são sustentadas principalmente por derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Figura 2: Perfil Geomorfológico do Estado de São Paulo.



Fonte: FERNANDES, 2005.

As drenagens apresentam padrão dendrítico com algum condicionamento estrutural, os solos da região são caracterizados por Latossolos Roxos e Latossolos Vermelho Escuros, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. O bioma da região foi classificado como Cerrado e Mata Atlântica, o clima é classificado como Tropical (IBGE, 2010).

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Geologia Regional

A Bacia do Paraná está localizada no interior da plataforma Sul-Americana, no centro leste de América do Sul, sobre os territórios do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (Milani et al, 2007). Segundo Milani et al (1997), ocorre em 1,5 milhão de quilômetros quadrados, desenvolvida entre o Neo-ordoviciano e o Neocretáceo, apresentando rochas ígneas e sedimentares, com a presença de derrames basálticos cretáceos (Figura 3).

Figura 3: Localização da Bacia do Paraná no continente Sul Americano.



Segundo Milani (1997), o empilhamento estratigráfico da Bacia do Paraná pode ser dividido em seis unidades de ampla escala, chamadas de Supersequências por Vail et al (1977), separadas por grandes discordâncias com duração temporal de milhões de anos (Figura 4). Na região de estudo são encontradas as seguintes unidades:

Figura 4: Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região estudada, Perinotto & Zaine (2008) modificado de Soares e Landim (1975).

ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espes. Aprox. (metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE <i>(Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRES. COLUVIÕES
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	ARENITOS CONGLOMERÁTICOS E ARENITOS SILICIFICADOS / FERRICRETES	CONTINENTAL: LEQUES ALUVIAIS
MESOZÓICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE. DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO (<i>Basalto e diabásio = matéria-prima para brita</i>)	MAGMATISMO FISSURAL
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS BEM ARREDONDADOS E BEM ESFÉRICOS, POUCA ARGILA <i>Aquífero Guarani</i>	CONTINENTAL. DESÉRTICO
	TRIÁSSICO		PIRAMBÓIA		150	ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESFÉRICOS. DIVERSOS NÍVEIS DE LAMITOS	CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
			CORUMBATAÍ		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS E COQUINAS <i>(Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: LACUSTRE MISTO: PLANÍCIE DE MARÉ
PALEOZÓICA	PERMIANO	PASSA DOIS	IRATI		40	FOLHELHOS, SILTITOS, FOLHELHOS PIROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS <i>(pedregais de calcário na região de Assistência, Apocena e Praticaba/Solanho)</i>	MISTO: LAGUNA/PLATAFORMA
			TATUÍ		50	SILTITOS E SILTITOS ARENOSOS	MISTO: PLANÍCIE COSTEIRA/PLATAFORMA
		ITARARÉ	Grupo ITARARÉ (indiviso no Estado de São Paulo)		900	ARENITOS, SILTITOS, VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS TILITOS) <i>(Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços profundos da região)</i>	CONTINENTAL: GLACIAL FLUVIAL LACUSTRE MISTO MARINHO (GLÁCIO-MARINHO)
			CARBONÍFERO				
Pré-Cambriano			EMBASAMENTO		GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS		

O embasamento cristalino é composto por migmatitos, granitos, gnaisses e supracrustais. A Bacia do Paraná apresenta-se em uma estrutura ovalada, com eixo maior N-S. Seu contorno atual é definido por limites erosivos, ocorrido ao longo dos eventos geotectônicos do mesozoico e cenozoico ocorridos no continente (Milani et al, 2004).

O **Grupo Itararé** é a unidade basal da sequência sedimentar permo-carbonífera, com espessura de até 1.400 metro a sudoeste do Estado de São Pulo (ZAINÉ, 1994). O Grupo apresenta registros glaciais, passando de um ambiente continental de alta energia, para um ambiente marinho, apresentando turbiditos e fluxos de massa, os estudos bioestratigráficos

apontam a idade o intervalo Stephaniano - Kunguriano do final do Carbonífero Superior - topo do Permiano Inferior (DAEMON & QUADROS, 1970), mais recentemente foi descrito como Westphaliano do Carbonífero Superior (SOUZA et al., 1990).

Especificamente o Grupo Itararé será descrito mais detalhadamente na região de estudo devido ao fato de ser o alvo deste projeto, apresentando uma coluna estratigráfica detalhada deste grupo e sua descrição (ARAB et al., 2009) (Figura 5).

Figura 5: Seção colunar da área de Limeira, próximo a área de estudo (ARAB et al., 2009).



O Grupo Itararé apresenta diversas fácies sedimentares, são descritos diamictitos, arenitos, ritmitos, lamitos e siltitos. Os diamictitos apresentam matriz predominantemente argilosa, com clastos facetados e estriados, alguns locais apresentam matacões. Também foram encontradas lentes de arenito deformadas nos diamictitos, além de feiões de cisalhamento, as lentes arenosas apresentam areia média, subangulosos a angulosos, a deposição dessa fácies ocorreu por fluxos gravitacionais subaquosos e remobilização de material depositado, provavelmente por movimentações das geleiras.

Os arenitos encontrados no Gr. Itararé são maciços, com estratificação cruzada hummocky, laminação cruzada e megaondulações. Os arenitos apresentam matriz siltica, granulometria areia fina a grossa inferior, com grãos subarredondados a facetados, de diversas colorações e a composição é predominantemente quartzosa, com pouco feldspato.

A deposição destes arenitos ocorreu de diferentes maneiras, os maciços com clastos são gerados a partir de fluxos gravitacionais, os com estratificação hummocky são gerados a partir de eventos episódicos de maior energia, formados por ação de ondas que modelam o substrato marinho. Os arenitos com laminação cruzada são gerados por processos de tração e decantação em regime de fluxo inferior, os arenitos que apresentam megaondulações são formados a partir de fluxos subglaciais contínuos e constantes, que inicialmente são concentrados e canalizados e depois se tornam desconfinados.

Os ritmitos encontrados são intercalações de argilitos e siltitos, ocorrendo pequenos diápiros e bolsas de silito no argilito, estes ritmitos foram formados a partir de decantação de material fino em suspensão. Os lamitos do Gr. Itararé apresentam lentes de arenito deformadas e barras arenosas, são formados por lamitos de coloração creme, clastos dispersos de composição polimítica e geralmente arredondados.

Os lamitos são formados por decantação com interação de fluxos descontínuos formadores das lentes arenosas, sendo essas lentes arenosas processos de pulsos mais enérgicos, provenientes de leques mais proximais. O silito são levemente arenosos e com consp'ua esfoliação esferoidal, depositada a partir de decantação de material fino em suspensão, durante o processo de transgressão marinha.

A **Formação Tatuí** foi descrita por BARBOSA & GOMES (1958), como possuindo uma origem marinha, porém PETRI & FULFARO (1983) caracterizam esta formação como de

origem lagunas ou lagoas costeiras de salinidade variável, com uma pequena abertura para o mar possivelmente.

SOARES (1972) divide a formação em membro inferior, com siltitos pretos carbonosos, o que reflete condições mais redutoras no topo da camada. Sendo assim, o ambiente deposicional é interpretado como uma plataforma marinha com sistema costeiro e localmente, um sistema de leques deltaicos (FULFARO et al, 1984; e PERINOTTO 1987).

SEPE (1990) afirma que essa formação aflora no domo de Pitanga, no baixo vale dos rios Corumbataí, Passa Cinco e Cabeça, apresentando uma espessura de cerca de 70 a 80 metros nessa região. ZAINÉ (1994), descreve a litologia sendo composta por siltitos e lamitos de cores verde, creme e chocolate, geralmente maciços e bioturbados, constituindo-se uma seqüência pelítica, ocorrendo também arenitos, camadas de conglomerados e calcários.

A **Formação Irati**, descrita por Gama Jr. et al. (1982) representa a unidade litoestratigráfica com maior homogeneidade em toda sua extensão. Sua espessura é de 40 a 70 metros, um “horizonte-guia”, que indica uma fase de estabilidade tectônica da bacia (GAMA JR. et al. 1982).

Essa formação pode ser dividida em dois membros: Membro Taquaral, correspondente a seqüência basal constituída por folhelhos de cores cinza-escuro e cinza claro e siltitos de coloração cinza; e Membro Assistência, correspondendo a seqüência superior composta por folhelhos cinza-escuros, folhelhos pretos, pirobetuminosos, associados a calcários, geralmente, dolomíticos (Almeida & Barbosa, 1953).

Para SCHNEIDER et al. (1974), a Formação Irati corresponde ao ápice do evento transgressivo que afetou a seqüência permo-carbonífera da bacia, sendo, portanto, o ambiente deposicional interpretado como marinho de águas calmas para parte basal, e marinho de águas rasas para a porção superior. PERINOTTO (1992), por sua vez, discorda desta interpretação, pois propõe que o máximo da transgressão marinha no Permiano está registrado no Membro Taquaral somado a Formação Palermo.

A **Formação Corumbataí** composta por siltitos, argilitos e folhelhos de coloração arroxeada a marrom-avermelhados, apresenta também camadas intercaladas de arenitos, lentes carbonáticas e coquinas. Essa Formação apresenta aproximadamente cerca de 130 metros de espessura em território paulista, na área próximo a Leme/Pirassununga ela não ultrapassa os 60 metros (LANDIM, 1970).

As fácies presentes na Formação Corumbataí indicam um ambiente deposicional associado a planícies de maré, depósitos de offshore, sendo que para o topo ocorre um raseamento do sistema, indicando condições mais continentais de deposição, como descrito por GAMA JR (1979). Com estudo dos palinormofos, foi possível atribuir uma idade do final do Permiano Superior (DAEMON & QUADROS, 1970).

A **Formação Pirambóia** apresenta espessos corpos de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, de granulometria fina a média, ocorrendo por vez intercalações de finas camadas de pelitos (argilitos e siltitos), e localmente, apresentando níveis conglomeráticos.

Pode-se encontrar estratificações cruzadas de médio e grande porte, representando o elemento característico da unidade. SOARES (1973) propõe, pela associação das litofácies, que o ambiente deposicional da Formação Piramboia seja sistemas eólicos, por vezes, apresentando influencia fluvial. Já BRIGUETTI (1994) sugere que haveria domínio eólico em direção ao topo da unidade.

A **Formação Botucatu** constituída por arenitos avermelhados, bimodais, friáveis, nas porções mais basais são encontrados arenitos argilosos e mal selecionados, além de estratificações cruzadas acanaladas. Essa formação ocorre com camadas de cerca de 50 a 70 metros de espessura (ZAINE, 1994).

ZAINE (1994) descreve a presença constante de estratificação cruzada em grandes cunhas, representando paleodunas, indicando deposição eólica em ambiente desértico, sendo registrados, subordinadamente, sedimentos flúvio torrenciais e lacustres. SCHNEIDER et al, (1974) atribui uma idade juro-cretácea, juntamente com uma contemporaneidade entre o topo da Formação Botucatu e o vulcanismo basáltico, evidenciado por uma passagem transicional entre as duas unidades.

A **Formação Serra Geral** corresponde a sucessivos derrames de lavas basálticas, toleíticas, normalmente de cores escuras, com amigdalas no topo dos derrames. É possível também encontrar pequenas camadas de arenitos entre os derrames (ZAINE, 1994). Nessa unidade são incorporadas as rochas intrusivas associadas ao evento de vulcanismo da Bacia do Paraná, apresentando uma quantia considerável de diques e soleiras de diabásio.

Segundo ZAINE (1994), a presença dessa formação é fundamental na caracterização do relevo, pois sustenta feições mais elevadas. Por fim, SCHNEIDER et al. (1974) atribui a idade

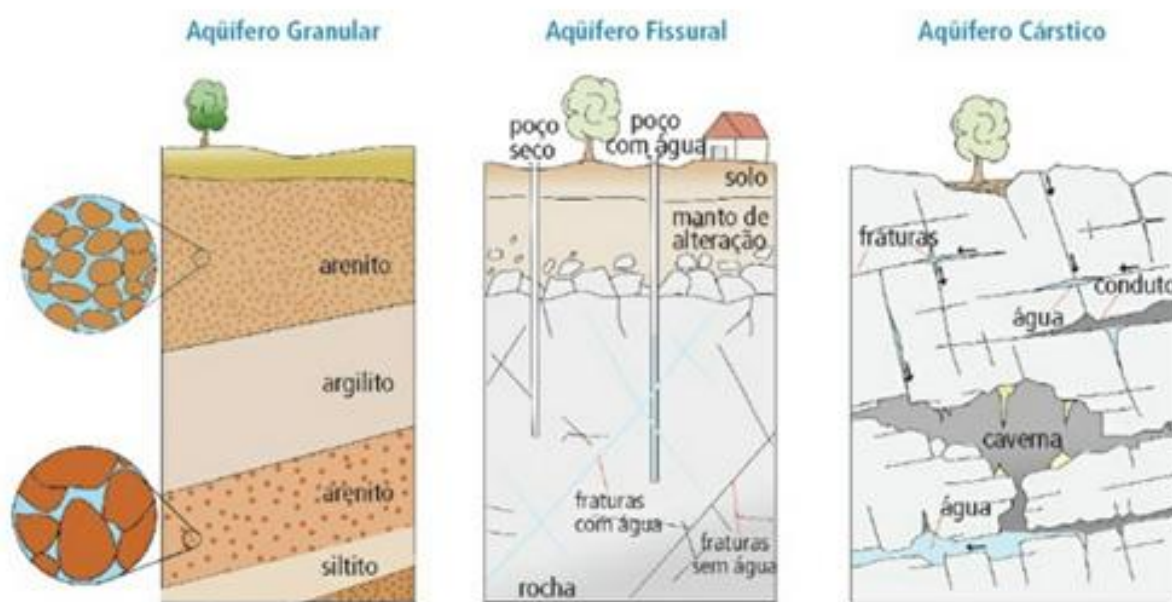
sendo do Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior para os derrames, através das datações radiométricas, cerca de 145 milhões de anos.

4.2. Hidrogeologia

Aquífero é um reservatório subterrâneo de água, caracterizado por camadas ou formações geológicas permeáveis, capazes de armazenar e transmitir água em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento, os aquíferos podem ter extensões de poucos quilômetros a milhares de quilômetros, como no caso do Aquífero Guarani.

Os aquíferos são classificados segundo ao tipo de porosidade presente na rocha reservatório, podendo ser classificados em granular (sedimentar), fissural (fraturado) e cárstico. No aquífero granular a água fica armazenada nos poros das rochas sedimentares, enquanto que nos aquíferos fraturados a água fica armazenada nas fraturas presentes nas rochas cristalinas, já o aquífero cárstico a água armazenada é oriunda da própria dissolução das rochas carbonáticas (Figura 6).

Figura 6: Esquema dos tipos de aquífero existentes

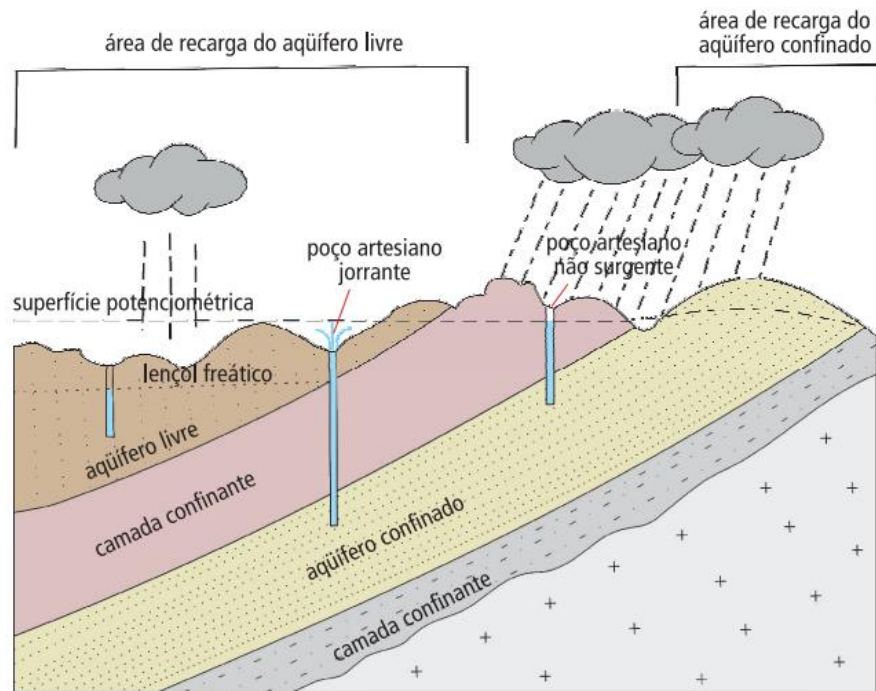


Fonte: EZAKI et al. 2009

Os aquíferos podem ser classificados também segundo as suas características hidráulicas, podendo ser chamados de livres ou confinados. Os aquíferos livres ocorrem próximo a superfície e estão submetidos a pressão atmosférica, assim a sua recarga ocorre diretamente pela infiltração da água pelo solo.

Os aquíferos confinados são limitados por rochas selantes (rochas que apresentam baixa permeabilidade), assim estão submetidos a pressões maiores que a pressão atmosférica, a recarga ocorre com a água atravessando a camada selante de maneira extremamente lenta ou pela infiltração onde este aquífero se encontra livre (Figura 7).

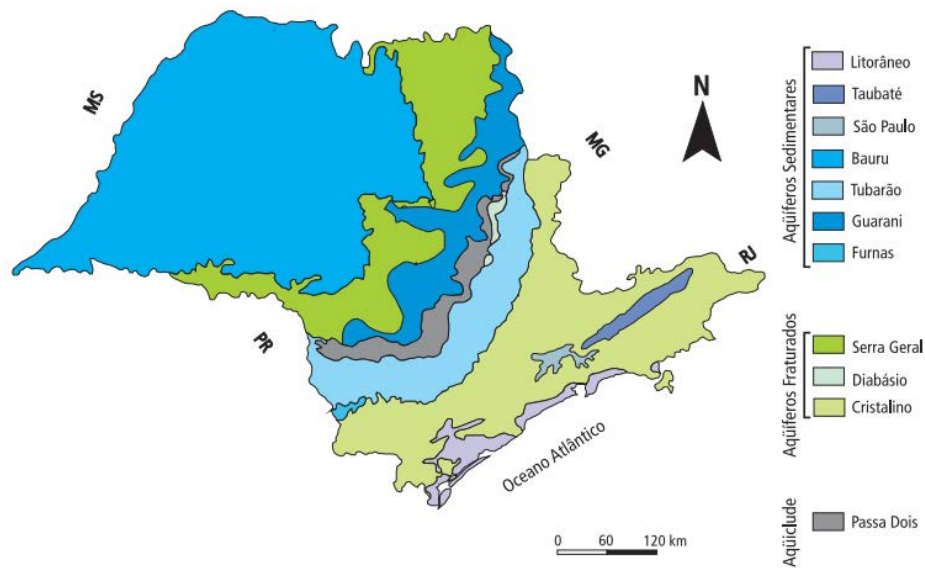
Figura 7: Esquema de recarga dos aquíferos confinado e livre.



Fonte: EZAKI et al. 2009.

No estado de São Paulo ocorrem aquíferos sedimentares e cristalinos (Figura 8), na área de estudo podem ocorrer dois tipos de aquífero, o Aquífero Tubarão classificado como sedimentar e o Aquífero Serra Geral classificado como fissural. O Sistema Aquífero Tubarão está inserido no Grupo Itararé e Formação Tatuí inferior, caracteriza-se pela baixa condutividade hidráulica e fraco potencial produtivo, sendo considerado heterogêneo e livre, em áreas restritas o aquífero é considerado semi-confinado ou confinado (VIDAL, 2002).

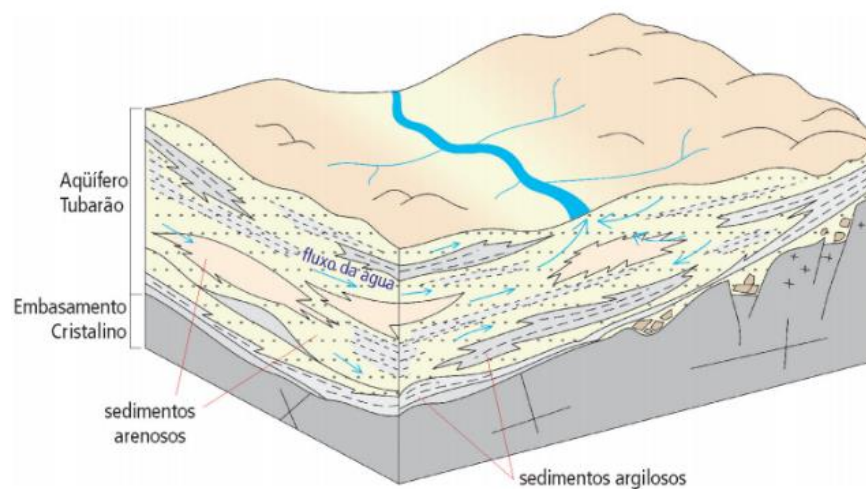
Figura 8: Mapa Hidrogeológico do Estado de São Paulo.



Fonte: Fonte: EZAKI et al. 2009

O aquífero Tubarão apresenta baixa condutividade hidráulica devido a heterogeneidade do local aonde a água fica armazenada, isto ocorre devido a alternância de sedimentos grossos e finos de diferentes espessuras. Outro fator que influencia são as diversas intrusões de diabásio, que causam localmente a interrupção do escamento da água na rocha reservatório, as camadas aquíferas geralmente estão intercaladas a sedimentos finos, que dificulta o escoamento vertical da água subterrânea (DIOGO et al. 1981) (Figura 9).

Figura 9: Esquema hidrogeológico do Aquífero Tubarão.

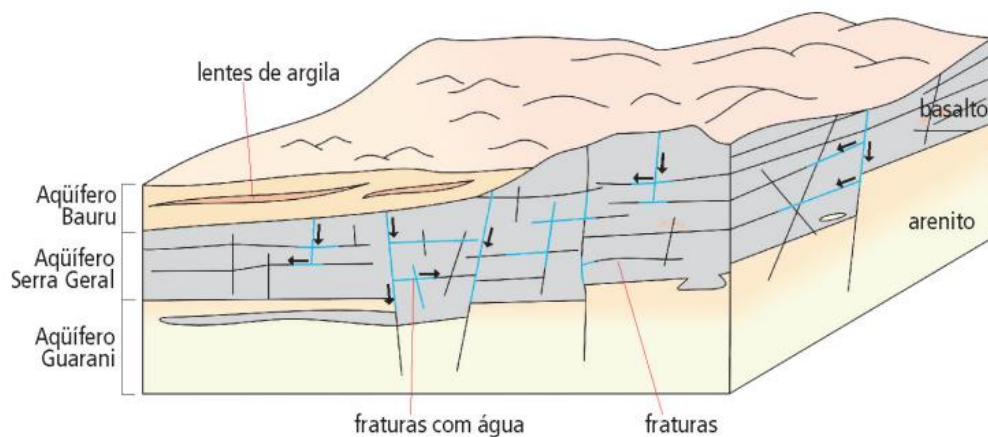


Fonte: Fonte: EZAKI et al. 2009

O Aquífero Tubarão apresenta devido as suas características diferentes vazões, os de menor vazão (1 a 5 m³/h) em porções mais siltosas, em locais onde ocorre a presença de arenitos conglomeráticos e arenitos grossos de leques aluviais a vazão é mais elevada, próximo aos 40 m³/h (STEAVAUX et al. 1987).

Outro Aquífero presente na área de estudo é o Aquífero Serra Geral, considerado um aquífero fraturado, este aquífero está inserido nas falhas e fraturas oriundas do resfriamento dos derrames basálticos que ocorreram no Cretáceo, possui vazões médias de 23 m³/h por poço, mas sua produtividade é bem variável (Figura 10). Na região de Cordeirópolis as vazões não ultrapassam os 12 m³/h, pois a água está armazenada em soleiras e diques de espessuras medianas (EZAKI et al. 2009)

Figura 10: Esquema hidrogeológico do Aquífero Serra Geral.



Fonte: Fonte: EZAKI et al. 2009

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Análise Estratigráfica

Os dados dos poços do município de Cordeirópolis foram obtidos junto ao Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE) de Rio Claro, que é o órgão responsável pela outorga e fiscalização dos poços nos municípios de Rio Claro, Santa Gertrudes e Cordeirópolis. A coleta desses dados ocorreu com a ida ao DAAE onde foram cedidos todos os boletins de cadastramento dos poços existentes na região de Cordeirópolis (Figura 11).

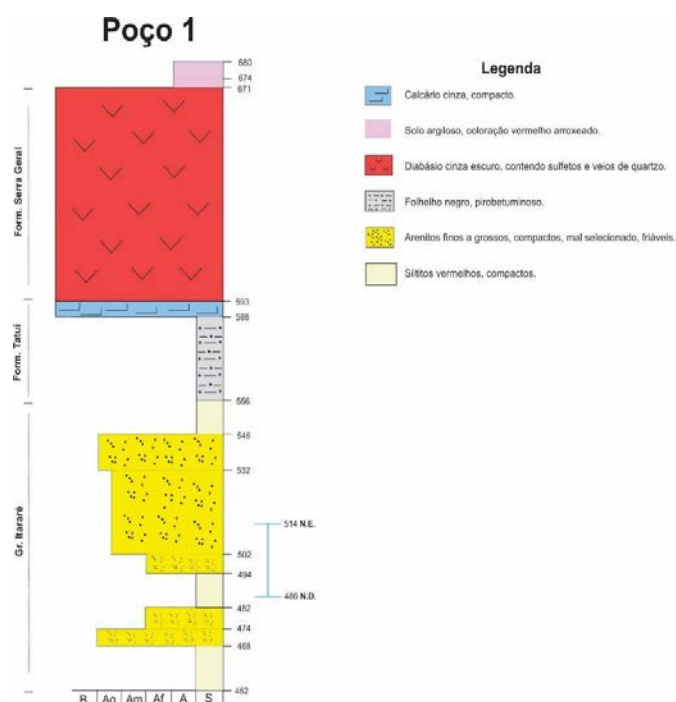
Figura 11: Boletim de cadastramento de poços do DAAE.

FICHA DE CADASTRO DE POÇO				CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO E FUNCIONAMENTO :			
IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO:				VAZÃO (M3/H): 2.56 NÍVEL DINÂMICO(M): 180.75 HORA/DIA: 2 DIA/MÊS: 30 MÊS/ANO: 12			
FOLHA:	219	POÇO DAAE:	75	F.TOPOG.1/10 000:			
		NUM. IGC:		NUM. EMLASA:			
REGIÃO ADMINISTRATIVA:				EQUIPAMENTO INSTALADO :			
BACIA HIDROGRÁFICA: BMT - MEDIO TIETE - PIRACICABA				TIPO: BOMBA SUBMERSA MODELO: 4BPS3/33			
UGRHI: SUB-UGRHI- RIO ATIBAIA/SALTO DE PIRAPORA				POTÊNCIA(HP): 5 PROFUND.(M): 210.00 DIAM(POL): 3			
MUNICÍPIO:CÓDIGO SP1240101 NOME CORDEIROPOLIS				POLUENTES :			
BAIRRO: CASCALHO				AGENTE POLUENTE:			
ENDEREÇO: ROD.SP-316, KM 160 CEP:				DISTÂNCIA DOS POLUENTES(M): 0.00			
PROPRIETÁRIO : FABIANA APARECIDA HESPANHOL NUM.POÇO : 1				PERFIL GEOLÓGICO :			
CGC: 26886231/0876 CPF: INSCR. EST.:				DE(M): A(M): LITOLOGIA:			
PROJETISTA: FRANCELINO DE C.PUJOL DATA CONSTR.: 16/02/06				0.00 2.00 SOLO ARGILOSO, INCONSIST., MARROM AVERMELH.;			
UTM-NORTE(Km): 7,514.02 UTM-LEST(Km): 249.10 UTM-MC: 45				2.00 11.00 ARGILTA INCONSIST., MARROM AVERMELH.;			
COTA(M): 700.00 CIA PERFOR.: JUNDSONDAS POCOS ARTESIANOS LTDA				11.00 12.00 ROCHA BÁSICA SEMI-ALTER.;			
TIPO POÇO: TUBULAR FINAL.PERFUR.: EXPLORACAO DE AGUA				12.00 94.00 ROCHA BÁSICA MELANOCR.,NEGRA, AFANÍT., LOCALM. PORFÍRICA;			
USO ÁGUA: DOMESTICO ESTADO POÇO: EQUIPADO				94.00 98.00 ARGILITO CINZA/CASTANHO, CARBONÁT.;			
AQUÍFERO EXPLORADO: ITARARE				98.00 102.00 ARGILITO CINZA, C/ACAMAMENTO SEDIMENTAR;			
				102.00 108.00 ARGILITO NEGRO/CARVÃO MINERAL.;			
				108.00 132.00 ARGILITO PC.ARENOSO, MARROM ARROXEADO;			
				132.00 135.00 ARENITO FINO, QUARTZOSO, CINZA MATRIZ PC.ARGILOSA;			
				135.00 155.00 ARGILITO C/INCIPIENTES PLANOS DE ACAMAMENTO SEDIMENTAR, MARROM ARROX.;			
				155.00 159.00 ARENITO QUARTZOSO, FINO, CASTANHO;			
				159.00 198.00 ARENITO QUARTZOSO, CINZA CLARO, FINO;			

Posteriormente foram selecionados alguns poços de interesse para a realização deste trabalho, neste caso foram escolhidos preferencialmente os poços que apresentavam dados de vazão e estratigrafia para possível associação entre a vazão e a rocha confinante. Após esta primeira seleção, as coordenadas dos poços foram georreferenciadas e espacializadas no mapa para análise, após a análise foram selecionados os poços que apresentaram melhor acesso e proximidade para a realização dos ensaios geofísicos.

Assim escolhidos os poços para a realização do trabalho foram analisados os boletins de cadastramento cedidos pelo DAAE, os boletins apresentam informações referentes aos dados de vazões, níveis estático e dinâmico dos poços, dados sobre a perfuração o poço, além das descrições estratigráficas. De posse das descrições estratigráficas dos poços e utilizando as referências bibliográficas levantadas previamente, foram confeccionadas colunas estratigráficas para cada poço, para isso foi utilizado o software CorelDraw X7 (COREL CORPORATION) (Figura 12).

Figura 12: Exemplo de coluna confeccionada através do boletim de cadastramento do DAAE.



5.2. Geofísica

A geofísica é uma ferramenta de estudo indireta que analisa as propriedades físicas das rochas e de outras substâncias em subsuperfície. Consiste num conjunto de métodos indiretos e não evasivos, aplicáveis em diversas escalas e que apresentam a possibilidade de obtenção de informações geológicas a grandes profundidades. Porém os estudos geofísicos apresentam certo grau de incerteza, gerando dados qualitativos, assim nem sempre os dados físicos estarão associados realmente ao que existe em subsuperfície (KEAREY et al., 2002).

Seu uso possui diversas aplicações nas áreas da Geologia, como petróleo, hidrogeologia, geologia ambiental, pesquisa mineral, geotecnia, dentre outras. O emprego da geofísica se torna vantajoso pois possibilita a aquisição de dados independentemente de exposições rochosas ou descrição de sondagens, possuindo um menor custo e rapidez para análises preliminares de estudos geológicos.

A geofísica estuda e analisa as propriedades magnéticas, elétricas, sísmicas, gravitacionais, radioativas e térmicas presentes em subsuperfície. A sismologia estuda o comportamento das ondas e pulsos que se propagam pela subsuperfície, os métodos gravimétricos estudam as diferenças nas densidades das rochas subterrâneas (KEAREY et al., 2002).

O método magnético estuda a diferença entre os campos magnéticos gerados pelas diferentes rochas em subsuperfície, os métodos radioativos estudam as emissões de partículas radioatividade presente nas rochas através do decaimento radioativo dos elementos presentes nas rochas. Os métodos geotérmicos estudam a temperatura proveniente do interior da Terra e sua interação com as camadas mais superiores da estrutura do planeta.

Os métodos geoeletricos analisam as diferenças de várias propriedades elétricas de rochas e minerais. Os métodos consistem em eletrorresistividade, polarização induzida e potencial espontâneo. O potencial espontâneo (SP) é usado para prospecção de minerais e depende da produção natural de eletricidade gerada por eles.

A polarização Induzida (IP) é utilizada para prospecção minerais também, particularmente por minérios disseminados, que são difíceis de detectar usando outros métodos, depende da capacidade do minério de armazenar uma pequena quantidade de eletricidade quando uma corrente é passada para o solo, que é liberada após o desligamento da corrente. O método da resistividade investiga variações de resistência elétrica, utilizando para isso uma corrente elétrica induzida no solo, onde são obtidas leituras sobre a capacidade de passagem de corrente elétrica pelas camadas em subsuperfície (KEAREY et al., 2002).

Este trabalho dará ênfase aos métodos geoeletricos, devido a sua ampla aplicabilidade neste contexto, de estudos relacionados a hidrogeologia e identificação de contaminantes no solo e em águas subterrâneas, dentre os métodos geoeletricos existentes o da eletrorresistividade é o ideal para a investigação em subsuperfície.

Muitos estudos foram realizados utilizando o método da eletrorresistividade, demonstrando ser um método adequado, pois a obtenção dos resultados ocorre de maneira rápida e objetiva. Como por exemplo no estudo realizado por FILHO (2004), que realizou pesquisas hidrogeológicas em terrenos cristalinos do Nordeste do Brasil, utilizando levantamentos de eletrorresistividade aparente 2D, no intuito de identificar a capacidade de armazenamento e recarga do aquífero.

Outros trabalhos que comprovam a eficácia deste método foi o de MARINHO (2002), que realizou estudo hidro-estratigráficos da Bacia do Araripe (CE), interpretando dados de eletrorresistividade na tentativa de estabelecer uma correlação entre os dados geofísicos e as colunas hidro-estratigráficas existentes da região. CHANG (2006) utilizou o método da eletrorresistividade para caracterização hidrogeológica de área de recarga do Sistema Aquífero

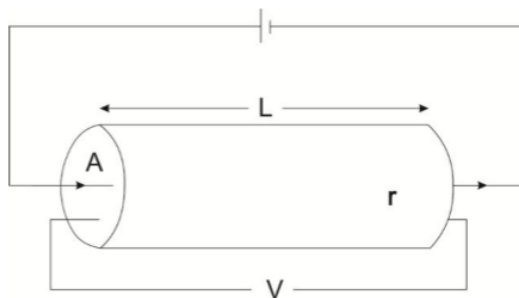
Guarani, assim foi gerado um modelo geoeletrico para a área, com a determinação da profundidade do nível d'água e as diferentes litologias existentes na área.

5.2.1. Eletroresistividade

Este método é baseado na introdução de corrente elétrica artificial no subsolo por meio de aterramento galvânico, que causa uma diferença de potencial (ddp) possível de ser medida. Utilizado geralmente no estudo de descontinuidade horizontais e verticais das propriedades elétricas dos materiais em subsuperfície e também na detecção de corpos tridimensionais de resistividades elétricas contrastantes (KEAREY et al., 2002).

A resistividade é a resistência elétrica que uma unidade de volume de material oferece a um fluxo de corrente. Suponha um cilindro condutor de comprimento L e área de seção transversal A , com passagem de corrente elétrica por distribuição de cargas uniformes que se movem ao longo de trajetos paralelos de uma extremidade para a outra (ROBINSON, 1988) (Figura 13).

Fig. 13: Parâmetros utilizados na definição de resistividade (KEAREY et al., 2002).



Assim, matematicamente falando a resistividade ρ é descrita em termos da resistência r apresentada pelo cilindro, a área de seção transversal A ao longo da qual as cargas estão uniformemente distribuídas e o seu comprimento L , que expressa a trajetória seguida pela carga.

Materiais geológicos são heterogêneos e anisotrópicos, assim apresentam resistividades contrastantes em meios estratificados que podem causar perturbações nas superfícies equipotenciais. Logo, o valor medido não corresponde ao valor real das resistividades, mas um conjunto de interferências das resistividades dos diversos componentes geológicos presentes a área.

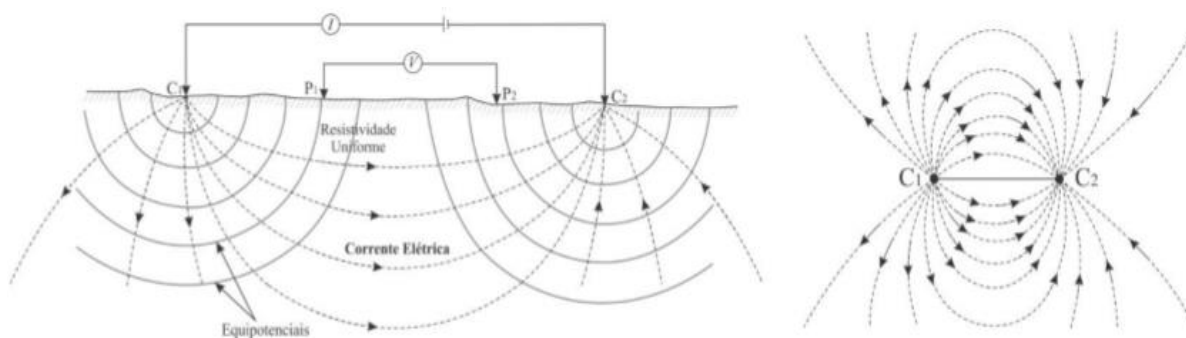
Assim o parâmetro obtido em função das heterogeneidades é representado por uma média ponderada das resistividades de cada um dos materiais presentes entre as equipotenciais medidas (ROBINSON, 1988), denominada de resistividade aparente:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{i}$$

As rochas e os solos conduzem eletricidade por dissociação iônica, assim a passagem de corrente elétrica ocorre através de íons livres. A corrente elétrica no meio físico é estabelecida a partir da diferença de potencial entre duas extremidades, considerando um modelo homogêneo e isotrópico o potencial elétrico diminui radialmente conforme a distância da fonte pontual, de modo a constituir superfícies semi-esféricas concêntricas com o mesmo valor potencial.

As linhas de fluxo de carga elétrica são estabelecidas em direções perpendiculares às superfícies equipotenciais, no sentido do maior para o menor potencial elétrico (ROBINSON,1998) (Figura 14).

Fig. 14: Distribuição das linhas equipotenciais e corrente elétrica em modelo de subsuperfície homogêneo e isotrópico, visto em perfil (esquerda) e em planta (direita) (Modificado de MUSSET & KHAN, 2000).



O fator K relaciona todas as posições relativa dos eletrodos à resultante de ddp final nos eletrodos de potencial P1 e P2, que será convertida em resistividade elétrica. Nas rochas e solos, os mecanismos pelos quais a corrente elétrica se propaga são caracterizados pela sua condutividade (σ), que numericamente é expressa como o inverso da resistividade (HALLIDAY, 1993), sendo o fator K a disposição geométrica dos eletrodos de corrente (C1 e C2) e potencial (P1 e P2), sendo este fator geométrico obtido por:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2} \right)^{-1}$$

A resultante de potencial elétrico em cada eletrodo utilizadas para calcular a ddp são obtidas em função da distância dos eletrodos de potencial em relação aos eletrodos de corrente, conforme a posição da superfície equipotencial em que estejam.

5.2.2. Arranjos

Para a realização deste trabalho será utilizada a técnica de imageamento elétrico, assim podendo identificar as variações fisiológicas e estruturais presentes na área de estudo. O imageamento elétrico resulta em modelagem bidimensional da superfície, sendo consideradas as mudanças do parâmetro medido tanto na direção vertical como horizontal (LOKE, 2000).

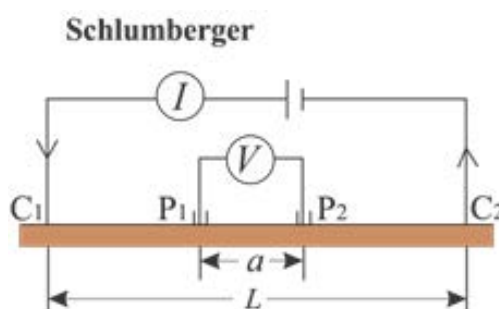
Uma série de medidas são obtidas movimentando progressivamente o arranjo de eletrodos a partir de um lugar para o outro ao longo de um perfil. (KEAREY, 2002). Os resultados obtidos são expressos por meio de mapas ou seções contendo várias profundidades de investigação, quanto maior o espaçamento entre os eletrodos, maior será a profundidade alcançada na investigação.

Arranjo Schlumberger

A configuração deste arranjo envolve quatro eletrodos (dois eletrodos de corrente C1 e C2 e dois eletrodos de potencial P1 e P2) dispostos retilinearmente na superfície a ser investigada, porém os eletrodos de corrente são espaçados entre si 1 a 5 vezes em relação ao espaçamento dos eletrodos de potencial. Neste arranjo os eletrodos de corrente são movimentados lateralmente sem a necessidade de mover os eletrodos de potencial, que devem estar separados a uma distância fixa.

Nesse levantamento os eletrodos de potencial possuem espaçamento fixo Alfa, que é apenas uma pequena proporção do espaçamento dos eletrodos de corrente, a expansão progressiva dos eletrodos de corrente pode gerar valores muito grandes e exigir o aumento do valor Alfa para que seja mantido um potencial mensurável (KEAREY, 2002) (Figura 15).

Fig. 15: Esquema da técnica Schlumberger e cálculo de resistividade aparente (LOWRIE,2007).



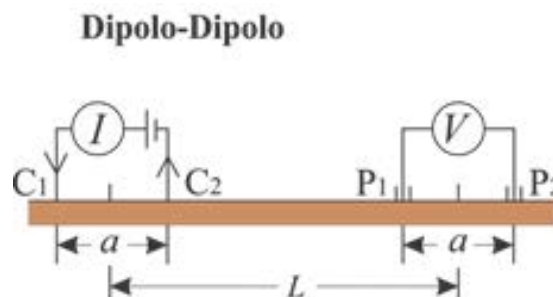
O arranjo Schlumberger demonstra superioridade em quesitos de praticidade e qualidade uma vez que as leituras estão menos sujeitas às interferências produzidas por ruídos indesejáveis e menos susceptíveis a erros interpretativos em terrenos não homogêneos (LOKE, 2000).

Arranjo Dipolo – Dipolo

O arranjo Dipolo – Dipolo é semelhante ao arranjo Schlumberger, porém os dois pares de eletrodos de corrente e os dois eletrodos potenciais são movidos como pares com a mesma separação fixa Alfa. Muitas vezes, apenas os eletrodos potenciais são movidos, seja ao longo de uma linha ou em grade.

O equipamento que mede a diferença de potencial pode estar separado da fonte de alimentação e do medidor de corrente, se assim for, isso reduz consideravelmente o comprimento dos fios que devem ser movidos, uma vantagem particular se os pares de eletrodos precisam ser amplamente separados para dar uma maior profundidade de investigação (Figura 16).

Figura 16: Esquema da técnica Dipolo-Dipolo e cálculo de resistividade aparente (LOWRIE,2007).



Esse arranjo é muito útil para pesquisar uma área pequena, devido a sua facilidade de uso e boa resolução de detalhes em pequenas profundidades. Além disso se mostra muito eficiente para delimitar em subsuperfície corpos alongados horizontalmente, sua estrutura elétrica pode ser investigada utilizando-se uma pseudo-seção.

6. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO

Para a realização deste trabalho foi necessário a obtenção dos dados de vazão dos poços artesianos da região de Cordeirópolis, esses dados públicos foram obtidos através da visita ao Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE) de Rio Claro, onde foram cedidas as informações pertinentes para a evolução do projeto.

Apenas os poços que possuíam informações sobre estratigrafia e dados de vazão descritos foram utilizados para a realização dos ensaios geofísicos. No mapa abaixo estão discriminados os quatro poços utilizados, juntamente com as linhas geofísicas traçadas (Figura 17).

Fig. 17: Localização dos poços utilizados e linhas geofísicas traçadas.



Fonte: Google Earth.

O levantamento geofísico constituiu na aplicação dos métodos de eletrorresistividade, sendo selecionados devido ao histórico de aplicações desse método em estudos de identificação

de rochas reservatório e da água propriamente dito, devido ao grande contraste que esse tipo de rocha apresenta em relação as rochas adjacentes que não armazenam água.

Este trabalho contou com a realização de 4 linhas de imageamento elétrico em arranjo Dipolo-Dipolo e Schlumberger de 800 metros cada, com espaçamento entre os eletrodos de 10 metros. As linhas geofísicas foram dispostas de maneira que o poço ficasse o mais centralizado possível nas linhas, de modo a viabilizar a geração das seções 2D (Figura 18).

Fig. 18: Superior- conexão entre os eletrodos e os fios do equipamento Terrameter LS; Inferior- Poço artesiano objeto de estudo.



Outro fator importante é que as linhas geofísicas deveriam ser dispostas de maneira retilínea, este alinhamento é necessário para obtenção em profundidade dos dados geofísicos, assim as linhas geofísicas foram dispostas preferencialmente em estradas próximas aos poços

O equipamento utilizado para a aquisição de medidas de resistividade é o Terrameter LS, fabricado pela ABEM Instrument (Suécia) e disponibilizado pelo laboratório de Geofísica do Departamento de Geologia Aplicada da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Este equipamento consiste em um módulo único de transmissão e recepção de sinais automatizados, os dados são obtidos a partir de uma prévia programação no equipamento, possui 250 W de potência, precisão de 1 μ V e corrente máxima de 2,5 A (Figura 19).

Figura 19: Equipamento Terrameter LS (ABEM).



Este equipamento permite ensaios de potencial espontâneo (SP), eletrorresistividade (ER) e polarização induzida (IP) por meio de ciclos periódicos de transmissão e recepção de sinais, cálculo automático da resistência de contato e do desvio padrão do conjunto de medidas. O equipamento geofísico utilizado registra automaticamente os dados de campo em memória interna, sob a forma de planilha formatada para tratamento no programa Res2dinv (GEOTOMO SOFTWARE, 2003).

Os resultados obtidos são expressos por uma pseudo-seção de resistividade elétrica aparente, onde cada ponto investigado na subsuperfície possui uma posição e profundidade teórica específica de acordo com o espaçamento entre os eletrodos e o arranjo utilizado na investigação.

A utilização da interpretação qualitativa através das pseudo-seções não reflete a distribuição de resistividade elétrica, profundidade real do meio investigado ou as verdadeiras posições das estruturas subsuperficiais. (FACHIN, 2007 GANDOLFO, 2007).

Assim é necessário empregar técnicas numéricas que ajudem e tornem possível a uma interpretação quantitativa, o software Res2dinv (GEOTOMO SOFTWARE, 2003) utilizado para tratar os dados geofísicos gerados é capaz de processar grandes conjuntos de dados em duas dimensões e determinar, a partir de modelagem numérica com o método da inversão, um modelo bidimensional de resistividade para a subsuperfície através dos dados obtidos nos ensaios de imageamento elétrico.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentadas as correlações entre os dois produtos gerados, para isso serão analisados os dados reais, que são as colunas estratigráficas confeccionadas a partir dos dados dos quatro poços obtidos junto ao DAAE, e comparados aos dados indiretos, que são os modelos de inversão de resistividade elétrica 2D obtidos em campo através do método Dipolo-Dipolo e Schlumberger.

Esta correlação será feita para obter uma melhor compreensão do comportamento do aquífero que está inserido no contexto da região. Também serão descritas as seções correspondentes a cada poço, além de serem descritos os poços mais detalhadamente. Juntamente com as descrições serão propostos locais para implantação de futuros poços nas linhas realizadas, no intuito de melhorar a captação e vazão dos poços locais.

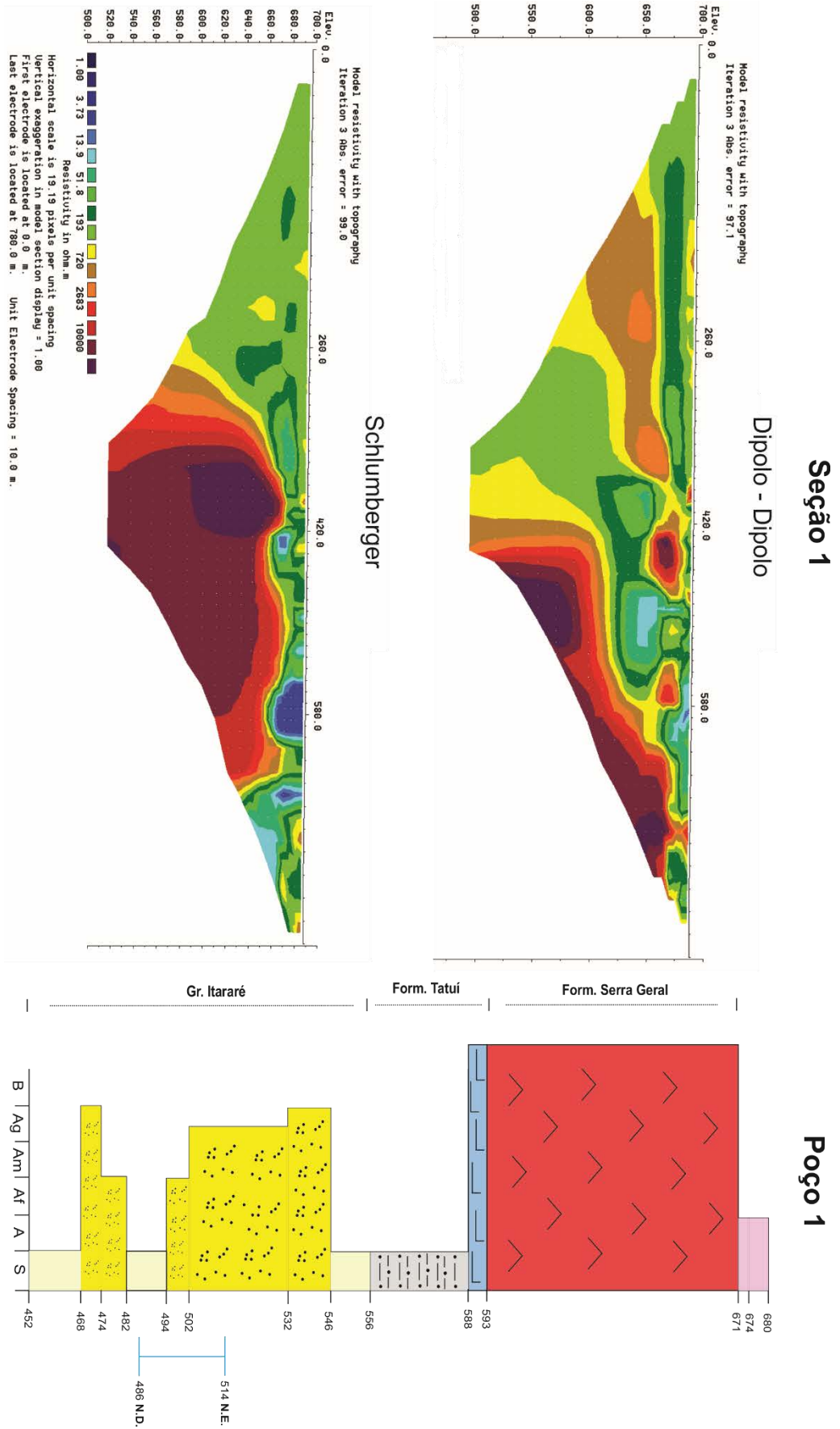
Uma visão geral das colunas estratigráficas são que as quatro colunas foram feitas na mesma escala para serem comparadas com as seções de resistividade, e posteriormente analisadas entre si, todos os poços analisados possuem como cota inicial 680 metros. As seções de resistividade também foram padronizadas em escala única de cores e valores, para que seja possível realizar análises comparativas entre elas.

Os dados de resistividade processados revelam um intervalo de variação de valores entre 1 e 10.000 $\Omega.m$, as cores quentes representam valores de alta resistividade e as cores frias representam valores de baixa resistividade. Ambos os arranjos conforme há o aumento da profundidade de leitura o equipamento acaba perdendo a sensibilidade de captação e identificação dos sinais, assim consequentemente, a sua resolução é comprometida com o aumento da profundidade de investigação.

7.1. Correlações entre os dados

Abaixo serão apresentadas as correlações e as suas respectivas análises.

Fig. 20: Esquema de correlação entre o Poço 1 e seus respectivos arranjos.



Ao analisar as seções geofísicas geradas pelos arranjos Dipolo-Dipolo e Schlumberger e compará-las com os dados reais demonstrados na confecção do Poço 1, nota-se que o arranjo que mais se adequa aos dados reais é o arranjo Schlumberger. Isto ocorre pois na parte central da seção é encontrada uma zona de alta resistividade, por volta da cota 660 metros, condizente com os valores de resistividade esperados para os diabásios da Formação Serra Geral, que estão descritos na coluna próximos a esta cota (Figura 20).

Na parte superior leste da seção Schlumberger são encontradas zonas de baixa resistividade, estas zonas devem ser oriundas de lentes arenosas nos argilitos e dos solos da Formação Corumbataí, que podem absorver e armazenar a água, podendo assim serem exploradas dependendo da capacidade de armazenamento.

Agora serão descritos detalhadamente a coluna estratigráfica do Poço 1 e a seção Schlumberger. O primeiro poço possui uma profundidade de 282 metros, segundo o boletim explora o Aquífero Tubarão, sendo utilizado para fins industriais. Possui uma vazão de 12 m³/h, com nível estático (N.E.) de 168,8 metros de profundidade e nível dinâmico (N.D.) de 194,08 metros.

Este poço apresenta até os primeiros 9 metros solos argilosos, de coloração vermelho arroxado, inconsolidados e contendo fragmentos de calcário, provenientes da Formação Corumbataí; de 9 até 87 metros ocorre o diabásio da Formação Serra Geral; de 87 a 92 metros foi descrito um calcário cinza compacto, de 92 a 124 metros aparece uma camada espessa de um folhelho negro pirobetuminoso, assim foi considerado de 87 a 124 metros a porção referente a Formação Tatuí; de 124 a 228 metros ocorre uma intercalação entre siltitos arenosos vermelhos compactos e camadas de arenitos esbranquiçados, que variam de grossos a muito finos, mal selecionados e friáveis, esta porção corresponde ao Grupo Itararé, nesta porção da coluna que ocorre a exploração do poço (Figura 21).

A seção Schlumberger deste poço apresenta na parte superior leste, zonas de baixa resistividade, entre 1 e 3,73 Ω .m nas cotas 680 a 660 m, indicando a presença de águas extremamente salinas. Na parte central-leste aparecem resistividade por volta de 100 Ω .m, que indicam a possível presença de água, não demonstrando a sua capacidade para captação da mesma, já na zona central aparece uma zona de alta resistividade por volta de 2000 Ω .m (Figura 22).

Figura 21: Coluna estratigráfica referente ao Poço 1.

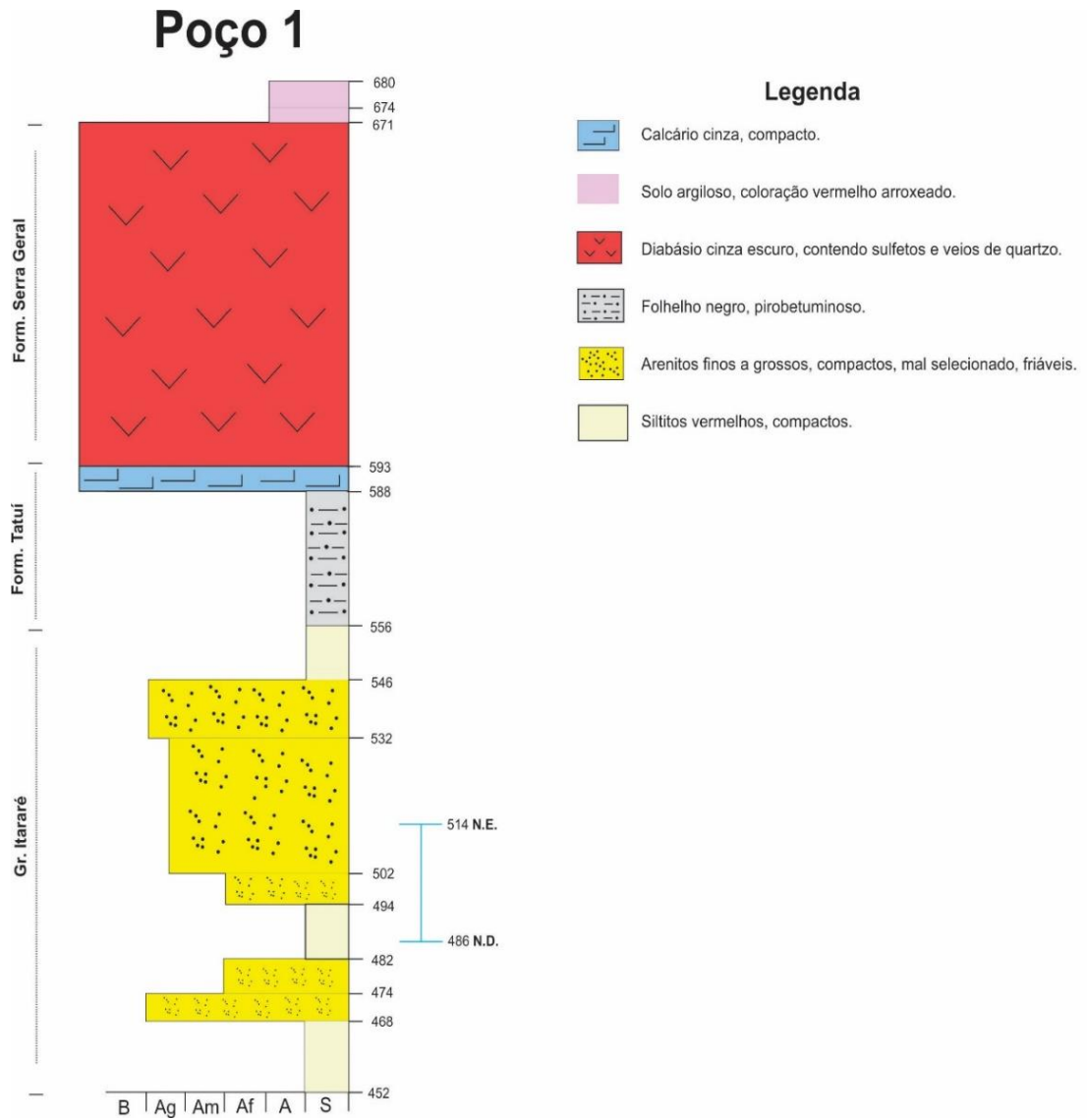


Figura 22: Seção Schlumberger referente ao Poço 1.

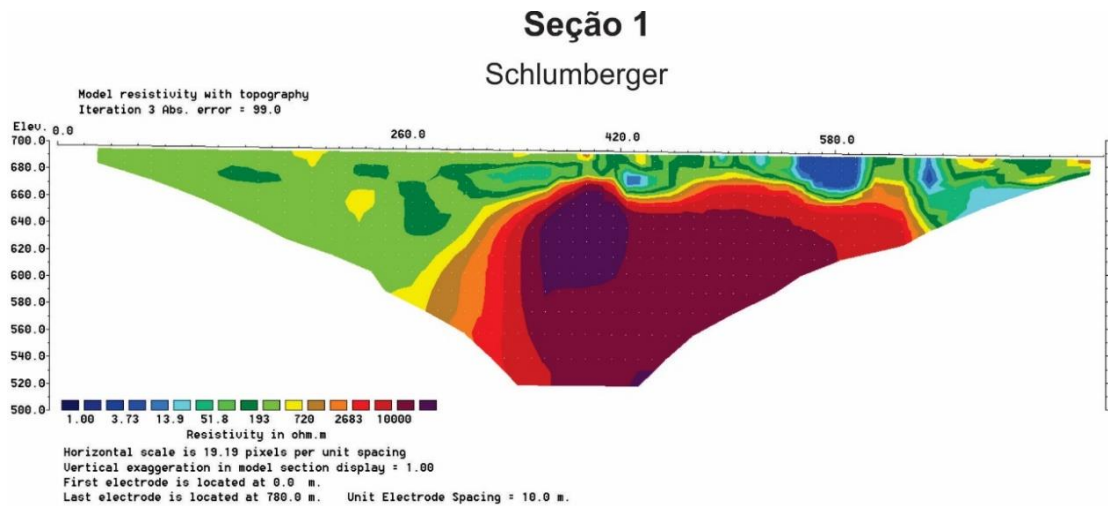
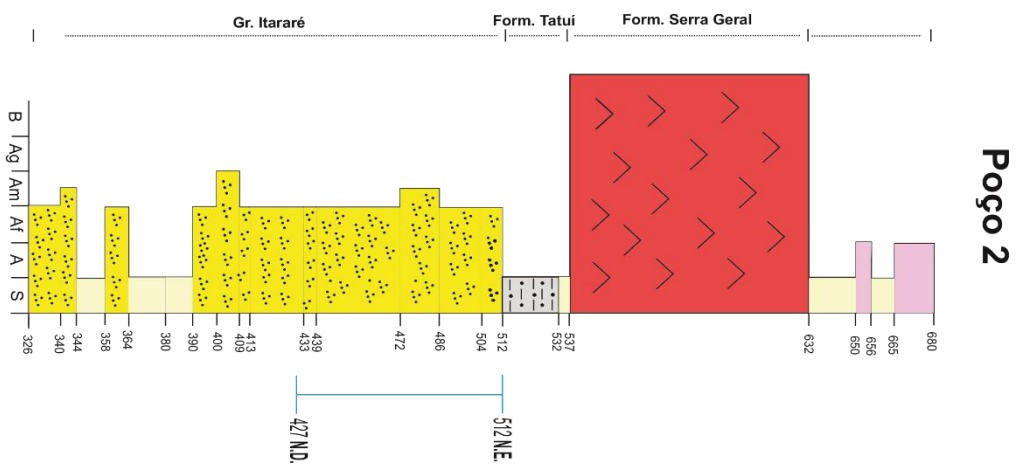
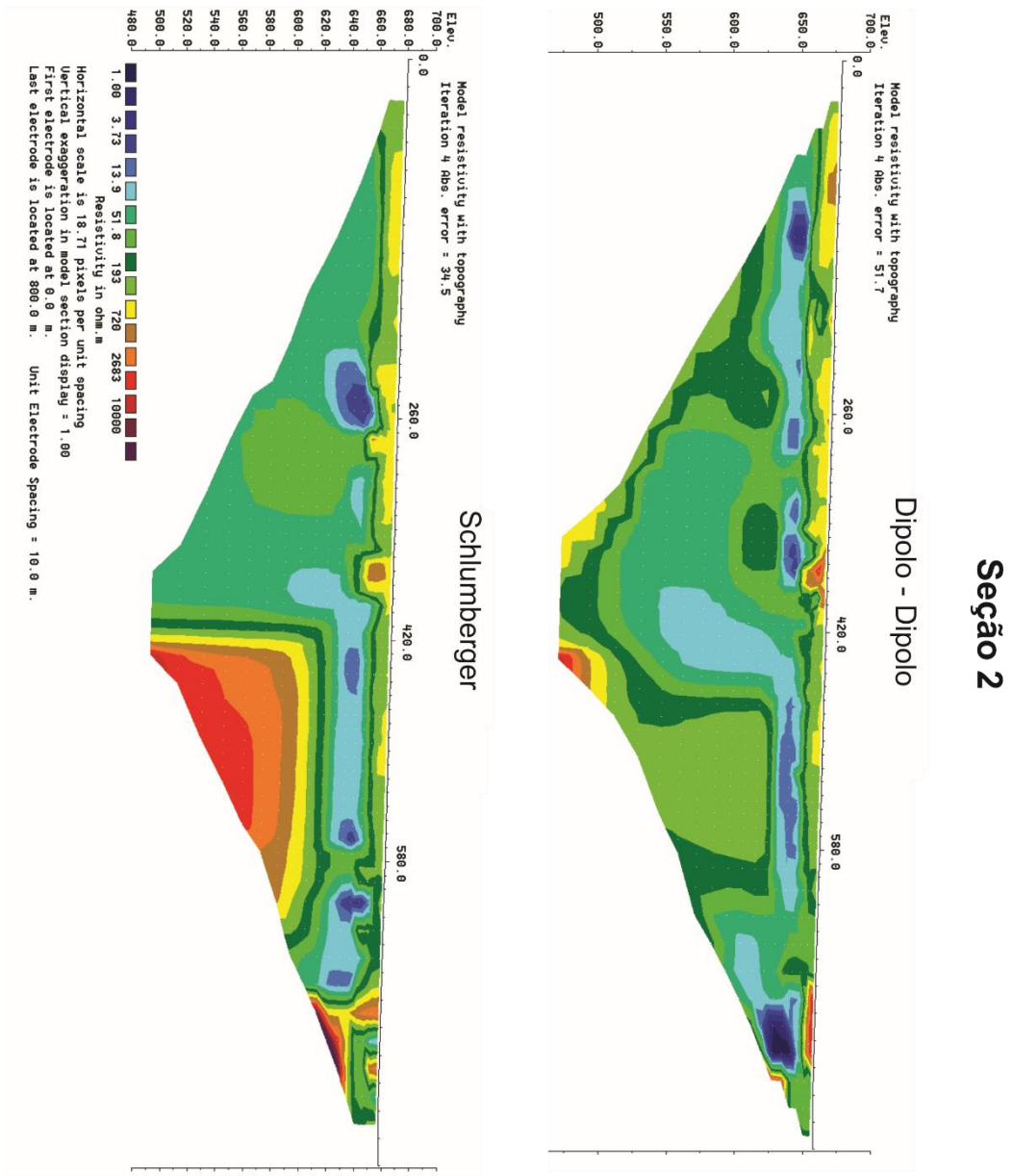


Fig. 23: Esquema de correlação entre o Poço 2 e seus respectivos arranjos.



Ao analisar as seções geofísicas geradas pelos arranjos Dipolo-Dipolo e Schlumberger e compará-las com os dados reais demonstrados na confecção do Poço 2, nota-se que o arranjo que mais se adequa aos dados reais é o arranjo Schlumberger. Pois apesar de próximo as cotas 631 a 537 metros aparecer uma zona de baixa resistividade, enquanto que nos dados da coluna aparece a Formação Serra Geral e assim deveria apresentar uma zona de alta resistividade, esta anomalia pode ser explicada pelas fraturas e/ou falhas presentes no diabásio e assim a água pode percolar essas fraturas e assim apresentar esses valores de resistividade (Figura 23).

Outro fator que pode explicar estes valores de baixa resistividade é a dissolução dos carbonatos da Formação Irati próximos a área, além de uma possível interação com o óleo presente nestes carbonatos, assim seria explicado os valores de baixa resistividade. Na parte superior da seção também são encontradas zonas de baixa resistividade que a priori parecem estar interconectadas, estas zonas de baixa resistividade devem ser linhas de água presentes nos argilitos e siltitos da Formação Corumbataí.

Agora serão descritos detalhadamente a coluna estratigráfica do Poço 2 e a seção Schlumberger. O segundo poço possui uma profundidade de 354 metros, segundo o boletim explora o Aquífero Tubarão, sendo usado para fins industriais e sanitários. Possui uma vazão de 6 m³/h, com N.E. de 168,1 metros e N.D. de 257,2 metros.

Nos primeiros 15 metros do poço foi descrito um solo argiloso a arenoso de coloração marrom, de 15 a 48 metros foi descrita uma intercalação entre siltitos roxos maciços e argilitos esverdeados, interpretado como sendo da Formação Corumbataí; de 48 a 143 metros ocorre a intrusão de diabásio da Formação Serra Geral; de 143 a 168 metros ocorre a Formação Tatuí, descrita aqui como um siltito cinza claro de 6 metros de espessura e um folhelho negro betuminoso de aproximadamente 20 metros de espessura; 168 a 354 metros ocorre o Grupo Itararé, com a intercalação de siltitos marrom avermelhados com níveis areníticos e camadas espessas de arenitos friáveis, variando de grossos a muito finos, de mal a bem selecionados, onde nesta porção ocorre a exploração do poço (Figura 24).

A seção Schlumberger apresenta na parte central uma zona de baixa resistividade, variando de 1 a 3,73 Ω .m, se estendendo da cota 660 a 540 metros, nas extremidades da seção também são encontradas zonas de baixa resistividade semelhantes a zona central. Na parte sudeste é possível identificar uma estratificação de zonas de média a alta resistividade, por volta de 720 a 2683 Ω .m, porém na parte central a uma quebra vertical desses valores de resistividade que convergem para a parte central inferior da seção (Figura 25).

Fig. 24: Coluna estratigráfica referente ao Poço2.

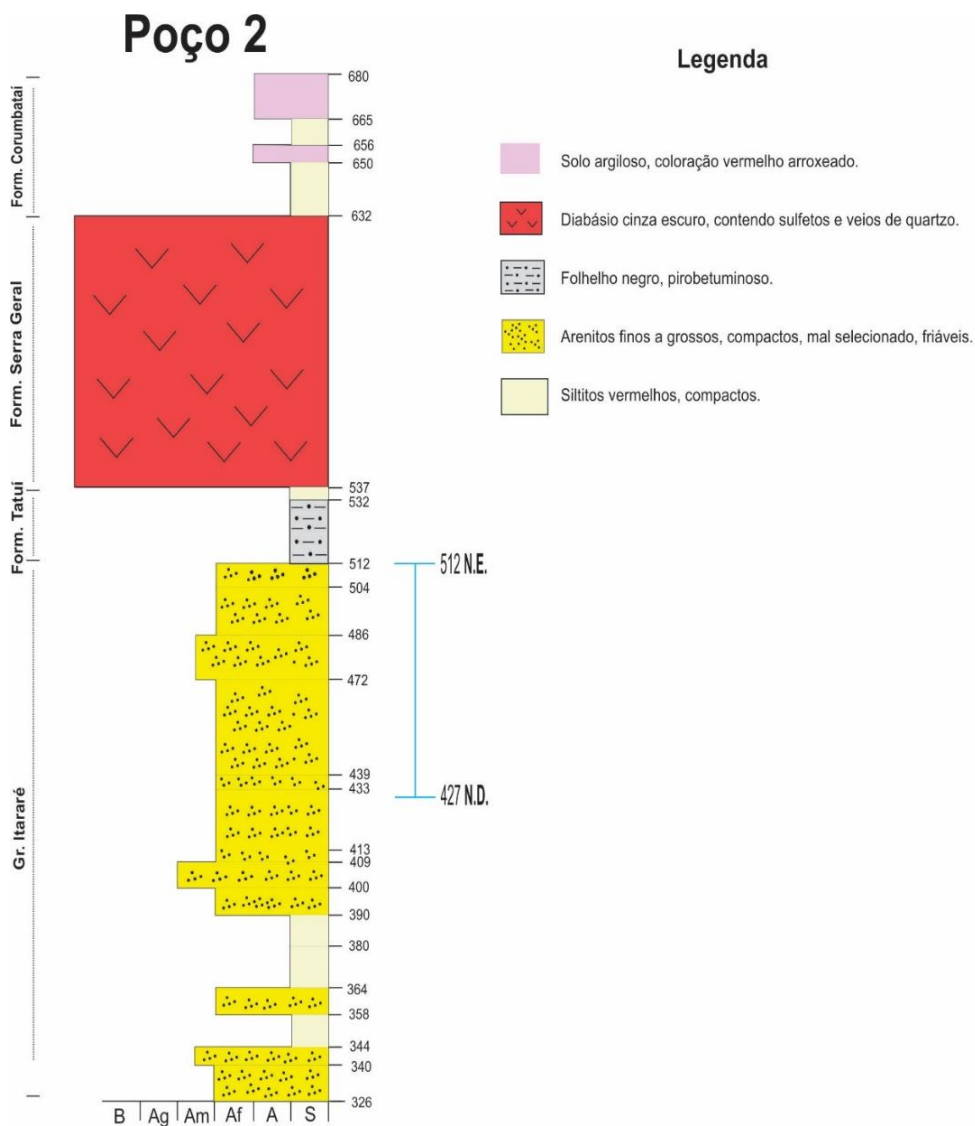


Fig. 25: Seção 1 de inversão de resistividade elétrica, pelo arranjo Schlumberger.

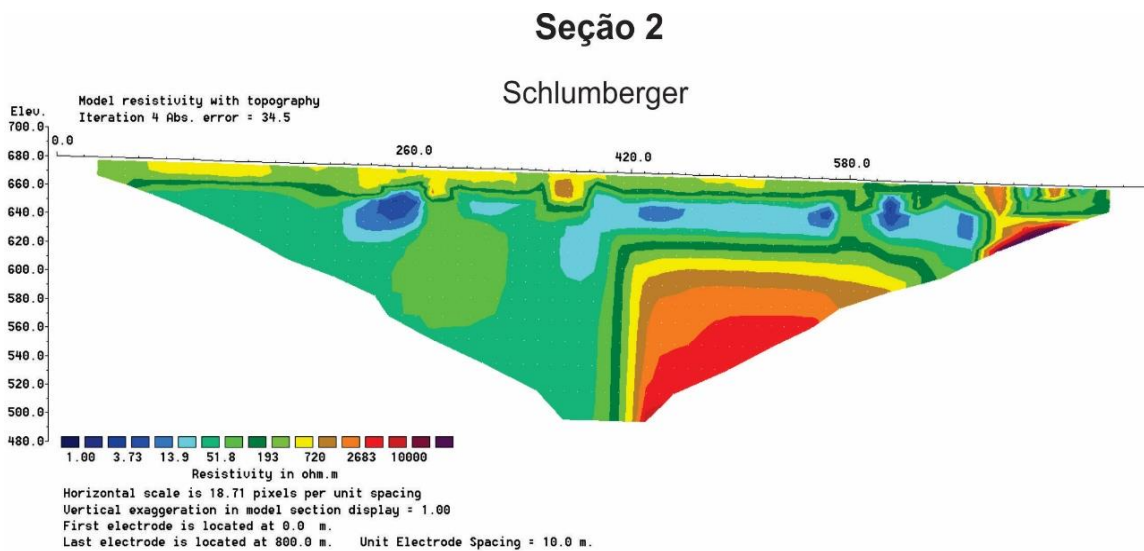
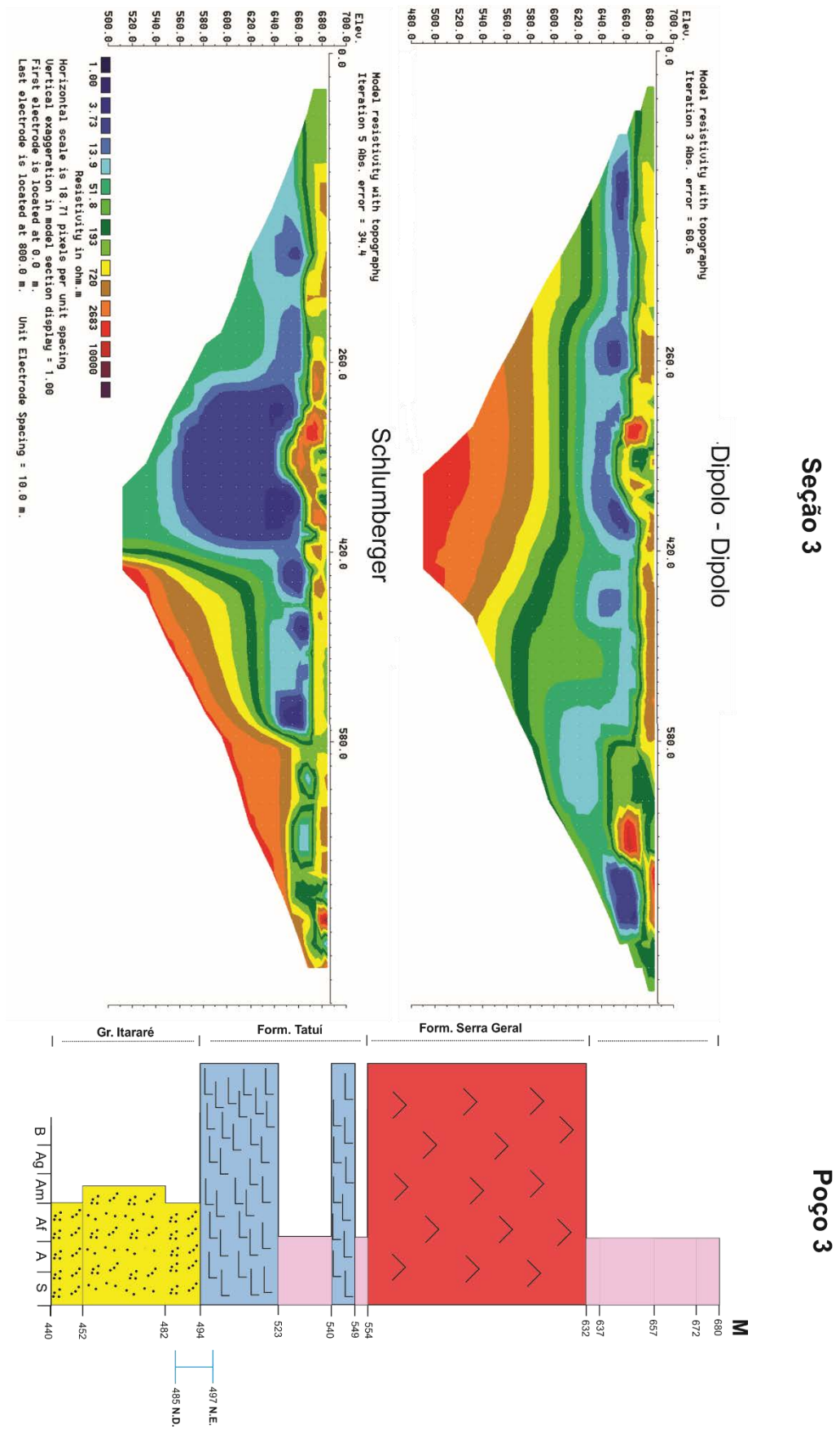


Fig. 26: Esquema de correlação entre o Poço 3 e seus respectivos arranjos.



Ao analisar as seções geofísicas geradas pelos arranjos Dipolo-Dipolo e Schlumberger e compará-las com os dados reais demonstrados na confecção do Poço 3, nota-se que o arranjo que mais se adequa aos dados reais é o arranjo Dipolo-Dipolo. Porém este poço se mostrou o mais complicado de identificar as relações entre ele e as suas respectivas seções, pois ambas as seções se apresentaram de maneira antagônica (Figura 26).

A dificuldade de relação é devido a presença de uma zona de baixa resistividade na porção central da seção Schlumberger, pois as cotas desta zona se contradizem com as resistividades esperadas se compararmos com as cotas do poço, pois nestas cotas deveria aparecer uma zona de alta resistência devido a presença de uma espessa camada diabásio nesta cota do poço. Assim quando correlacionamos com a seção Dipolo-Dipolo, ocorre uma pequena relação com o poço, porém essa relação é possível apenas a poucos metros de profundidade, pois o início da cota do diabásio coincide com o da seção, pois a partir de 620 metros ocorre um aumento da resistividade. Aparecem na parte superior da seção pequenas zonas de alta resistência condizentes com soleiras que ocorrem na região de estudo, além de zonas de baixas resistências provavelmente indicando a presença de água podendo ser salinas, oriundas da dissolução dos carbonatos.

Agora serão descritos detalhadamente a coluna estratigráfica do Poço 3 e a seção Dipolo-Dipolo. O terceiro poço possui uma profundidade de 241 metros, segundo o boletim explora o Aquífero Tubarão, sendo usado para fins industriais e sanitários. Possui uma vazão de 9 m³/h, com N.E. de 183,9 metros e N.D. de 195,25 metros.

Nos primeiros 8 metros de poço foi descrito um solo argiloso marrom escuro; de 8 a 48 metros são descritos argilitos cinzas compactos, sendo estes considerados da Formação Corumbataí; de 48 a 126 metros ocorre o diabásio da Formação Serra Geral; de 126 a 186 metros ocorrem dois pacotes de calcário dolomítico compacto e intercalações de argilitos escuros, sendo pertencentes da Formação Tatuí; de 186 a 241 metros aparecem arenitos de muito finos a médios com pouca cimentação e de coloração marrom, sendo considerados arenitos provenientes do Grupo Itararé (Figura 27).

Na seção Dipolo-Dipolo são observados nas extremidades zonas de baixa resistividade, próximos a 13,9 e 51,8 Ω .m, a zona oeste possui uma lateralidade aparente, a zona leste deve haver uma falha ou fratura, ocorrendo a percolação de água chegando a cota de 630 metros. Por volta da cota 620 metros ocorre um aumento da resistividade de 720 Ω .m, apresentando uma

certa estratificação das zonas de resistividade e um aumento conforme aumenta a profundidade (Figura 28).

Fig. 27: Coluna estratigráfica referente ao Poço 3.

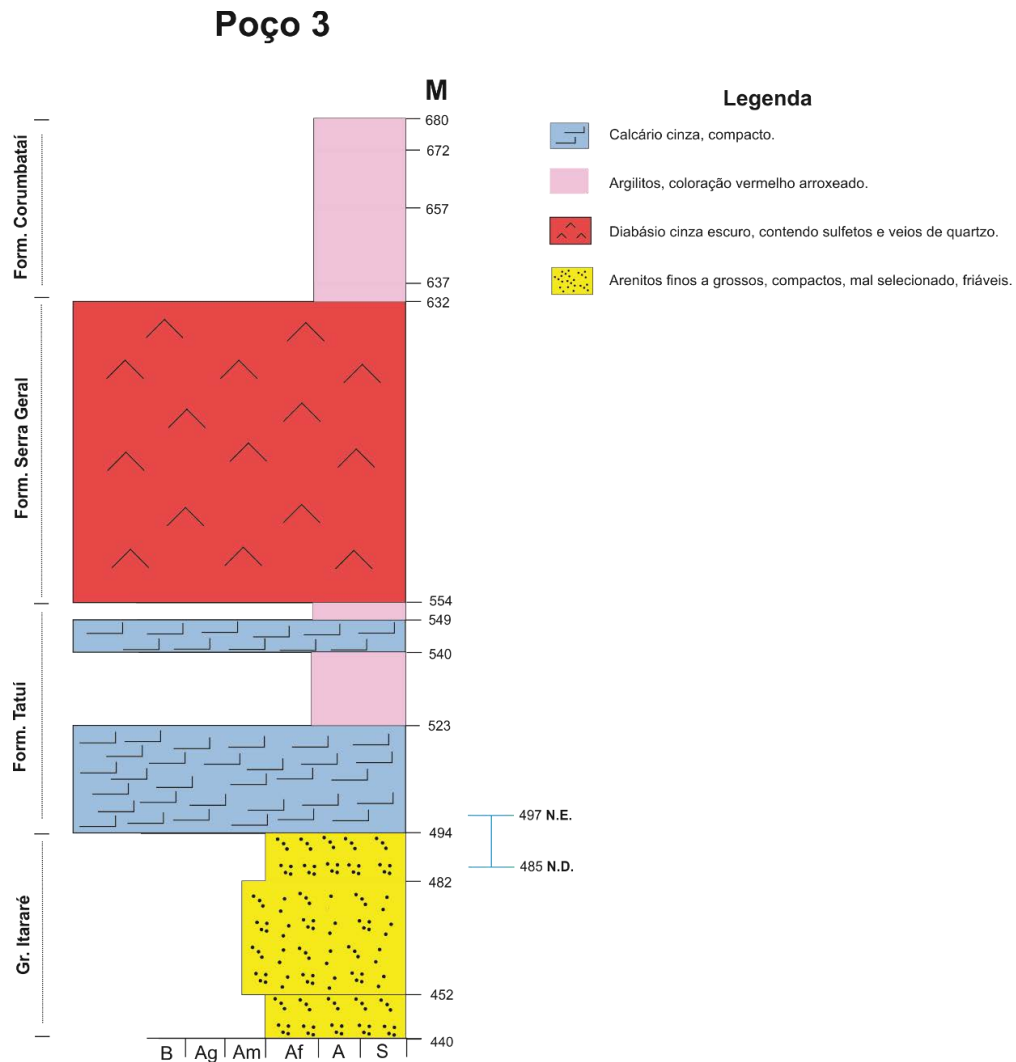


Fig. 28: Seção 3 de inversão de resistividade elétrica, pelo arranjo Dipolo-Dipolo.

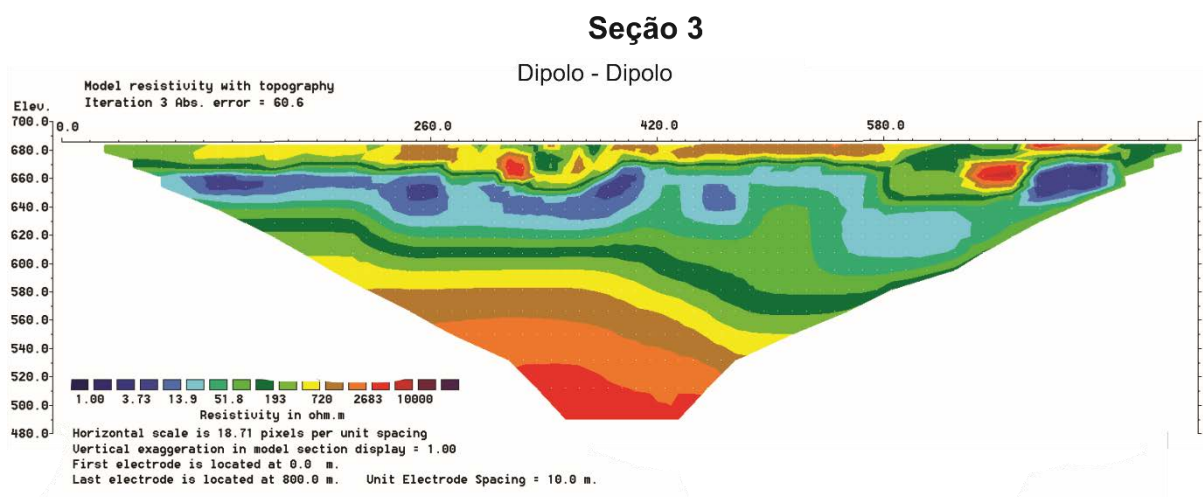
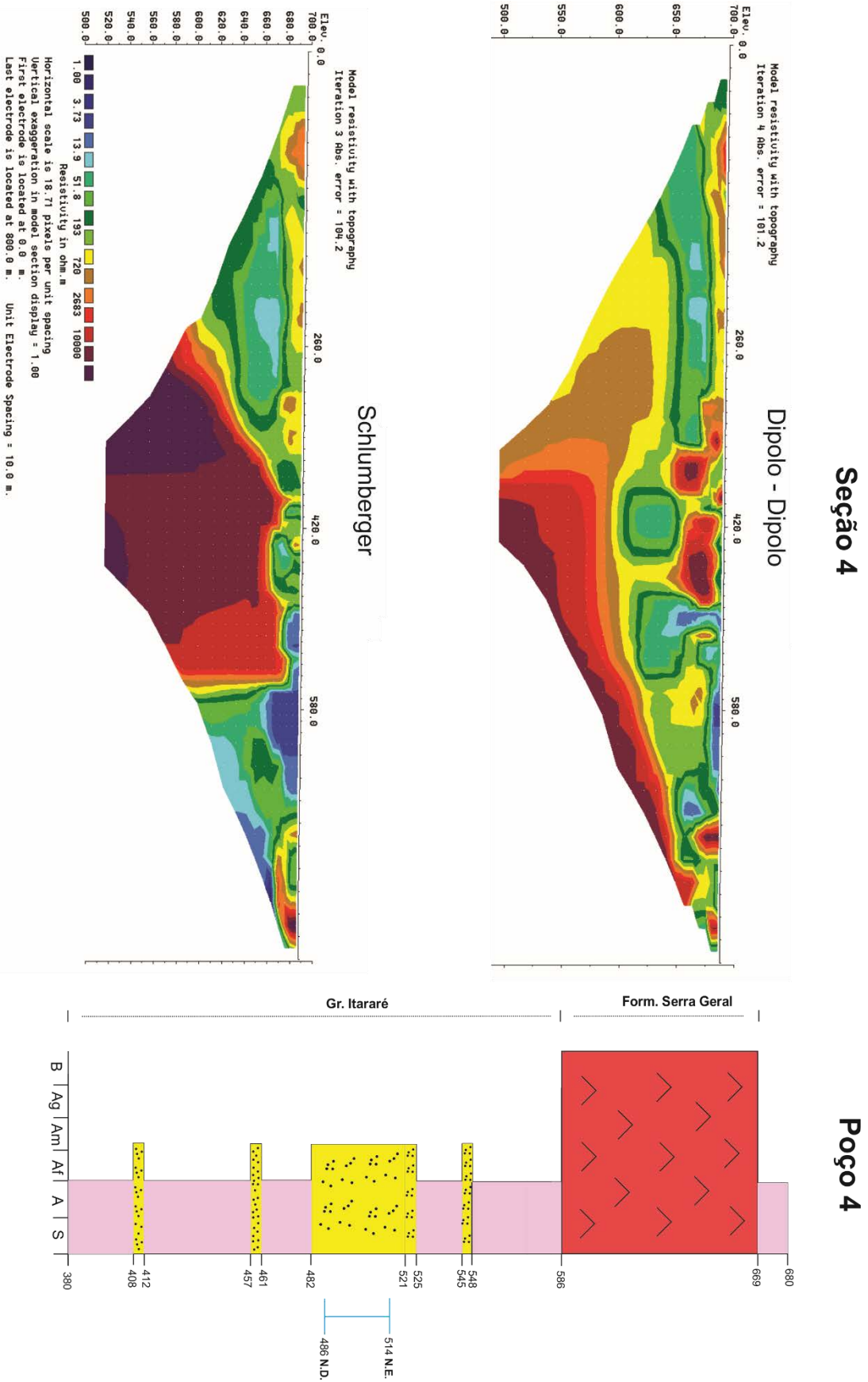


Fig. 29: Esquema de correlação entre o Poço 4 e seus respectivos arranjos.



Ao analisar as seções geofísicas geradas pelos arranjos Dipolo-Dipolo e Schlumberger e compará-las com os dados reais demonstrados na confecção do Poço 4, nota-se que o arranjo que mais se adequa aos dados reais é o arranjo Schlumberger. Essa relação é possível pois na parte central da seção é encontrada uma zona de alta resistividade, por volta da cota 665 metros, essa zona de alta resistividade condiz com os valores esperados para os diabásios da Formação Serra Geral, além da a cota a espessura do diabásio se assemelha aos valores dos diabásios descritos na coluna próximo a esta cota. (Figura 29).

As zonas de baixa resistividade encontradas nas seções provavelmente são zonas de absorção de água, esta água deve ser absorvida pelo solo da região, ou ser absorvido pelas finas camadas arenosas existentes nos argilitos da Formação Corumbataí, porém não sendo possível sua exploração.

Agora serão descritos detalhadamente a coluna estratigráfica do Poço 4 e a seção Schlumberger. O terceiro poço possui uma profundidade de 300 metros, segundo o boletim explora o Aquífero Tubarão, sendo usado para fins domésticos. Possui uma vazão de 2,56 m³/h, com N.E. de 144,5 metros e N.D. de 180,85 metros.

Este poço apresenta até os primeiros 2 metros um solo argiloso marrom avermelhado, de 2 a 11 metros são encontradas argilas marrom avermelhadas, descritas como sendo da Formação Corumbataí; de 11 a 94 metros ocorre o diabásio da Formação Serra Geral; de 94 a 300 metros ocorre uma intercalação entre argilitos compactos marrons avermelhados com arenitos de muito finos a médio, coloração cinza claro com matriz pouco argilosa, sendo descritos como sendo do Grupo Itararé (Figura 30).

A seção Schlumberger da seção 4 ocorre uma zona central de alta resistividade, por volta de 2683 a 10000 Ω .m, na parte leste da seção são encontradas zonas de baixa resistividade, por volta de 3,63 Ω .m, possivelmente interconectadas, mas as águas provavelmente são salinas devido ao baixo valor de resistividade observado. Na parte oeste da seção temos valores de resistividade por volta de 193 Ω .m, podendo haver águas não salinas nesta parte da seção (Figura 31).

Fig. 30: Coluna estratigráfica referente ao Poço 4.

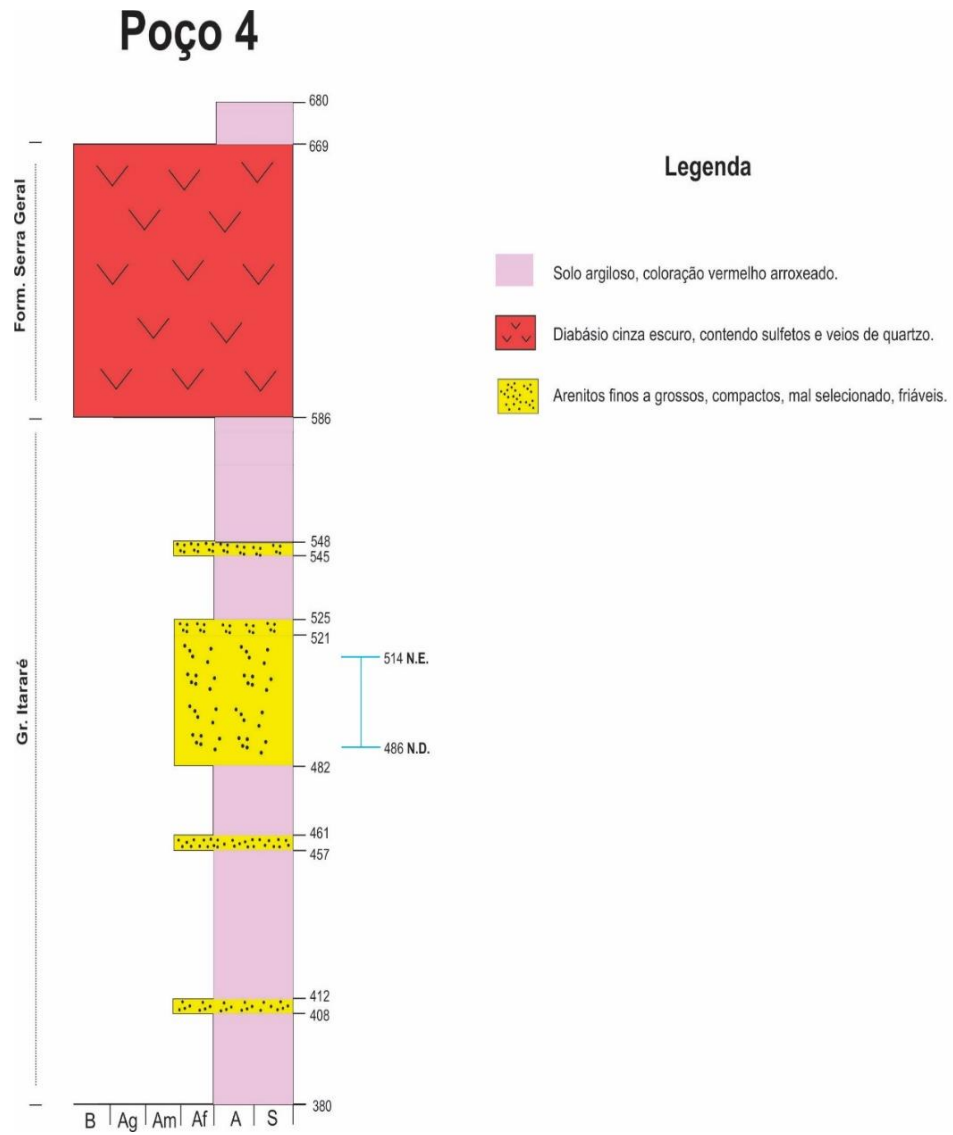
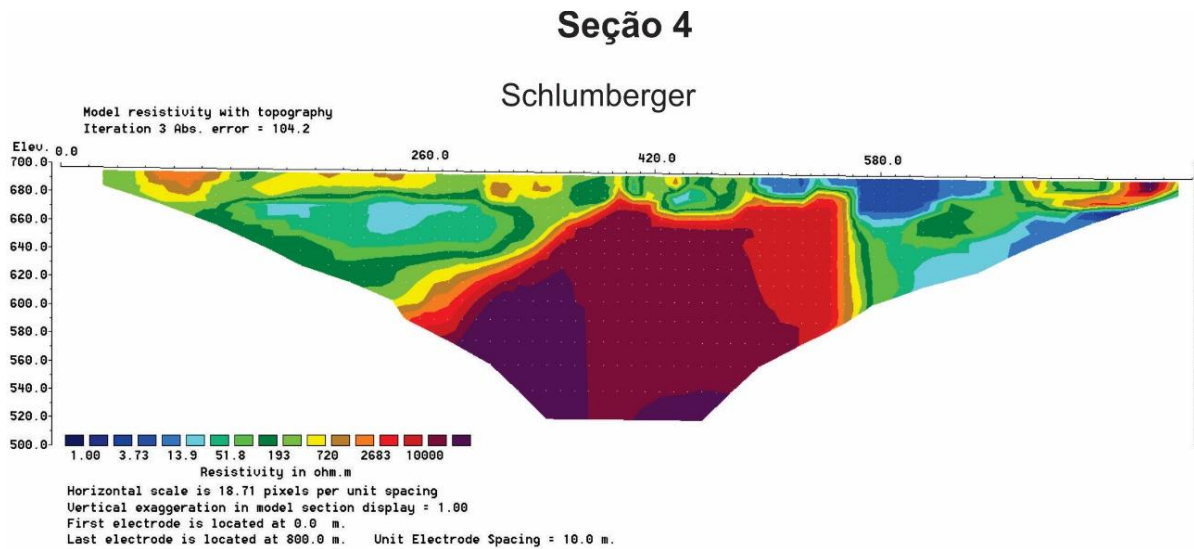


Fig. 31: Seção 4 de inversão de resistividade elétrica, pelo arranjo Schlumberger.



7.2. Correlação entre os Poços

Ao compararmos apenas os poços entre si, notamos uma certa semelhança entre eles, essa semelhança pode ser explicada devido a distância entre os poços, além da área estar inserida uma bacia sedimentar, logo a mudança abrupta de litologias é mais difícil de ocorrer. As divisões entre as formações existentes foram estabelecidas a partir do levantamento bibliográfico prévio sobre geologia regional e de trabalhos específicos sobre o Grupo Itararé e suas litofácies.

Todos os poços apresentam espessas camadas de diabásio da Formação Serra Geral, apesar da geofísica não demonstrar isso em todas as seções, possivelmente são soleiras e diques que ocorreram durante os episódios de derrames básicos na região (Figura 32). Um dos fatores que contribui para o aparecimento de falhas e fraturas na região é a própria intrusão das rochas basálticas que podem soerguer as camadas superiores. Outro fator que pode ter gerado as falhas e fraturas na região são os alinhamentos encontrados na área e a presença do Alto Estrutural de Pitanga, existente próximo região de estudo.

Também é possível fazer uma relação dos níveis estáticos e dos níveis dinâmicos de todos os poços, ao analisarmos os valores é notável uma igualdade de valores dos níveis estáticos e níveis dinâmicos, assim temos: Poço 1 (N.E.= 514 m e N.D.= 486m), Poço 2 (N.E.= 512 m e N.D.= 427 m), Poço 3 (N.E.= 497m e N.D.= 485m) e o Poço 4 (N.E.= 514 m e N.D.= 486m). Todos os poços exploram o Aquífero Tubarão, três deles o exploram no Grupo Itararé (Poço 1, 3 e 4) e o Poço 4 explora o aquífero na Formação Tatuí Inferior e continua pelo Grupo Itararé.

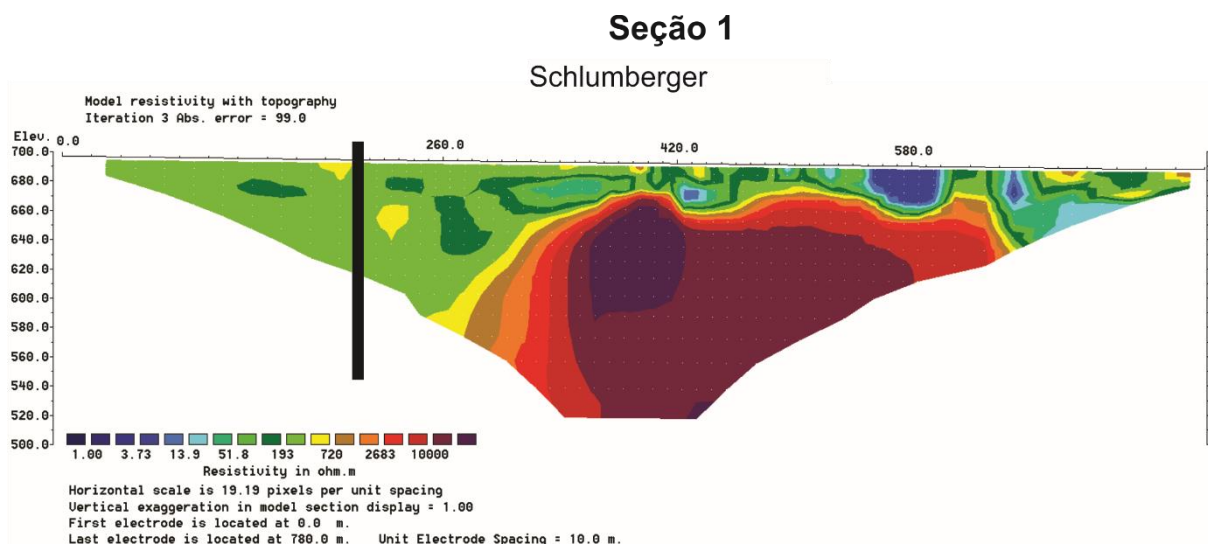
Os poços apresentam diferentes espessuras de diabásio, porém com intervalos não muito expressivos entre eles, assim temos: Poço 1- 78 m, Poço 2- 95 m, Poço 3- 88 m e Poço 4- 83 m. Ao comparar as espessuras do diabásio nos poços com as respectivas vazões hidráulicas não foi possível estabelecer uma relação, pois as vazões não aumentam ou diminuem em função da espessura do diabásio, como comprovam os dados de vazão a seguir: Poço 1- 12 m³/h, Poço 2- 6 m³/h, Poço 3- 9 m³/h e o Poço 4- 2,56 m³/h.

7.3. Poços artesianos futuros

A partir da análise de todas as seções que se mostraram compatíveis com os dados reais dos poços, foram sugeridos locais mais promissores para a realização de poços artesianos profundos e rasos, para a captação de água dos Aquíferos Tubarão e Serra Geral. Além dos aquíferos, pode ser explorado as águas presentes na Formação Corumbataí, mas essa exploração só deverá ser feita após análise da qualidade da água presente nesta área.

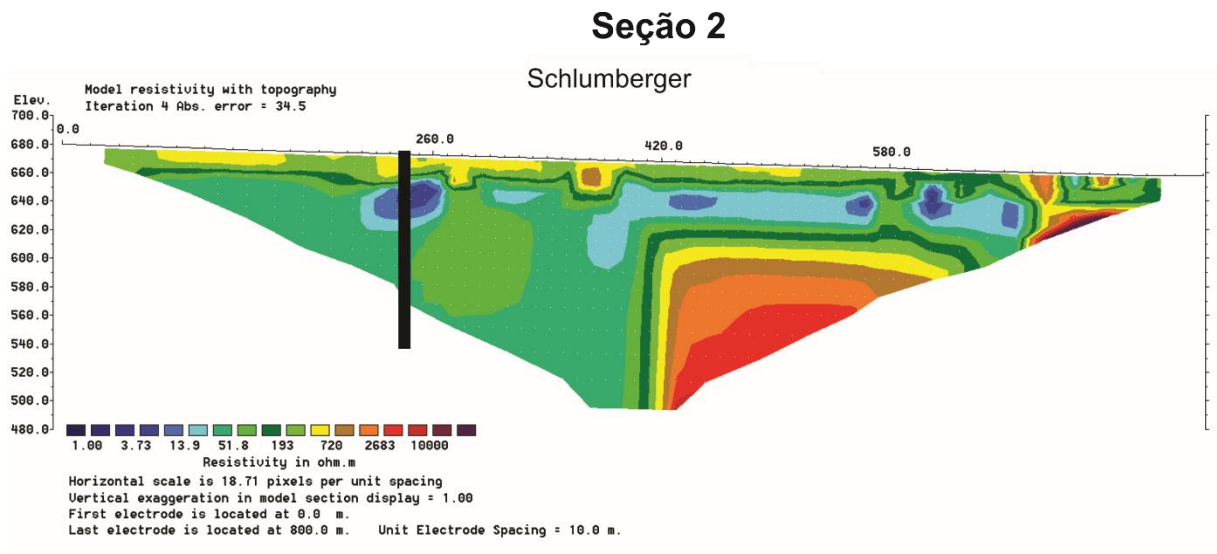
Na seção Schlumberger do Poço 1 são propostos a realização de poços próximos a localização 230 da linha, pois analisando a seção nota-se que a zona de alta resistividade, representada pelo diabásio nesta parte da seção se mostra descontínua, assim podendo o poço alcançar zonas profundas do Aquífero Tubarão. Logo este local pode apresentar uma zona onde há a recarga do aquífero e conseqüentemente possuir uma vazão elevada (Figura 33).

Fig. 33: Local sugerido adequado para instalar um poço artesiano na Seção 1.



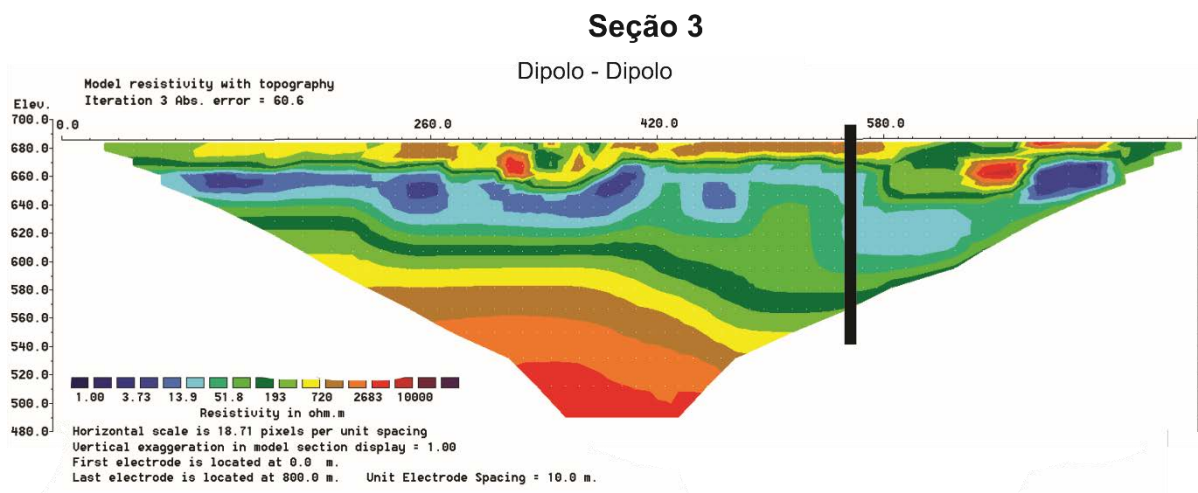
Na seção Schlumberger do Poço 2 são propostos a realização de poços próximos a localização entre 100 e 300 metros da linha, pois analisando essa área notamos a ausência de zonas de alta resistividade, assim se mostrando um local promissor para a instalação de novos poços na área. Outro fator de destaque é que deve haver uma falha ou fratura na parte central da seção, por onde deve estar percolando água, outra evidência dessa falha ou fratura é a quebra repentina das resistividades na parte central, sendo que essas zonas de alta resistividade apresentam um comportamento vertical (Figura 34).

Fig. 34: Local sugerido adequado para instalar um poço artesiano na Seção 2.



Na seção Dipolo-Dipolo do Poço 3 são propostos a realização de poços próximos a localização a partir de 540 metros da linha, pois aparentemente a zona estratificada de alta resistividade diminui de sentido leste para oeste. Assim com a diminuição dessa zona de alta resistividade na seção, o poço artesiano a ser construído terá chances de alcançar zonas aquíferas promissoras do Aquífero Tubarão, ou até mesmo encontrar a água presente no Aquífero fraturado Serra Geral (Figura 35).

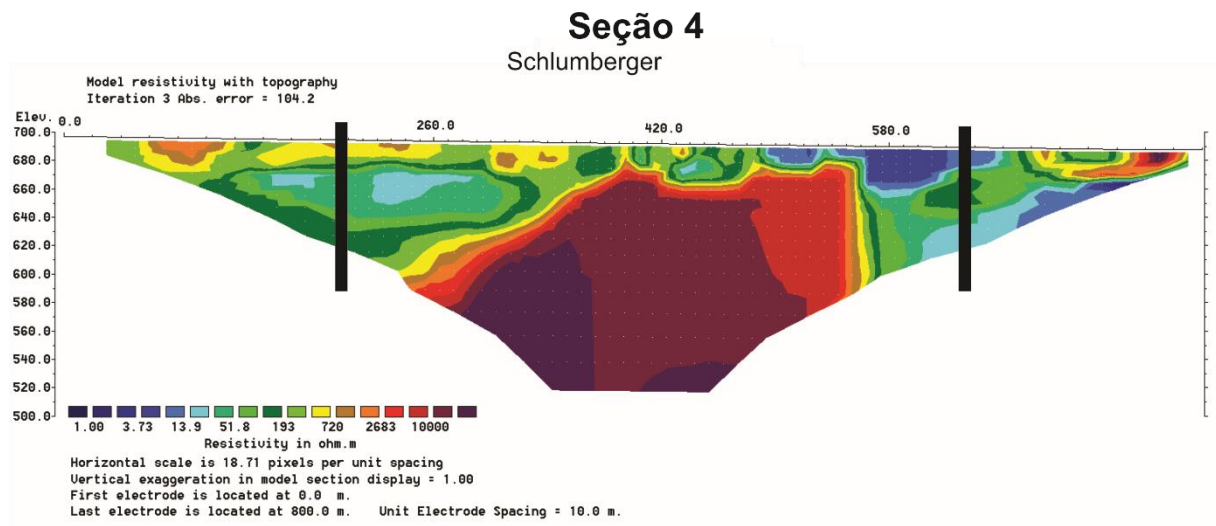
Fig. 35: Local sugerido adequado para instalar um poço artesiano na Seção 3.



Na seção Schlumberger do Poço 4 são propostos a realização de poços artesianos próximos a localização até 250 metros e após 500 metros da seção, pois estas áreas aparecem promissoras se analisarmos as zonas de resistividade. As zonas escolhidas apresentam baixa resistividade, além disso essas áreas escolhidas ficam fora da zona central de alta resistividade,

representada pelo diabásio, assim nestas áreas os poços artesianos podem obter vazões maiores que a poço já existente. Outro fator é que nesta seção deve haver uma falha na parte leste por onde ocorre a percolação da água (Figura 36).

Fig. 36: Local sugerido adequado para instalar um poço artesiano na Seção 4.



8. CONCLUSÃO

Os estudos direcionados a aquíferos profundos se tornarão cada vez mais necessários no futuro, isso deve ocorrer devido a diversos fatores, dentre eles a escassez das principais fontes, manejo inadequado dos recursos hídricos e condições climáticas adversas, como longos períodos de estiagem e regiões que sofrem com a seca.

Assim estudos geofísicos se demonstram eficazes para encontrar essas fontes subterrâneas de água, por ser uma ferramenta de baixo custo, rápida e de fácil análise dos dados gerados. Dentre todos os métodos geofísicos analisados o mais adequado e usualmente utilizado para estudar água e contaminantes no solo é o método geoelétrico.

Neste trabalho foi possível comparar dois tipos de arranjos, o arranjo Dipolo-Dipolo e o arranjo Schlumberger, ambos arranjos se mostraram importantes, mas o arranjo Schlumberger se demonstrou mais eficaz para analisar os dados desde trabalho.

Nota-se que o arranjo Dipolo-Dipolo demonstrou eficácia em pequenas profundidades devido a sua sensibilidade em questões de sinal e ruído, por outro lado o arranjo Schlumberger se mostrou mais eficiente em maiores profundidades, pois este tipo de arranjo não sofre tantas interferências de sinal e ruído, assim podendo obter sinais mais profundos sem perder a sua resolução.

Porém apesar do arranjo Schlumberger ser eficiente em profundidades maiores, os ensaios não puderam chegar a profundidade das lentes arenosas do Aquífero Tubarão, pois ambos os arranjos perderam capacidade de resolução com o aumento da profundidade. Esta perda de sensibilidade se deve ao fato de haver soleiras de diabásio na área, que possuem como característica alta resistividade, assim não permitindo a passagem de corrente e sinal para profundidades maiores, logo o aparelho não conseguiu obter estas leituras mais profundas.

Mas as análises geofísicas mostraram resultados interessantes para a área, como a presença de água em camadas superiores, estando localizadas nas lentes arenosas e solos da Formação Corumbataí. Outro dado relevante observado foi constatar a presença de um aquífero fraturado na área, o Aquífero Serra Geral, este resultado foi considerado importante pois abre uma nova opção para a obtenção de água na região de Cordeirópolis.

Foi possível fazer uma nova interpretação sobre a presença das soleiras de diabásio presentes na área, que elas ocorrem de forma abundante na região de estudo, mas não são

espessas camadas e sim camadas desconectadas, isto demonstra que em alguns pontos da região onde não ocorre a presença das soleiras de diabásio, pode haver uma recarga do Aquífero Tubarão.

A presença de zonas de resistividade muito baixa nas seções indica a presença de água extremamente salina, essa salinidade é proveniente da dissolução dos carbonatos presentes nas Formações Irati e Formação Tatuí, essa dissolução provavelmente foi causada pela presença das soleiras. Porém essas águas não são adequadas para o consumo humano, devido aos prováveis teores elevados de sais.

Algumas zonas de resistividade por volta de 50 e 150 Ω .m podem indicar a presença de água, logo essas águas podem ser exploradas, porém provavelmente por explorarem as águas do aquífero fraturado e das lentes arenosas da Formação Corumbataí as vazões dos poços não deverão ser elevadas. Logo devido à baixa vazão, estes poços podem se tornar viáveis para o abastecimento de pequenas propriedades rurais da região, que não necessitam de vazões altas como as indústrias instaladas na área de estudo.

Analisando os dados reais obtidos através da estratigrafia dos poços e dos boletins de cadastramento dos poços, os quatro poços se mostraram interessantes devido aos dados litoestratigráficos juntamente com os dados de nível estático e nível dinâmico, pois estes dados são condizentes com os trabalhos realizados por VIDAL, 2002.

Entretanto a tentativa de estabelecer uma relação entre resistividade elétrica e dados de vazão de poços não deve ser descartada, deve-se buscar um outro tipo de arranjo que consiga apresentar um produto com maior sensibilidade em maiores profundidades e que alcance a profundidade total do poço estudado.

Dito isto uma opção de ensaio geofísico que alcance uma profundidade maior e com maior sensibilidade seria uma Sondagem Elétrica Vertical (SEV), assim possivelmente alcançando as lentes do Aquífero Tubarão.

9. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques; BARBOSA, Octavio. Geologia das quadriculas de Piracicaba e Rio Claro, estado de Sao Paulo. Ministério da Agricultura, Departamentamento Nacional da Produção Mineral, Divisõa de Geologia e Mineralogia, 1953.

BALEK, J. 1989. Groundwater resources assessment – Developments in water Science 38. Elsevier, Praga, 251p.

BARBOSA, Octavio; DE ANDRADE GOMES, Franklin. Pesquisa de petróleo na bacia do rio Corumbataí, Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 1958

BRAGA, A. C. O. 2007. Geofísica aplicada módulo: métodos geoeletricos aplicados nos estudos de captação e contaminação das águas subterrâneas - Versão 4.0. (material didático - apostila) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.

BRIGUETTI, J. M. P. FACIOLOGIA DOS SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO PIRAMBÓIA NA REGIÃO DE RIO CLARO (SP). 1994

CETESB (São Paulo). Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2010-2012. São Paulo, 2013. (Série Relatórios).

CHANG, H.K.; OLIVA, G.A.; LIMA, W.P. (2006) Utilização do método da eletrorresistividade na caracterização hidrogeológica de área de recarga do Sistema Aquífero Guarani. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas

DAEMON, R.F.& QUADROS, L.P. (1970) – Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 24., Brasília 1970. Anais... Brasília, SBJ, v.1, p.359-412.

DIOGO, A.; BERTACHINI, A.C.; CAMPOS, H.C.N.S.; ROSA, R.B.G.S. 1981. Estudo preliminar das características hidráulicas e hidroquímicas do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. In: 3º SIMP. REG. GEOL., Curitiba, PR. Atas...SBG, Curitiba , 1:359- 368.

EZAKI, S.; IRITANI, M.A. 2009 As Águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Instituto Geológico São Paulo.

FILHO, A.S.; OLIVEIRA, R.G.; RIBEIRO, J.A.; VERÍSSIMO, L.S.; SÁ, J.U. (2004) Interpretação e modelagens de dados de eletrorresistividade para locações de poços tubulares no aquífero fissural da área-piloto Juá, Irauçuba (CE). Revista de Geologia, Vol. 19, nº 1, 7-21, 2006

FÚLFARO, V. J. et al. A Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo. In:SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. 1984. p. 711-723.

GAMA JR., E A. 1979. Sedimentação do Grupo Passa Dois (Exclusive Formação Irati)): Um Modelo Geomórfico. Revista Brasileira de Geociências, 1 (9): 1-16.

GAMA JR, E.G.; BANDEIRA JR, A.N.; FRANÇA, A.B. (1982)- Distribuição espacial e temporal das unidades litoestratigráficaspaleozóicas na parte central das Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, 12 (4): 578-589.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física. 4. ed. Wiley & Sons, Inc., 1993.

Informações sobre Bacias : www.agua.org.br/bacias-pcj (Acesso Março 2017)

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An introduction to Geophysical Exploration. 3. ed. London: Blackwell Science, 2002.

LANDIM, Paulo Milton Barbosa. O grupo Passa Dois (P) na bacia do Rio Corumbatai (SP). Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geología e Mineralogía, 1970.

LOKE, M. H. 2000. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: a practical guide to 2-D and 3-D surveys. Report Geotomo LLC, Penang, Malaysia. 67. p., 2000.

MARINHO, J.M.; CORDEIRO, W.; VASCONCELOS, S.M.; SOUZA, S.M. (2004) Estudos Hidro-Estratigráficos da Bacia do Araripe (CE), utilizando eletrorresistividade. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas

MELO, M.S. 1995. A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenoica na Depressão Periférica Paulista. São Paulo, 144p. (Tese de Doutorado, IG-USP).

MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, Edison José et al. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, CDR, p. 265- 291, 2004.

MILANI, E.J.; MELO, J.H.G; SOUZA. P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MUSSETT, A. E. & KHAN, M. A. (2009). Look into the Earth: an introduction to geological geophysics. Cambridge University Press, New York, 493p.

NODELI, K.; LANGE, G.; VOIGT, H. 2007. Environmental geology: handbook of fields methods and case studies. Springer, Hannover, 1374 pp.

OLIVEIRA, EP de. Geologia do estado do Paraná. Min. Agric. Ind. Com. Bol, v. 5, n. 1, p. 67-143, 1916.

PERINOTTO, J.A.J. (1987)- Análise estratigráfica da seqüência portadora de carvão de Cerquilha (SP). São Paulo. 76p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).

PERINOTTO, J.A.J. (1992)- Análise estratigráfica da Formação Palermo (P) na Bacia do Paraná, Brasil. Rio Claro, SP. 2v. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP).

ROBINSON, E. S. Basic Exploration Geophysics. John Wiley & Sons Inc., 1988.

SAAD, A. R. Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo. 1977. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo

SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A..A.. (1974)- Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. Anais. Porto Alegre, SBG, v.1, p. 41-65.