

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

DIAGNÓSTICO HIDROGEOFÍSICO APLICADO À CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO NOROESTE PAULISTA

Thais Arantes De Campos

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

Thaís Arantes de Campos

DIAGNÓSTICO HIDROGEOFÍSICO APLICADO À CAPTAÇÃO DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO NOROESTE PAULISTA

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

2026

C198d Campos, Thaís Arantes de
Diagnóstico Hidrogeofísico Aplicado À Captação De Água
Subterrânea Em Áreas Agrícolas No Noroeste Paulista / Thaís Arantes
de Campos. -- Rio Claro, 2026
47 p. : tabs., fotos, mapas

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

Orientador: César Augusto Moreira

1. Geologia. 2. Geofísica. 3. Hidrogeologia. 4. Água Captação. 5.
Aquíferos. I. Título.

Thaís Arantes de Campos

DIAGNÓSTICO HIDROGEOFÍSICO APLICADO À CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO NOROESTE PAULISTA

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

Prof. Dr. Leonides Guireli Netto

Prof. Dr. Lenon Melo Ilha

Rio Claro, 03 de Julho de 2026.

Assinatura da aluna

Documento assinado digitalmente
 **CESAR AUGUSTO MOREIRA**
Data: 24/07/2026 12:30:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE/UNESP) pela formação acadêmica proporcionada. O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - processo (nº 19359).

A conclusão desta graduação representa muito mais do que uma conquista individual. Este trabalho é resultado de uma caminhada construída com amor, apoio, acolhimento e dedicação de muitas pessoas que estiveram ao meu lado.

Ao meu orientador, Professor César Augusto Moreira, agradeço pela orientação e pela paciência ao longo deste processo. Agradeço também a todos os professores do curso de Geologia pelos ensinamentos, pela dedicação e por todo o conhecimento compartilhado durante minha formação. Estendo meu agradecimento ao Centro de Convivência Infantil da UNESP, cujo suporte foi fundamental para que eu pudesse frequentar as aulas e permanecer na universidade. Agradeço especialmente às colaboradoras Karina, Andréia e tia Rosa pelo cuidado, acolhimento e dedicação.

Agradeço às quatro pessoas que tornaram possível cada passo desta jornada: meus pais, meu marido e meu filho. Agradeço por todo o suporte, incentivo e por nunca me deixarem desistir. Ao meu filho, minha maior motivação, agradeço por ter dado um novo sentido aos meus sonhos e por ter sido a força que me impulsionou a seguir em frente todos os dias. À minha rede de apoio familiar, especialmente à tia Madalena, tia Maria, Joseane e a todos os meus familiares, deixo minha sincera gratidão. Em diferentes momentos desta caminhada, vocês estiveram presentes oferecendo apoio, acolhimento e incentivo.

À Carol, Amanda e Aline, agradeço a amizade construída através do Centro de Convivência Infantil, que começou pela convivência entre nossos filhos e se transformou em uma grande amizade, marcada pelo carinho, pela cumplicidade e pelo apoio.

Aos meus amigos de estágio na Prefeitura, Felipe, Isadora, Gui e João, agradeço por terem feito parte de uma etapa importante da minha trajetória acadêmica e profissional. À Larissa Tinti, Mariana, Tamiris, Ketlyn, Arielson, Lucas, Matheus, Isabela Gouveia, Maria Eduarda e Marília, agradeço a amizade, risadas e pelos momentos compartilhados ao longo da graduação.

Esta conquista pertence a todos que acreditaram em mim, me apoiaram e caminharam ao meu lado. A todos, o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

A crescente demanda por água subterrânea para irrigação na citricultura do noroeste paulista, está associada à redução das precipitações nas últimas décadas, o que exige métodos eficientes de prospecção hídrica. Este trabalho teve como objetivo realizar um diagnóstico hidrogeofísico na Fazenda São João, município de Onda Verde (SP), com o emprego do método da eletrorresistividade para identificar zonas favoráveis à perfuração de poços tubulares profundos. Foram adquiridas oito seções bidimensionais, que atingiram profundidade de investigação de até 170 m. Os modelos de inversão obtidos apresentaram a heterogeneidade hidrogeológica da área. Intervalos com resistividade entre 50 e 400 $\Omega \cdot m$, associados a arenitos saturados e boa transmissividade, caracterizaram as zonas mais promissoras, enquanto valores inferiores a 50 $\Omega \cdot m$ indicaram siltitos saturados (aquitarde) e valores superiores a 5.000 $\Omega \cdot m$ corresponderam a basalto seco ou arenito insaturado, ambos desfavoráveis à captação. A integração dos dados permitiu delimitar as porções da fazenda com maior potencial aquífero, com estimativa de vazões compatíveis com as demandas da citricultura local.

Palavras-chave: Eletrorresistividade; aquífero; poços tubulares; irrigação

ABSTRACT

The growing demand for groundwater for irrigation in citrus farming in northwestern São Paulo, associated with the reduction in rainfall in recent decades, requires efficient water prospecting methods. This study aimed to carry out a hydrogeophysical diagnosis at the São João Farm, in the municipality of Onda Verde (SP), using the electrical resistivity method to identify favorable zones for drilling deep tubular wells. Eight 2D sections were acquired, reaching an investigation depth of up to 170 m. The inversion models obtained revealed the hydrogeological heterogeneity of the area. Intervals with resistivity between 50 and 400 $\Omega \cdot m$, associated with saturated sandstones and good transmissivity, characterized the most promising zones, while values below 50 $\Omega \cdot m$ indicated saturated siltstones (aquitard) and values above 5,000 $\Omega \cdot m$ corresponded to dry basalt or unsaturated sandstone, both unfavorable for water collection. Data integration allowed delimiting the portions of the farm with the highest aquifer potential, estimating flow rates compatible with local citrus farming demands.

Keywords: DC resistivity; aquifer; tubular wells; irrigation

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faixas de vazão explorável indicadas para o Sistema Aquíferos Bauru no Estado de São Paulo.	23
Tabela 2: Síntese dos parâmetros hidrogeofísicos e potencial aquífero estimado para as linhas de tomografia elétrica na Fazenda São João (Onda Verde/SP).	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudos com a distribuição de linhas de levantamento geofísico.....	14
Figura 2: Mapa indicando a condição dos municípios quanto à inserção de sua área na UGRHI 15.	15
Figura 3: Mapa de distribuição do Grupo Bauru no estado de São Paulo.....	18
Figura 4: Mapa de contorno estrutural do topo da Formação Serra Geral.	20
Figura 5: Localização da Depressão Rio Preto.....	21
Figura 6: Circuito representativo da 2ª Lei de Ohm.....	25
Figura 7: Linhas de corrente elétrica geradas após introdução em superfície.....	25
Figura 8: Configuração tetraédrica de eletrodos: A-B corrente e M-N tensão.....	26
Figura 9: Aquisição de dados geofísicos por meio de técnica de tomografia elétrica.....	27
Figura 10: Aquisição de dados geofísicos por meio de técnica de tomografia elétrica. a) Detalhe do sistema de aterramento elétrico para aquisição de dados. b) Resistivímetro tomográfico ABEM Terrameter LS em operação; c) Linha de tomografia elétrica durante aquisição de dados.	27
Figura 11: Localização da área de estudos, com linhas de levantamento geofísico da proposta inicial.	29
Figura 12: Localização da área de estudos, com linhas de levantamento geofísico realizadas.	29
Figura 13: Etapa de coleta de dados em campo: A) Linha de aquisição de dados, B) Equipamento geofísico.	30
Figura 14: Modelo de inversão da Linha 8 - referência, com destaque para intervalo aquífero e dados hidrogeológicos.....	33
Figura 15: Modelo de inversão da Linha 1, com destaque para intervalo aquífero.....	34
Figura 16: Modelo de inversão da Linha 2, com destaque para intervalo aquífero.....	34
Figura 17: Modelo de inversão da Linha 3, com destaque para intervalo aquífero.....	35
Figura 18: Modelo de inversão da Linha 4, com destaque para intervalo aquífero.....	36

Figura 19: Modelo de inversão da Linha 5, com destaque para intervalo aquífero.....	37
Figura 20: Modelo de inversão da Linha 6, com destaque para intervalo aquífero.....	37
Figura 21: Modelo de inversão da Linha 7, com destaque para intervalo aquífero.....	38
Figura 22: Pontos recomendados para perfuração de poços até 200m de profundidade, com projeção de cones de rebaixamento em superfície e recomendação de prioridade baseado no potencial aquífero local.....	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVO.....	13
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
3.1. Localização da área e vias de acesso	14
3.2. Bacia hidrográfica.....	15
3.3. Geomorfologia	16
3.4. Climatologia.....	16
4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	17
4.1. Grupo Bauru	17
4.2. Formação Adamantina.....	18
4.3. Formação Serra Geral.....	19
4.4. Geologia Estrutural.....	19
5. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	22
6. MATERIAL E MÉTODOS	24
6.1 Método Geofísico Da Eletrorresistividade	24
6.2. Aquisição de Dados Geofísicos.....	28
6.3. Processamento dos dados	30
7. RESULTADOS	32
8. DISCUSSÃO.....	40
9. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

Uma das atividades agrícolas mais significativas do Brasil é a citricultura que desempenha um papel importante na economia agrícola do país. Com mais de 17 milhões de toneladas produzidas anualmente, o país é o maior produtor mundial de laranjas e representa cerca de 35% da produção global. Esse volume expressivo é principalmente destinado à indústria de sucos, além de suprir o mercado interno de frutas frescas. O Brasil é o principal exportador mundial de suco de laranja concentrado e congelado (FCOJ), que representa aproximadamente 76% da produção de laranjas. A citricultura contribui significativamente para a economia nacional, é responsável por gerar milhares de empregos diretos e indiretos e movimentar bilhões de reais anualmente (NEVES *et al.*, 2001).

No entanto, a precipitação no estado de São Paulo, que representa cerca de 70% da produção nacional de laranjas, diminuiu nos últimos 20 anos (LIMA; AMORIM, 2015). Os estudos climáticos mostram uma queda constante nas médias pluviométricas, o que tem impacto direto na agricultura. A necessidade de irrigação aumentou como resultado da diminuição das chuvas para manter a produtividade e a qualidade dos frutos. Relatórios acadêmicos e técnicos de organizações como o Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet) da UNESP e o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da UNICAMP mostram a diminuição das precipitações e a crescente variabilidade climática (CPA/UNICAMP, 2025). Esses estudos destacam a necessidade de adaptações tecnológicas para o setor citrícola.

A intensificação desse cenário de variabilidade climática reforça a necessidade de sistemas de irrigação mais eficientes, sobretudo nas regiões produtoras do noroeste paulista, onde a redução da disponibilidade hídrica afeta diretamente a produtividade agrícola. Os citros têm demanda de 900 a 1200 mm, que devem ser bem distribuídas ao longo do ano (DOOREMBOS & KASSAN, 1994). De acordo com Brugnara (2022), o déficit hídrico leva ao abortamento de flores e frutos acima do normal para a cultura, portanto, a decorrência do déficit hídrico causa estresse na cultura, que resulta numa diminuição na produtividade.

Para garantir a sustentabilidade da citricultura, é essencial integrar conhecimentos geológicos e geofísicos que permitam compreender a dinâmica dos aquíferos, identificar zonas com maior potencial de armazenamento e orientar estratégias de uso racional da água. A caracterização adequada do meio físico é, portanto, uma etapa fundamental para apoiar decisões relacionadas ao manejo hídrico e ao planejamento agrícola em condições de crescente incerteza climática.

Nesse contexto, municípios como Onda Verde (SP), que apresentam forte expansão agrícola e crescente demanda por água subterrânea, requerem estudos específicos sobre o comportamento do Sistema Aquífero Bauru. Este trabalho busca contribuir com esse entendimento ao empregar o método da eletrorresistividade para identificar variações litológicas e reconhecer áreas com maior potencial aquífero, fornecer subsídios técnicos na utilização e à avaliação de novos poços tubulares profundos. A integração desses dados com informações geológicas permite reduzir incertezas quanto ao potencial hídrico local e fortalece o planejamento eficiente dos recursos subterrâneos utilizados pela citricultura regional.

2. OBJETIVO

O objetivo principal deste projeto é o diagnóstico hidrogeofísico por Eletorresistividade em reconhecimento a zonas favoráveis para perfuração e captação de água subterrânea, para uso em sistema de irrigação.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização da área e vias de acesso

A área de estudo está localizada na fazenda São João, no município de Onda Verde, situado a noroeste do Estado de São Paulo com coordenadas UTM (N) 7720145.48 m e UTM (E) 678107.35 m. A área do município é de 242,9 km². O município de Onda Verde limita ao Norte por Altair e Nova Granada, ao sul por Guapiaçu e São José do Rio Preto e a oeste por Ipiguá, e dista aproximadamente 450 km da capital do Estado, pela rodovia Washington Luis (SP-310), e aproximadamente 700 km de Brasília, pela Rodovia Transbrasiliana (BR-153).

A Fazenda São João, possui 2400 hectares e tem toda a área agricultável ocupada. Uma análise preliminar em dados de poços na região de estudos indica uma grande variação de vazões, que variam de 8 m³/h a 40 m³/h (Figura 1).

Figura 1: Localização da área de estudos com a distribuição de linhas de levantamento geofísico.



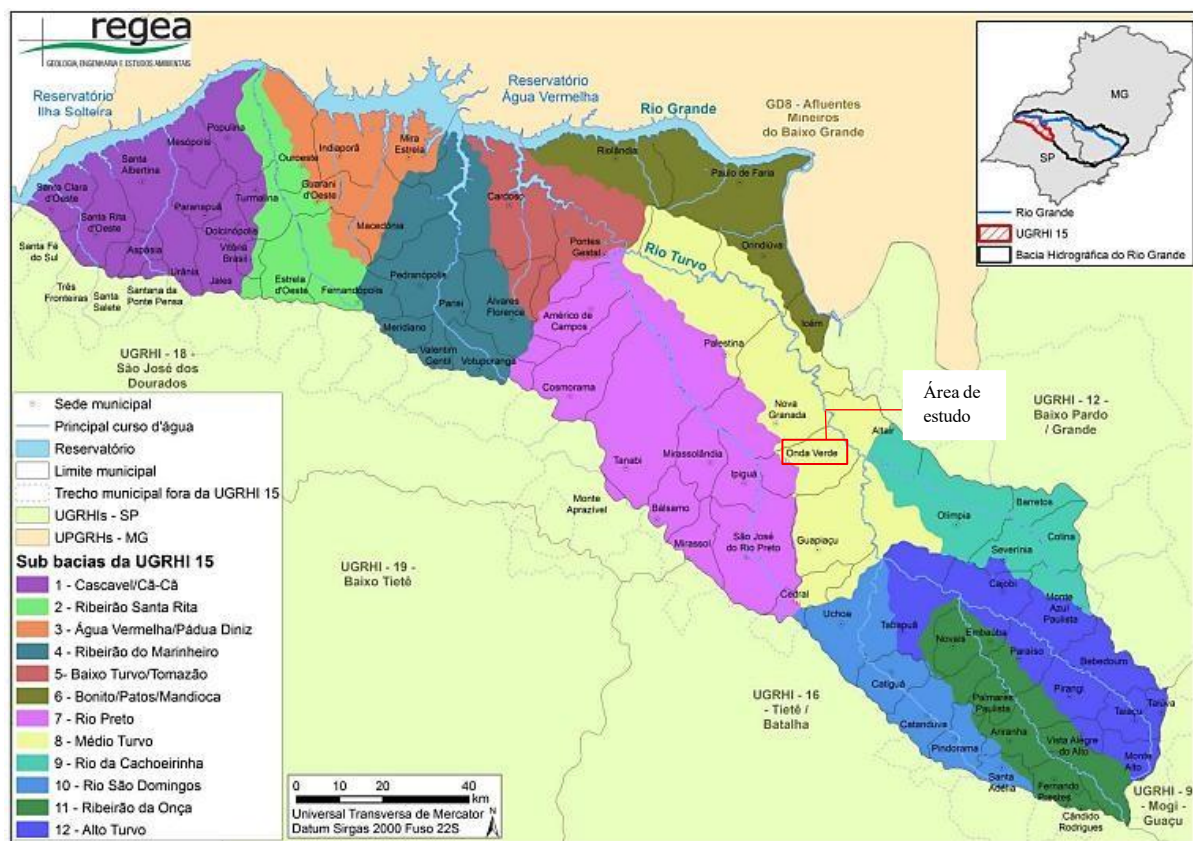
Os dados públicos disponíveis indicam a possibilidade de captação em aquífero sedimentar até 200 m de profundidade (Grupo Bauru), a partir da qual ocorrem derrames basálticos com espessura aproximada de 700 m. Em contrapartida, este aquífero sedimentar é caracterizado por variações faciológicas e ocorrência de intervalos argilosos/siltosos intercalados com camadas de arenitos.

Diante do exposto, este estudo visa reconhecer intervalos com predomínio de camadas de arenitos/siltitos em até 170 m de profundidade (limite de profundidade do instrumental geofísico), rochas aquíferas cuja espessura e continuidade lateral são diretamente proporcionais à capacidade de produção de água em poços profundos.

3.2. Bacia hidrográfica

O Município de Onda Verde está inserido na Sub-bacia do Rio Preto, que pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 15 (UGRHI-15) – Turvo/Grande (Figura 2). A UGRHI-15 possui aproximadamente 15.918 km² e é definida pela área drenada pela Bacia Hidrográfica do Rio Turvo e por seus afluentes, além das áreas que deságuam diretamente no Rio Grande, no trecho entre a Usina Hidrelétrica de Marimbondo e a divisa com o Estado de Minas Gerais.

Figura 2: Mapa indicando a condição dos municípios quanto à inserção de sua área na UGRHI 15.



Fonte: REGEA (2017).

A UGRHI-15 limita ao norte pelo Estado de Minas Gerais (Rio Grande), a leste pela UGRHI-12 – Baixo Pardo/Grande, e ao sul e sudeste pela UGRHI-09 – Mogi-Guaçu. O Rio Preto constitui uma de suas principais sub-bacias, e engloba diversos municípios da região, incluindo Onda Verde.

O município está localizado na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Preto e tem como principais afluentes o Ribeirão do Sotero, o Córrego dos Castores e o Ribeirão São João.

3.3. Geomorfologia

A área do município de Onda Verde está inserida no Planalto Ocidental, caracterizado por apresentar topografia suave, relevo ondulado, de feições amplas e relativamente uniformes, conforme descrito por IPT (1999), Lima (2004), Oliveira (1999), Arid (1966), Arid *et al.*, (1970), Barcha *et al.*, (1973) e Barcha (1980).

Na região, predominam as formas de colinas amplas e colinas médias, típicas do noroeste paulista (IPT, 1999). As colinas amplas ocupam grande parte das áreas drenadas em direção ao Rio Grande, apresentam interflúvios superiores a 4 km², topos extensos e suavemente aplainados, e vertentes de perfis retilíneos a convexos. A drenagem é de baixa densidade, com padrão subdendrítico (IPT, 1999; Lima, 2004; Oliveira, 1999).

Nas porções onde estão os interflúvios e cabeceiras da Sub-bacia do Rio Preto, ocorrem colinas médias, com interflúvios que variam entre 1 e 4 km², topos aplainados e drenagem de baixa a média densidade. Nessas áreas, os vales apresentam entalhamentos inferiores a 20 m e distâncias interfluviais predominantes entre 1.750 e 3.750 m, o que reflete um relevo suavemente dissecado.

A altitude do município varia aproximadamente entre 430 e 590 m, presente no intervalo altimétrico de 400 a 700 m característico do Planalto Ocidental Paulista. As declividades médias das vertentes estão entre 2% e 10%, compatíveis com o padrão de relevo ondulado suave predominante na região.

3.4. Climatologia

O clima do município de Onda Verde é, de acordo com a classificação de Köppen Aw, caracterizado como tropical com estação seca no inverno, verões quentes e chuvosos. A temperatura média anual varia de 21.9° C a 24° C, com máximas superiores a 30° C nos meses de outubro a março e mínimas entre 12° C e 15° C nos meses de junho a agosto.

A precipitação média anual para o estado de São Paulo é de aproximadamente 1543 mm, com grande parte desse volume concentrada entre os meses de outubro e março e uma escassez acentuada durante os meses de abril a setembro. No município de Onda Verde, a precipitação média anual está na faixa de 1200 a 1400 mm, a estação chuvosa concentra 85% do total anual, enquanto a seca apenas 15%.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região está inserida no contexto da Bacia do Paraná, uma bacia intracratônica desenvolvida sobre a Plataforma Sul-Americana e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas que variam do Paleozoico ao Cretáceo (ZALÁN *et al.*, 1990).

As rochas basálticas resultam de um intenso vulcanismo Serra Geral que ocorreu no Período Cretáceo, entre 137 e 127 milhões de anos, quando na Bacia do Paraná ainda predominavam condições desérticas, seguidas por perturbações tectônicas que provocaram arqueamentos e soerguimentos nas suas bordas, relacionados a grande quantidade de falhas, responsáveis pela estrutura atual da bacia.

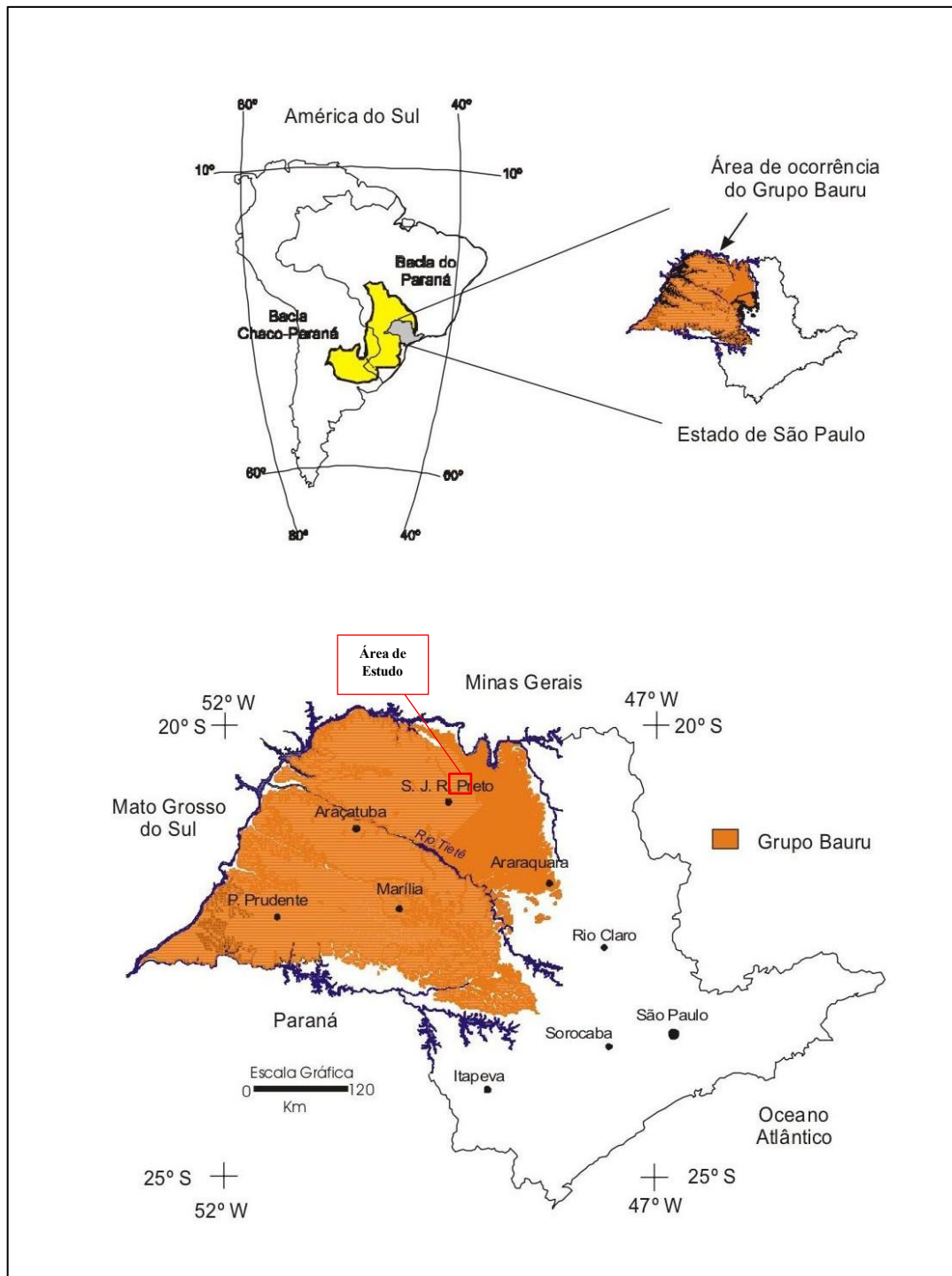
Nesta região instalou o Grupo Bauru no Cretáceo Superior (SOARES *et al.*, 1980), que está presente em grande parte do estado de São Paulo, e recobre as lavas basálticas do Planalto Ocidental.

4.1. Grupo Bauru

As unidades sedimentares cretáceas que recobrem os basaltos da Bacia do Paraná e integram o Grupo Bauru são formadas predominantemente por depósitos siliciclásticos de origem continental, acumulados na porção centro-sul da Plataforma Sul-Americana. Esses sedimentos ocupam cerca de 117.000 km² apenas no Estado de São Paulo (Figura 3), o que representa quase metade de seu território, e fazem parte de um conjunto maior que possui aproximadamente 370.000 km², que abrange área do Triângulo Mineiro, noroeste do Paraná, sudeste de Mato Grosso do Sul e sul de Goiás. No contexto paulista, o Grupo Bauru predomina sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral, embora, em áreas específicas como Bauru e Agudos, também ocorra sobre as formações Botucatu e Pirambóia (SUGUIO *et al.*, 1977; PAULA e SILVA & CAVAGUTI, 1994).

A sedimentação desse grupo ocorreu em duas fases distintas: a primeira sob condições essencialmente desérticas, que gerou depósitos de lençóis arenosos secos associados a dunas eólicas e interdunas úmidas, e a segunda sob clima semiárido, caracterizada pela atuação de sistemas fluviais, leques aluviais e ambientes pantanosos interiores mais desenvolvidos (FERNANDES, 1998).

Figura 3: Mapa de distribuição do Grupo Bauru no estado de São Paulo.



Fonte: modificado de PAULA e SILVA (2003).

4.2. Formação Adamantina

A Formação Adamantina é a de maior ocorrência em área na bacia Bauru, definida por Fernandes & Coimbra (2000), que corresponde a grande parte da denominada Formação Adamantina de Soares *et al.* (1980).

É composta predominantemente por arenitos finos a muito finos, de coloração rósea a castanho-avermelhada, geralmente maciços ou exibindo laminação plano-paralela e estratificação cruzada de pequena escala. Subordinadamente, ocorrem camadas de lamitos e siltitos avermelhados, tabulares e de espessura variável, que estão intercalados aos corpos arenosos (SOARES et al., 1980; FERNANDES; COIMBRA, 2000).

Os sedimentos desta Formação apresentam espessura preservada e bastante regular de aproximadamente 100 m, obtida em poços perfurados para água subterrânea, com indicação de espessuras de 154 m e 170 m, em Potirendaba e Rancharia, respectivamente, ambas no Estado de São Paulo (Fernandes & Coimbra, 2000).

Depósitos em fining-upward, típicos de canais fluviais meandrantos e planícies de inundação, são comuns e indicam regimes hidrodinâmicos variáveis ao longo do tempo (PAULA E SILVA, 2003). A presença de níveis com maior teor de argila, óxidos de ferro e, em alguns casos, cimento carbonático, confere heterogeneidade ao pacote sedimentar, interferindo diretamente na permeabilidade do aquífero.

O contato entre a Formação Adamantina e a Formação Serra Geral é discordante, do tipo abrupto e erosivo. O contato superior com a Formação Marília ocorre de forma abrupta.

4.3. Formação Serra Geral

A formação Serra Geral, de idade Cretácea, compreende uma extensa sequência de derrames vulcânicos, essencialmente basálticos, com ocorrência generalizada na Bacia do Paraná e alcançando espessuras máximas de até 1500 m. Originou a partir de um intenso episódio de vulcanismo fissural, que teve início ainda durante o regime desértico (SCHNEIDER *et al.*, 1974).

Esta formação consiste em lavas basálticas de composição toleítica e textura afanítica. Apresenta coloração de cinza-escura a preto, amígdalas no topo dos derrames, além de ser comum o desenvolvimento de juntas horizontais e verticais, associadas a diques e soleiras. São frequentes as lentes de arenitos e intertraps areníticos (SCHNEIDER *et al.*, 1974).

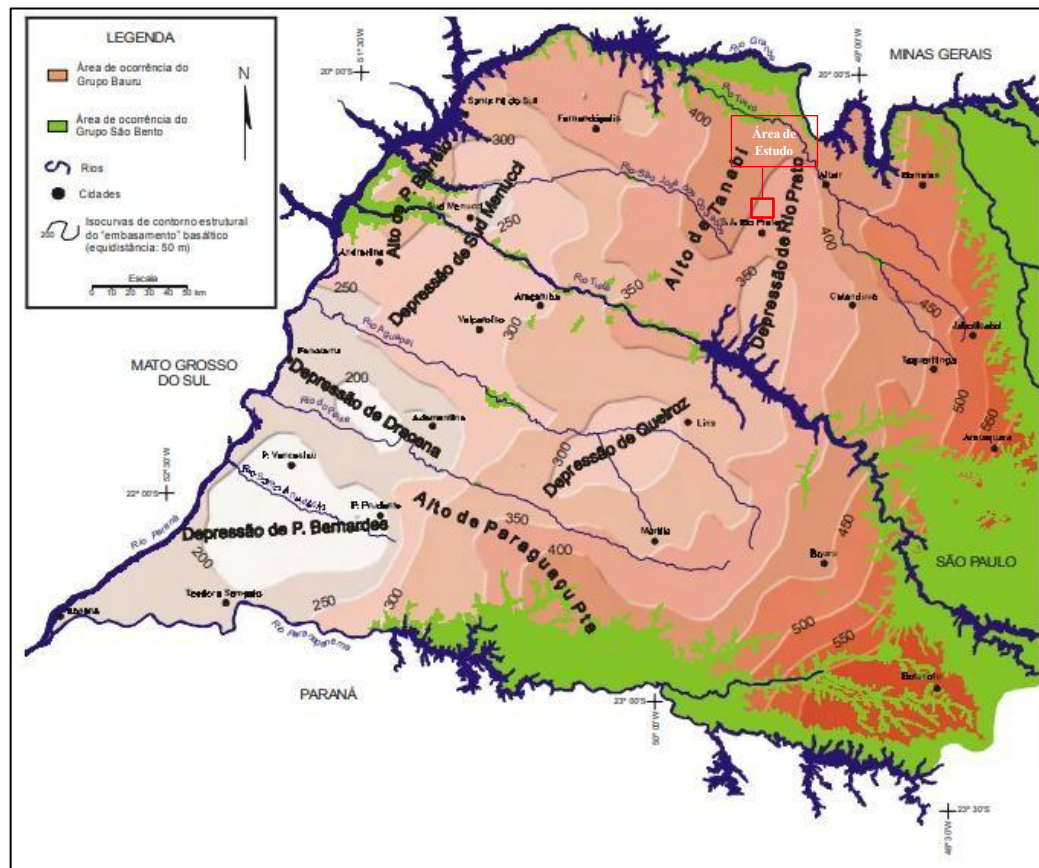
4.4. Geologia Estrutural

A configuração estrutural anterior à deposição do Grupo Bauru decorre do expressivo evento vulcânico que marcou o final da evolução da Bacia do Paraná. Entre 137 e 127 Ma, a ruptura do Gondwana e pela abertura do Atlântico Sul, no Jurássico-Cretáceo, desencadearam intenso vulcanismo fissural e geraram espessos derrames basálticos e uma densa rede de diques e soleiras (ZALÁN *et al.*, 1990). Esse evento tectônico foi responsável pela reativação de

Fonte: CAMPOS *et al.* (2000).

A região da área de estudos está inserida numa depressão nomeada como Depressão de Rio Preto (Figura 5), presente nos trabalhos de Santoro e Massoli (1985) e de Campos *et al.* (1992), retrata um embaciamento alongado na direção NNE, com mergulho suave para SSW, limitado ao norte pelo soerguimento dos basaltos em direção ao Rio Grande, a oeste pelo Alto de Tanabi, a leste por elevações do embasamento vulcânico e ao sul pela Depressão de Queiroz, que estende até as proximidades do Rio Tietê.

Figura 5: Localização da Depressão Rio Preto.



Fonte: PAULA e SILVA (2003).

5. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

O Sistema Aquífero Bauru ocupa aproximadamente 100.000 km² no Estado de São Paulo e apresenta espessuras médias que variam entre 100 e 150 metros, o que constitui um dos aquíferos mais importantes do território paulista devido ao amplo aproveitamento de suas águas subterrâneas (CAMPOS *et al.*, 2000).

As três unidades estratigráficas mais antigas do Grupo Bauru (Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina) constituem aquíferos distintos quando afloram separadamente, mas podem funcionar como um único sistema quando duas ou mais dessas formações são exploradas em conjunto (MENDONÇA e GUTIERRE, 2000). Cada um desses aquíferos apresenta propriedades hidrodinâmicas próprias, determinadas por sua composição litológica, pelas relações de contato entre as unidades e por suas espessuras. Quando o pacote sedimentar do Grupo Bauru está em contato direto com os basaltos fraturados da Formação Serra Geral, pode ocorrer transferência hidráulica entre o aquífero sedimentar e o meio ígneo, conforme o grau de fraturamento do basalto (MENDONÇA e GUTIERRE, 2000).

Na região, o Sistema Aquífero Bauru atua predominantemente como aquífero livre, sustenta a rede de drenagem superficial e tem como substrato impermeável os derrames basálticos da Formação Serra Geral. As características hidráulicas disponíveis para municípios próximos indicam permeabilidade moderada, atribuída ao teor relativamente elevado de silte e argila nos sedimentos da Formação Adamantina, com capacidades específicas que variam entre 0,5 e 1,2 m³/h/m, enquanto as vazões médias de poços tubulares profundos variam, em condições sem interferência, de 20 a 30 m³/h. A transmissividade, por sua vez, apresenta valores entre 10 e 100 m²/dia, com média regional em torno de 35 m²/dia (IPT, 1996).

O zoneamento regional do potencial hídrico do Sistema Aquífero Bauru, estabelecido por DAEE/IG/IPT/CPRM (2005) com base em dados de 676 poços selecionados, define cinco classes de vazão explorável para o Estado de São Paulo (Tabela 1). Segundo esse zoneamento, as vazões mais elevadas (> 80 m³/h) concentram-se no domínio das Formações Caiuá e Santo Anastácio, na porção oeste do Estado, onde predominam arenitos com baixo teor de matriz argilosa e alta transmissividade. Na área de ocorrência da Formação Adamantina, que corresponde à maior parte da região noroeste paulista, predominam as classes de vazão entre 10 e 80 m³/h, refletindo a heterogeneidade litológica característica dessa unidade, com intercalações de arenitos finos a muito finos, siltitos e lamitos (PAULA e SILVA, 2003).

Tabela 1: Faixas de vazão explorável indicadas para o Sistema Aquíferos Bauru no Estado de São Paulo.

Faixa de Vazão (m³/h)	Domínio Litológico Predominante
< 10	Bauru Médio/Superior (siltitos/argilitos)
10 - 40	Bauru Médio/Superior (arenitos finos com matriz argilosa)
40 - 80	Bauru Médio/Superior (arenitos finos a médios)
80 - 120	Bauru Inferior/ Caiuá (arenitos médios a grossos)
> 120	Bauru Inferior/ Caiuá (arenitos grossos)

Fonte: Adaptado de DAEE/IG/IPT/CPRM, (2005, p.38)

Os valores de transmissividade e vazão do Sistema Aquífero Bauru são diretamente influenciados pela litologia predominante. Em áreas com predomínio de arenitos finos a médios com baixo teor de argila, como na Formação Santo Anastácio e na porção basal da Formação Adamantina, as transmissividades podem atingir valores superiores a 200 m²/dia (IRITANI *et al.*, 2000). Por outro lado, em áreas com maior concentração de siltitos e argilitos, a transmissividade reduz significativamente, o que compromete a produtividade dos poços (PAULA e SILVA, 2003). Essa variação litológica é responsável pela heterogeneidade do aquífero.

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. Método Geofísico Da Eletorresistividade

O método da eletorresistividade tem como base o parâmetro físico da resistividade elétrica (ρ), que expressa a dificuldade que um material apresenta à passagem de corrente elétrica no seu interior. Os valores de resistividade elétrica, medidos em ohm.metro ($\Omega \cdot m$), são intrínsecos a cada material geológico e sofrem influência de fatores como composição mineralógica, porosidade e presença de fluidos. Como a maioria dos minerais formadores de rochas apresenta comportamento isolante, a condução elétrica no subsolo ocorre principalmente por meio da solução iônica que preenche os poros e as fraturas, o grau de fraturamento e a porosidade são os principais controladores da resistividade elétrica de uma rocha (MUSSET; KHAN, 2000).

A determinação da resistividade elétrica é realizada a partir da medição da diferença de potencial (ddp) gerada em subsuperfície, por meio da injeção de corrente elétrica no solo através de aterramento galvânico (KEAREY et al., 2002). As variações nos valores de ddp permitem identificar contrastes entre diferentes materiais presentes no subsolo.

Ao aplicar uma diferença de potencial, estabelece um campo elétrico no meio, o qual exerce força sobre as cargas elétricas presentes e promove seu deslocamento. Esse movimento ordenado de cargas caracteriza a corrente elétrica, definida pela relação matemática expressa na Equação (1).

$$\text{Equação 1: } i = \frac{dq}{dt}$$

Onde a corrente elétrica (i) é dada em *Ampère* (A), o número de carga (q) é dado em *Coulomb* e o tempo (t) é medido em segundos.

A relação entre corrente elétrica, diferença de potencial e resistência do meio é descrita pela Primeira Lei de Ohm, que estabelece que a diferença de potencial aplicada é diretamente proporcional à corrente elétrica que atravessa o material, conforme a Equação (2):

$$\text{Equação 2: } V = i R$$

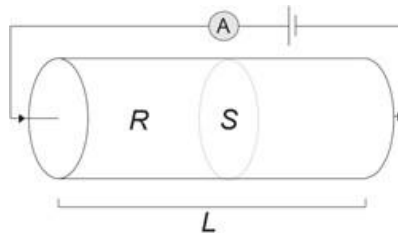
Nessa equação, a diferença de potencial (ddp) é dado em Volts (V), a corrente elétrica (i) é dada em *Ampère* (A), e a resistência do material (R) é dada em ohm (Ω).

A resistência elétrica de um material está associada às suas propriedades físicas e geométricas. Em um corpo cilíndrico homogêneo de comprimento L e área de seção transversal S (Figura 6), é possível definir a resistividade elétrica a partir da Segunda Lei de Ohm, expressa pela Equação (3) que estabelece a relação entre a resistência (R) e a resistividade elétrica (ρ).

$$\text{Equação 3: } \rho = R \frac{S}{L}$$

Onde ρ é a resistividade elétrica ($\Omega.m$), R é a resistência do material (Ω), S é a área de seção transversal em metros e L é o comprimento em metros.

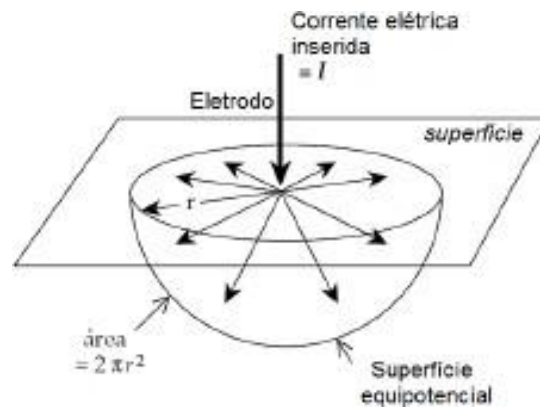
Figura 6: Circuito representativo da 2ª Lei de Ohm.



Fonte: Adaptado de Musset e Khan (2000).

A corrente elétrica aplicada em um ponto do solo cuja subsuperfície apresenta valor de resistividade constante, irá propagar em formato semisférico com superfícies equipotenciais concêntricas (Figura 7).

Figura 7: Linhas de corrente elétrica geradas após introdução em superfície.



Fonte: Modificado de Lowrie (2007).

Ao aplicar a Equação 4 no semi-espaco e relacionar com a primeira Lei de Ohm é obtida a Equação 4:

$$\text{Equação 4: } R = \frac{\rho}{2 \pi r} \rightarrow \rho = 2 \pi r \frac{V}{i}$$

Onde R é a resistência do material (Ω), ρ é a resistividade elétrica ($\Omega.m$), r é a distância entre o eletrodo e o ponto onde a ddp é medida e V é a ddp inserida em determinado ponto. Para melhor representatividade da análise são necessários dois eletrodos com certa distância entre si para aferição dos valores de ddp (Milson, 2003). Usualmente são utilizados quatro

eletrodos onde dois deles são utilizados para a medição da ddp , chamados de eletrodos de aquisição, e os outros dois eletrodos de corrente, utilizados para a propagação da corrente elétrica (Figura 8).

No meio geológico homogêneo e isotrópico a diferença de potencial entre os eletrodos M e N é representado por (Equação 5):

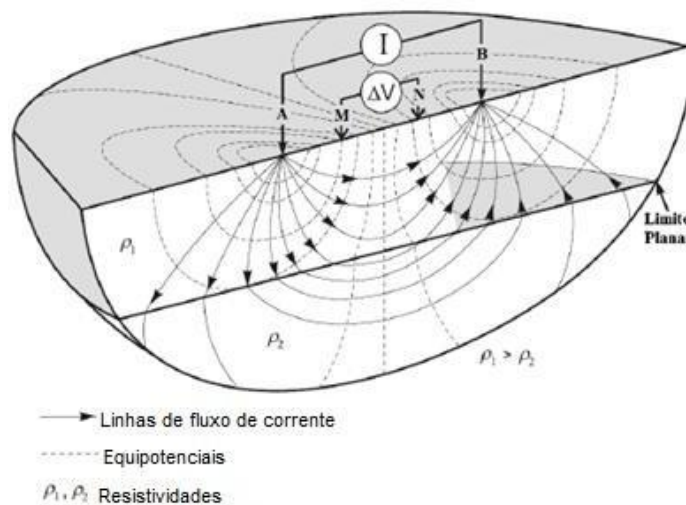
$$\text{Equação 5: } \Delta V_{MN} = \frac{\rho i}{2\pi} \left(\frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AM} \right)$$

As teorias apresentadas divergem da realidade, visto que o ambiente geológico é heterogêneo. Desta forma, a resistividade medida sofre influência pelo conjunto de materiais investigados e resulta na resistividade aparente (ρ_a) (Equação 6):

$$\text{Equação 6: } \rho_a = K \frac{\Delta V}{i}$$

Onde ρ_a é medido em $\Omega.m$, K é o coeficiente geométrico obtido em função da disposição dos eletrodos, V é a ddp (V) e i é a corrente elétrica (A).

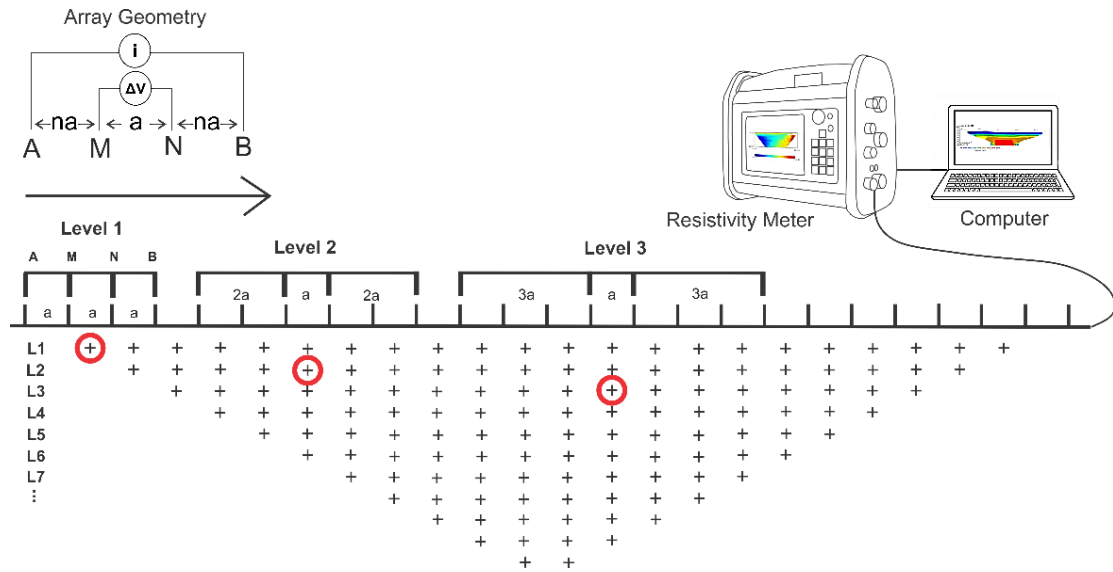
Figura 8: Configuração tetraédrica de eletrodos: A-B corrente e M-N tensão.



Fonte: Modificado de Knödel *et al* (2007).

Estudos geofísicos por aplicação do método da Eletrorresistividade, a partir da técnica de tomografia elétrica, que consiste em medidas de resistência elétrica do solo (injeção de corrente elétrica por um amperímetro e medida por um voltímetro do potencial elétrico gerado) por um sistema de cabos e sensores fixados no solo e dispostos em linha, que resulta numa investigação bidimensional (Figura 9, Figura 10).

Figura 9: Aquisição de dados geofísicos por meio de técnica de tomografia elétrica.



Fonte: Casagrande *et al.* (2021).

O produto de processamento dos dados permite a geração de modelos de inversão 2D (seção distância por profundidade) com variação da resistividade.

Figura 10: Aquisição de dados geofísicos por meio de técnica de tomografia elétrica. a) Detalhe do sistema de aterramento elétrico para aquisição de dados. b) Resistivímetro tomográfico ABEM Terrameter LS em operação; c) Linha de tomografia elétrica durante aquisição de dados.



O equipamento utilizado é o resistivímetro Terrameter LS (Figura 13b), fabricado pela ABEM Instrument (Suécia). Este equipamento consiste em um Resistivímetro tomográfico de última geração e opera com um módulo de transmissão e recepção de sinais pré-programado, com 84 canais, 250 W de potência, corrente máxima de 2,5 A e resolução de 1 μ V. Esse equipamento é calibrado para medidas de resistividade elétrica por meio de ciclos periódicos de corrente elétrica alternada e de baixa frequência, procedimento que permite a filtragem de ruídos do sinal adquirido. Sua densidade amostral é bastante superior quando comparado aos equipamentos convencionais, fator que resulta em dados altamente detalhados e confiáveis para estimativas de profundidade, espessura e continuidade lateral de camadas de solo, rocha, assim como camadas aquíferas rochas sedimentares e cristalinas.

6.2. Aquisição de Dados Geofísicos

A etapa de coleta de dados em campo ocorreu entre os dias 10 e 13 de março de 2025. Para a aquisição dos dados, foi utilizado o arranjo geoeletrico Schlumberger, configurado no equipamento Terrameter LS (ABEM). O espaçamento entre eletrodos adjacentes foi de 10 m, totalizando aproximadamente 830 m de extensão por linha, o que permitiu atingir a profundidade de investigação de até 170 m, conforme os modelos de inversão gerados. Este arranjo foi escolhido por oferecer elevada resolução vertical e boa relação sinal-ruído, além de possibilitar investigações em profundidades maiores e ter menor sensibilidade aos horizontes superficiais. Características essenciais para a caracterização de camadas sedimentares heterogêneas e para a distinção entre aquíferos e aquitardes em profundidades compatíveis com a perfuração de poços tubulares.

A proposta inicial compreendeu 7 linhas de tomografia elétrica (Figura 11), mas nesse período foram realizadas 8 linhas, com adicional de uma linha de referência ao lado de um poço com dados hidrogeológicos públicos (Figura 12).

Figura 11: Localização da área de estudos, com linhas de levantamento geofísico da proposta inicial.

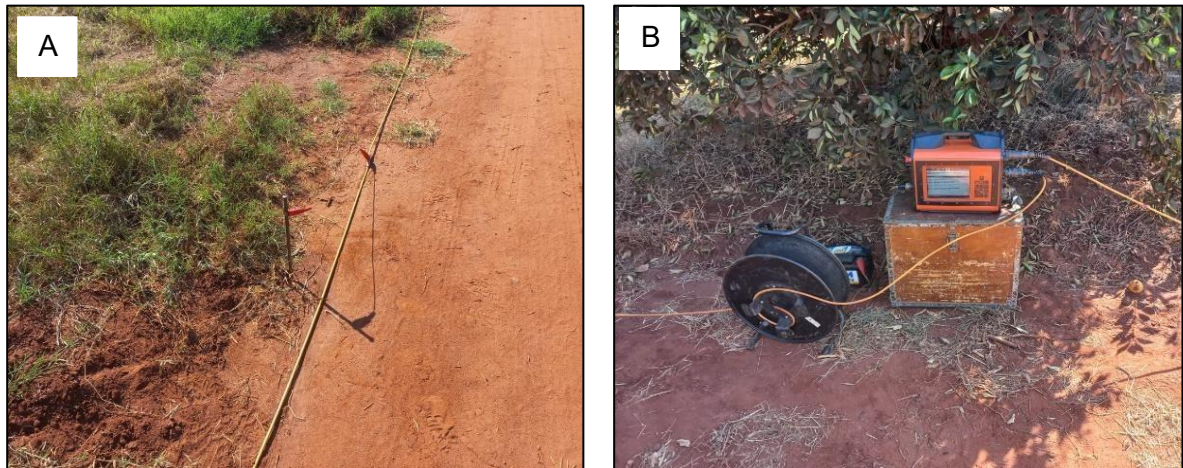


Figura 12: Localização da área de estudos, com linhas de levantamento geofísico realizadas.



Em cada linha foram dispostos e inseridos 84 eletrodos no solo (Figura 13a), que realizam a conexão de cabos para ocorrer a injeção de corrente elétrica e leituras de diferença de potencial do meio através do equipamento geofísico.

Figura 13: Etapa de coleta de dados em campo: A) Linha de aquisição de dados, B) Equipamento geofísico.



Os sensores foram georreferenciados por meio do sistema DGPS com precisão em campo de 1m, tanto para geolocalização quanto para medidas de altitude, posteriormente incorporadas em planilhas de dados para realizar a inversão dos dados geofísicos.

A densidade amostral é superior quando comparado aos equipamentos convencionais, o que resulta em dados detalhados para estimativas de profundidade, espessura e continuidade lateral. O processamento de dados foi realizado pelo programa RES2DINV (Geotomo software) para obter os modelos de inversão 2D por pseudo seções (distância por profundidade), representativos da subsuperfície.

6.3. Processamento dos dados

Os dados de tomografia elétrica foram tabelados em um editor de planilhas, juntamente com as coordenadas geográficas e altitude em cada ponto, e posteriormente processados no software RES2DINV (Geotomo - Malasia). Este programa determina um modelo 2D (bidimensional) da subsuperfície a partir de dados de imageamento elétrico, desenvolvido para interpolar grandes conjuntos de dados.

A distribuição e tamanho dos blocos são gerados automaticamente pelo programa conforme a distribuição dos pontos de dados. A profundidade da linha inferior dos blocos é aproximadamente igual à profundidade equivalente de investigação dos pontos com o maior espaçamento entre eletrodos (EDWARDS, 1977).

A sub-rotina de modelagem direta é usada para calcular os valores de resistividade aparente, por meio da técnica de otimização não linear por mínimos quadrados (DEGROOT-HEDLIN & CONSTABLE 1990, LOKE & BARKER, 1996). O resultado é apresentado sob a forma de seção com distância versus profundidade, denominada modelo de inversão.

7. RESULTADOS

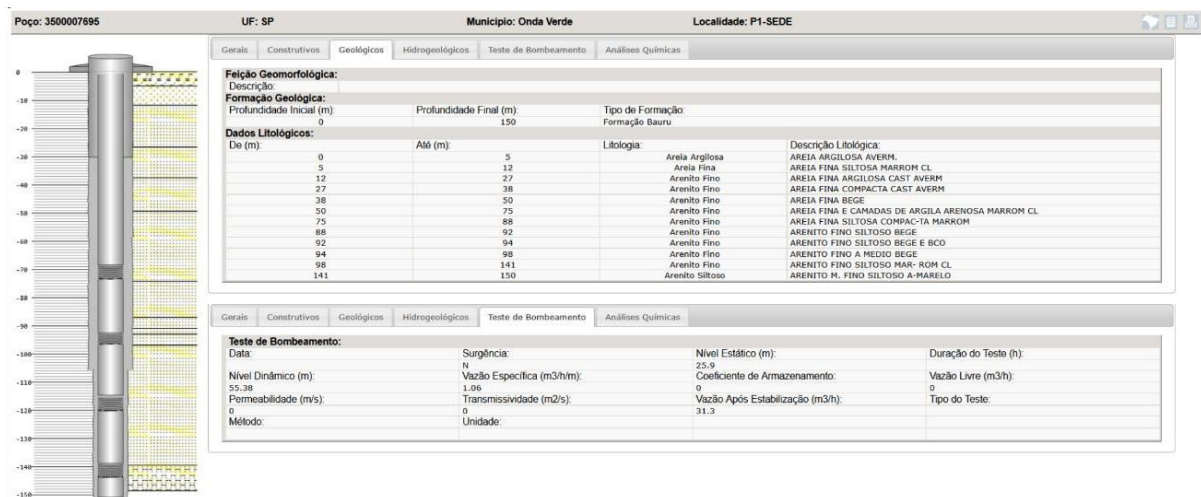
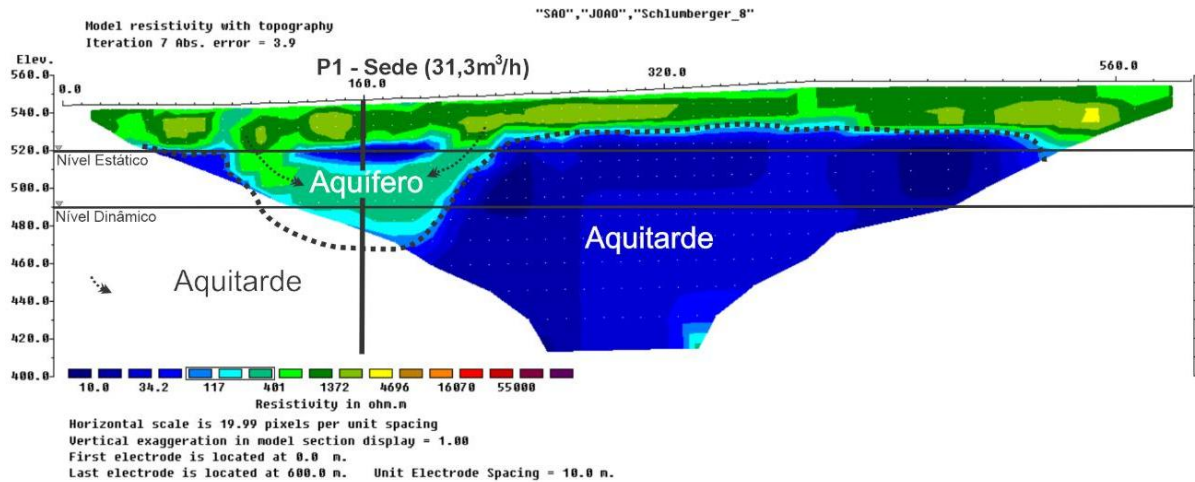
Diante da disponibilidade de poço em produção com dados hidrogeológicos de acesso público (via plataforma SIAGAS), localizado na entrada da fazenda por Onda Verde, foi possível realizar uma linha adicional ao lado deste poço, para reconhecimento dos valores de resistividade em camada aquífera produtora e posterior comparação com as demais linhas deste estudo.

Este poço é denominado “P1-Sede” na plataforma SIAGAS, com profundidade de 150 m, vazão de 31,3 m³/h, nível estático 25,9 m e nível dinâmico em 55,39 m de profundidade, e cruza variações de arenito fino. Tais variações são determinantes na produção do aquífero, ou seja, quanto maior o conteúdo de argilominerais menor a vazão (menor transmissividade, significa menor resistividade, com valor inferior a 50 Ω .m) e quanto menor o conteúdo de argilominerais maior a vazão (maior transmissividade, com o ideal entre 50 Ω .m e 400 Ω .m).

Linha 8

A linha 8 foi posicionada próxima do poço “P1-Sede”, cuja projeção corresponde à posição 160 m do início da linha. Esta seção é caracterizada por uma ampla faixa com baixos valores de resistividade inferiores a 50 Ω .m, interpretada como siltito completamente saturado, o que representa um aquitarde, área pouco indicada para captação de água subterrânea devido à baixa transmissividade. No intervalo entre 80 m e 240 m da seção ocorre uma faixa com valores de resistividade entre 50 Ω .m e 400 Ω .m, indicativa de aquífero promissor, onde coincidentemente foi perfurado em sua porção central (Figura 14). Os dados hidrogeológicos indicam nível estático a 25,9 m e nível dinâmico a 55,38 m, horizonte de oscilação do aquífero em fase de bombeamento em uma camada com cerca de 40 m de espessura, que corresponde a camada de maior resistividade (cerca de 400 Ω .m) e a uma vazão de 31,3 m³/h.

Figura 14: Modelo de inversão da Linha 8 - referência, com destaque para intervalo aquífero e dados hidrogeológicos.



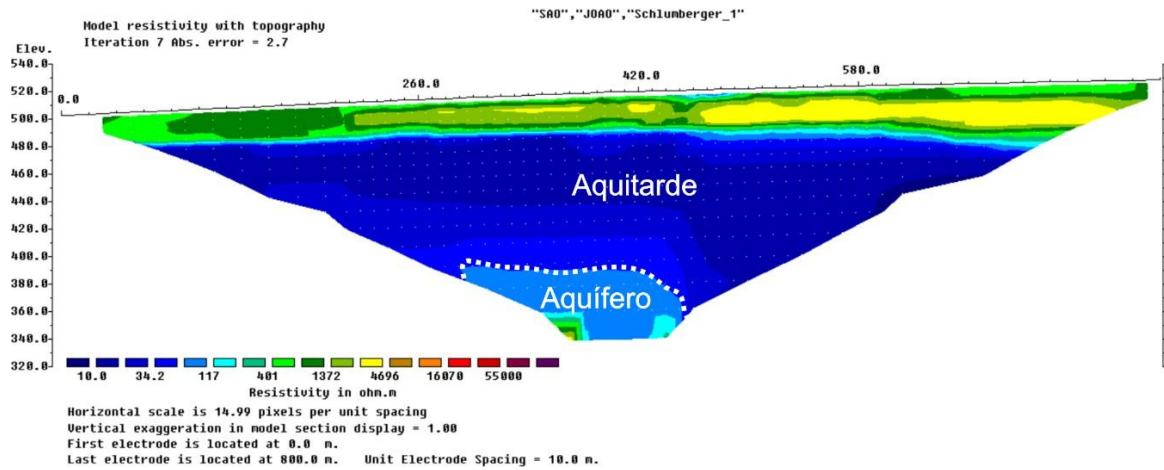
Linha 1

A linha 1 foi iniciada próxima a uma nascente e seguiu para montante da vertente. Esta seção (Figura 15) é caracterizada por uma ampla faixa de baixa resistividade, com valores inferiores a 50 $\Omega.m$, dos 20 m até 100 m de profundidade, indicativo de arenitos silteosos e siltitos que caracterizam um aquitarde, área pouco indicada para captação de água subterrânea devido à sua baixa transmissividade. Existe um intervalo central iniciado a 100 m de profundidade e contínuo até 170 m, com valores de resistividade entre 50 $\Omega.m$ e 120 $\Omega.m$, indicativo de camada aquífera com espessura mínima de 100 m. A formação Adamantina pode atingir até 200 m de espessura na região de estudos, portanto é possível que esta camada aquífera atinja 100 m de espessura.

O valor médio de 120 $\Omega.m$ é inferior ao caracterizado no poço “P1-Sede” (cerca de 400 $\Omega.m$ em 40 m de camada aquífera), o que indica maior conteúdo de argilominerais. Entretanto, a maior espessura (até 100 m) compensa a menor transmissividade e permite estimar uma vazão

em torno de 30 m³/h para um poço perfurado no centro da linha, até o contato entre a Formação Adamantina e a Formação Serra Geral (cerca de 200 m de profundidade).

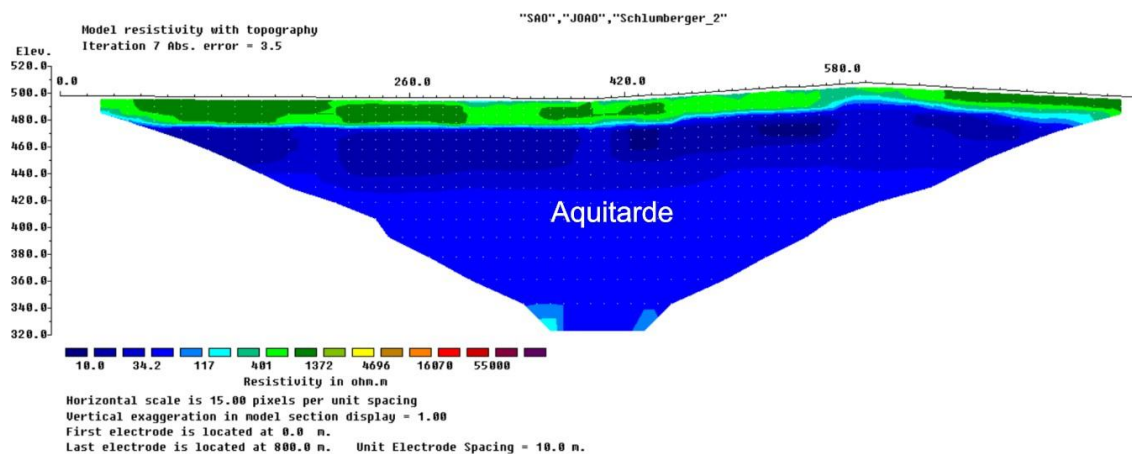
Figura 15: Modelo de inversão da Linha 1, com destaque para intervalo aquífero.



Linha 2

A linha 2 segue um traçado num interflúvio, acima de duas nascentes. Esta seção (Figura 16) é caracterizada por uma ampla faixa de baixa resistividade, com valores inferiores a 50 Ω .m, dos 20 m até 170 m de profundidade, indicativa de arenitos siltosos e siltitos, que caracterizam um aquitarde, área pouco indicada para captação de água subterrânea devido à baixa transmissividade. O horizonte aflorante com espessura média de 20 m apresenta valores médios de resistividade em torno de 400 Ω .m, indicativo de solo/saprolito saturado e um aquífero livre, mas muito susceptível a sazonalidades climáticas e pouco relevante para projetos de irrigação.

Figura 16: Modelo de inversão da Linha 2, com destaque para intervalo aquífero.

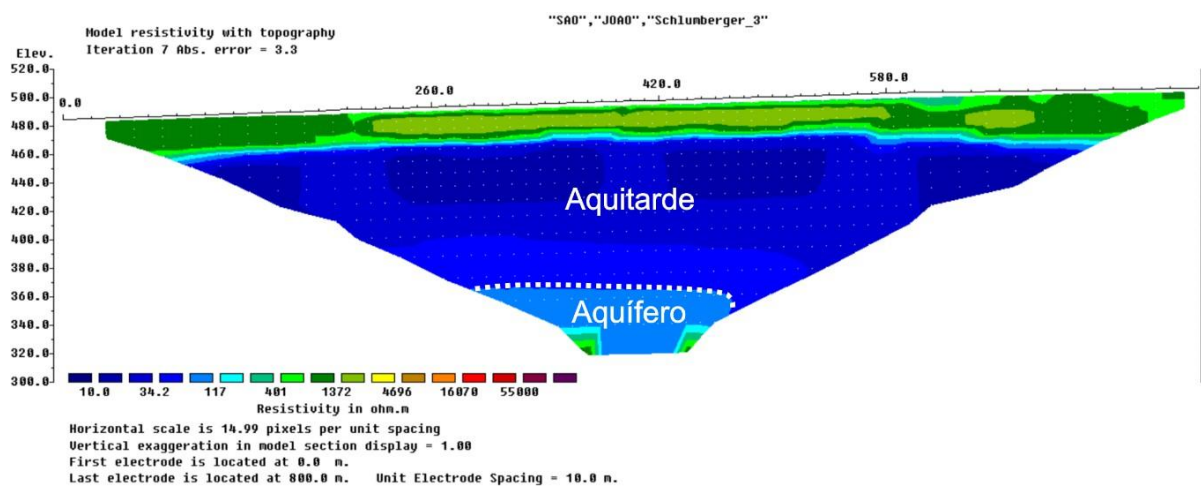


Linha 3

A linha 3 foi iniciada próxima a uma mata ciliar e seguiu para montante da vertente. A seção (Figura 17) é semelhante à linha 1 e contém uma ampla faixa de baixa resistividade ($50 \Omega.m$) dos 20 m até 120 m de profundidade, indicativa de arenitos siltosos e siltitos que caracterizam um aquítarde, que não é uma área indicada para captação de água subterrânea. Há um intervalo central entre 100 m até 170 m de profundidade, com valores de resistividade entre $50 \Omega.m$ e $120 \Omega.m$, característica da presença de uma camada aquífera com espessura mínima de 100 m.

O valor médio de $120 \Omega.m$ é inferior ao caracterizado no poço “P1-Sede” (cerca de $400 \Omega.m$ em 40 m de camada aquífera), o que indica maior conteúdo de argilominerais. Entretanto, nesse caso a camada aquífera pode chegar a 80 m de espessura, o que compensa a menor transmissividade e permite estimar uma vazão máxima em torno de $25 m^3/h$ para um poço perfurado no centro da linha, até o contato entre a Formação Adamantina e a Formação Serra Geral (cerca de 200 m de profundidade).

Figura 17: Modelo de inversão da Linha 3, com destaque para intervalo aquífero.



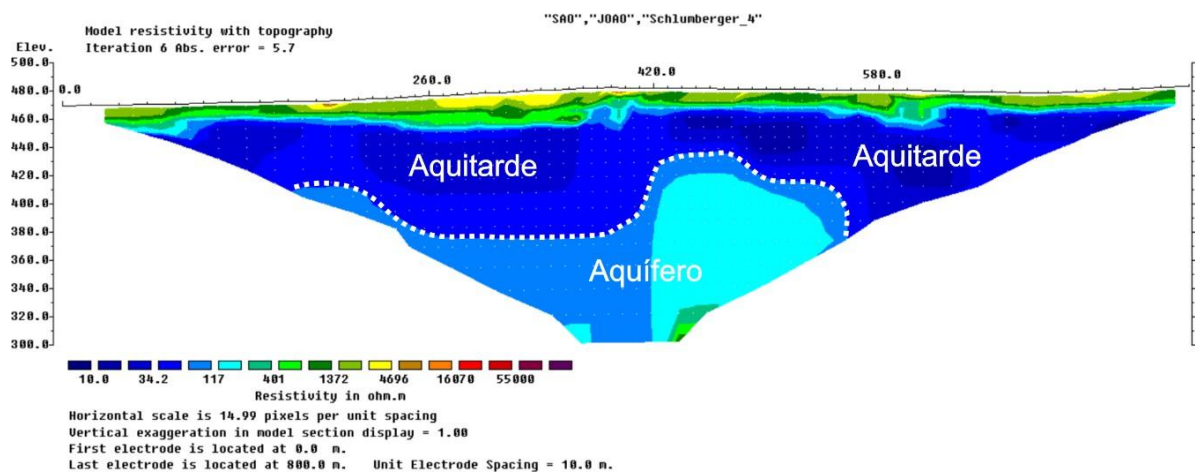
Linha 4

A linha 4 foi traçada no limite entre o terreno agricultável e mata ciliar escarpada. Esta seção (Figura 18) apresenta uma ampla faixa de baixa resistividade (menores que $50 \Omega.m$), com espessura variável entre 40 m e 80 m, indicativa de arenitos siltosos e siltitos que caracterizam um aquítarde, área não indicada para captação de água subterrânea devido à baixa transmissividade. Sotoposta a essa camada ocorre outra camada lateralmente contínua até 170m de profundidade, com valores de resistividade entre $50 \Omega.m$ e $120 \Omega.m$ e caracteriza um

aquífero com espessura entre 90 m e 130 m. A formação Adamantina pode atingir até 200m de espessura na região de estudos, portanto, é possível esta camada aquífera atinja até 150m de espessura.

O valor médio de $120 \Omega.m$, embora inferior ao do poço de referência, é compensado por ter uma maior espessura, onde a camada aquífera pode chegar a 150 m. A vazão máxima estimada está em torno de $45 \text{ m}^3/h$ para um poço perfurado entre 420 m e 500 m do início da linha, posição de maior espessura da camada aquífera, até o contato com a Formação Adamantina e Formação Serra Geral (cerca de 200 m de profundidade).

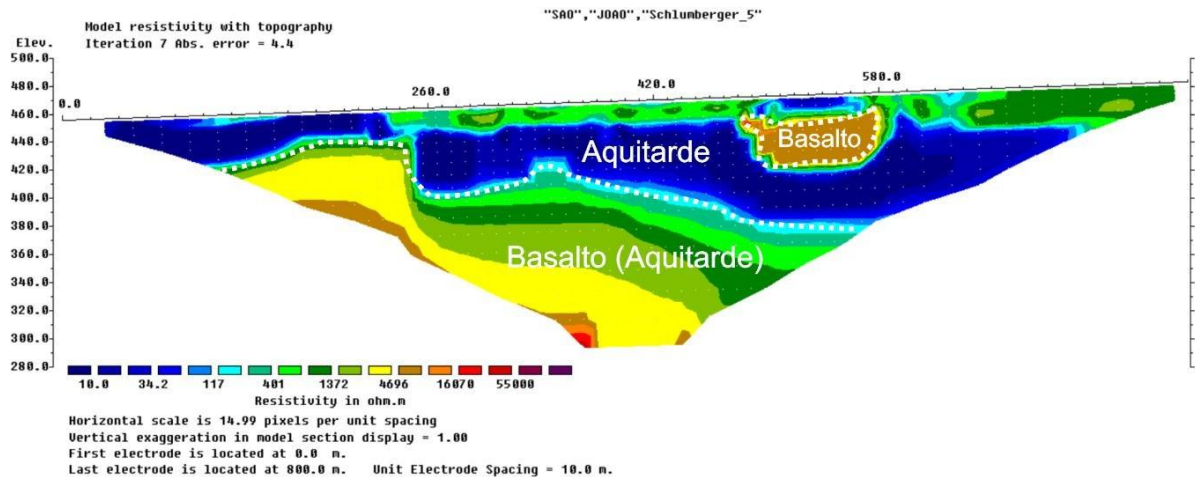
Figura 18: Modelo de inversão da Linha 4, com destaque para intervalo aquífero.



Linha 5

A linha 5 foi iniciada próximo a uma mata ciliar e seguiu para montante da vertente. Esta seção (Figura 19) é caracterizada por faixa relativamente restrita de baixa resistividade, com valores inferiores a $50 \Omega.m$, aflorante desde o início da linha até a 240 m e em profundidade com espessura entre 40 m e 80 m, indicativa de arenitos siltsos e siltitos, que caracterizam um aquítarde. Abaixo desta camada ocorre uma ampla camada com resistividade entre $400 \Omega.m$ e $55.000 \Omega.m$, interpretada como basalto parcialmente saturado nos primeiros 50 m e crescentemente seco com o aumento da profundidade, elementos esses que indicam uma rocha aquítarde pouco favorável para instalação de poços.

Figura 19: Modelo de inversão da Linha 5, com destaque para intervalo aquífero.

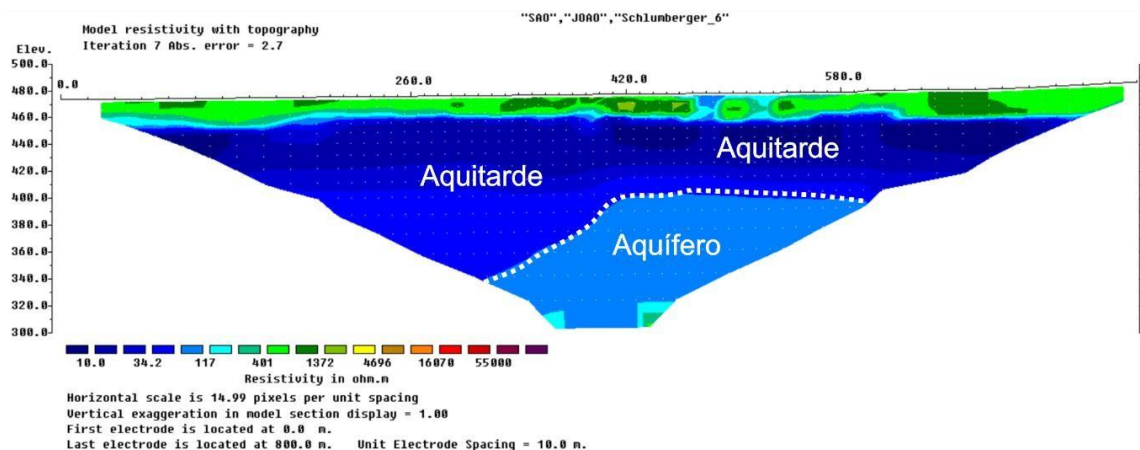


Linha 6

A linha 6 foi iniciada próximo a uma mata ciliar e seguiu para montante da vertente. A seção (Figura 20) mostra uma ampla faixa de baixa resistividade, com valores inferiores a 50 $\Omega.m$, dos 20 m até 130 m de profundidade, indicativo de arenitos siltosos e siltitos que caracterizam um aquitarde. Sotoposta a esta camada ocorrem valores de resistividade entre 50 $\Omega.m$ e 120 $\Omega.m$, indicativos de camada aquífera com espessura entre 40 m e 100 m. A formação Adamantina pode atingir até 200 m de espessura na região de estudos, portanto, é possível que esta camada aquífera atinja 100 m de espessura.

O valor médio de 120 $\Omega.m$ é inferior ao do poço referência, mas a espessura da camada aquífera pode chegar a 130 m, fator que compensa a menor transmissividade e permite estimar vazão máxima em torno de 40 m^3/h para um poço perfurado entre 480 m e 600 m do início da linha, até o contato entre a Formação Adamantina com a Formação Serra Geral (cerca de 200 m de profundidade).

Figura 20: Modelo de inversão da Linha 6, com destaque para intervalo aquífero.

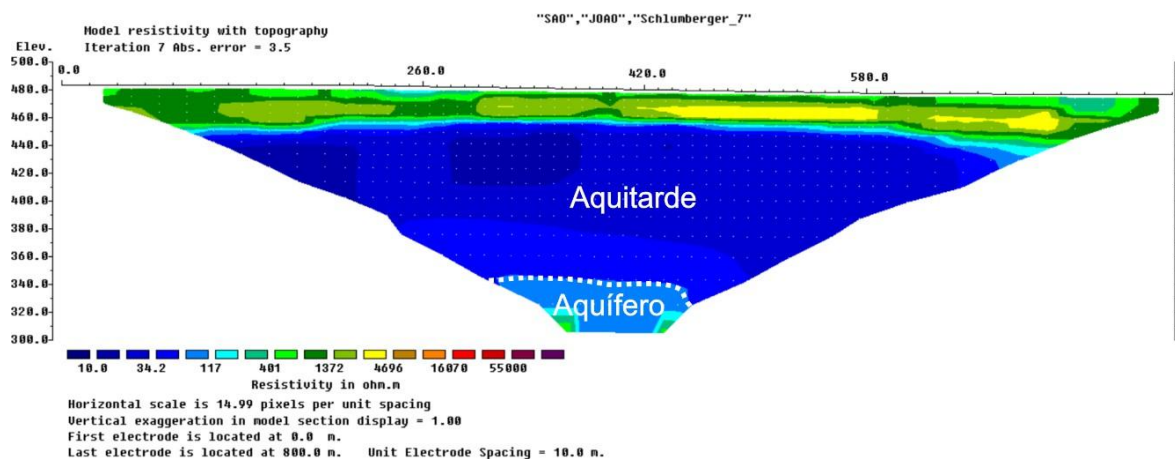


Linha 7

A linha 7 foi iniciada próximo a uma mata ciliar e seguiu para montante da vertente. A seção (Figura 21) exhibe uma ampla faixa de baixa resistividade (inferior a $50 \Omega.m$), dos 20 m a 140 m de profundidade e caracteriza arenitos siltosos e siltitos que indicam um aquítarde. Sotoposta a esta camada ocorrem valores de resistividade entre $50 \Omega.m$ e $120 \Omega.m$, indicativos de camada aquífera com espessura de 40 m, onde é possível que esta camada aquífera atinja 70 m de espessura.

O valor médio de $120 \Omega.m$ é inferior ao do poço referência, mas a espessura da camada aquífera pode chegar até 70 m, fator que compensa a menor transmissividade e permite estimar vazão máxima em torno de $15 m^3/h$ para um poço perfurado no centro da linha, até o contato entre Formação Adamantina e Formação Serra Geral (cerca de 200 m de profundidade).

Figura 21: Modelo de inversão da Linha 7, com destaque para intervalo aquífero.



Com base nas descrições individuais de cada linha de tomografia elétrica, a Tabela 2 sintetiza os principais parâmetros hidrogeofísicos obtidos para as oito seções investigadas na Fazenda São João. Para cada linha, são apresentados: a faixa de resistividade elétrica associada às zonas aquíferas, a espessura estimada da camada saturada com potencial produtivo, a vazão máxima estimada com base na correlação com o poço de referência (P1-Sede) e a recomendação final quanto ao potencial aquífero local. A linha 8, posicionada junto ao poço P1-Sede, serviu como calibração para a interpretação das demais linhas, estabelecendo a relação entre resistividade (cerca de $400 \Omega.m$) e vazão ($31,3 m^3/h$) para arenitos finos saturados. A partir dessa síntese, é possível comparar diretamente o potencial aquífero das diferentes áreas da propriedade e identificar aquelas mais promissoras

Tabela 2: Síntese dos parâmetros hidrogeofísicos e potencial aquífero estimado para as linhas de tomografia elétrica na Fazenda São João (Onda Verde/SP).

Linha	Resistividade ($\Omega \cdot m$)	Espessura da camada aquífera (m)	Vazão estimada (m³/h)	Potencial
L 1	50-120	100	30	Intermediário
L 2	< 50	-	-	Aquitarde
L 3	50-120	80	25	Intermediário
L 4	50-120	150	45	Alto
L 5	> 400	-	-	Basalto seco (aquitarde)
L 6	50-120	130	40	Alto
L 7	50-120	70	15	Intermediário
L 8	50-400	40	31,3	Referência

8. DISCUSSÃO

A faixa de resistividade ideal para aquíferos é de 60 $\Omega.m$ a 400 $\Omega.m$ em unidades sedimentares, associada a maior espessura possível da camada aquífera. A Tabela 2, apresentada ao final do item 7, consolida os parâmetros hidrogeofísicos obtidos para cada linha e serve como base para a discussão integrada dos resultados.

Na fazenda São João foi possível realizar uma linha geofísica de calibração em um poço produtivo com dados hidrogeológicos de acesso público, com 150 metros de profundidade e inserido totalmente em arenito fino, que apresenta vazão de 31,3 m³/h, com intervalo aquífero de cerca de 40 m de espessura e resistividade predominante de 400 $\Omega.m$. Essas informações foram essenciais para análises e recomendações para as áreas estudadas.

As linhas 1, 3 e 7 apresentaram um padrão semelhante, caracterizado por uma espessa camada com resistividade inferior a 50 $\Omega.m$ (aquitarde) sobreposta a camadas com resistividade entre 50 $\Omega.m$ e 120 $\Omega.m$ (aquífero), cuja continuidade e espessura máxima potencial (contato Fm. Adamantina com Serra Geral), pode resultar em poços com vazões estimadas entre 30,3m³/h 25m³/h e 15m³/h respectivamente.

Enquanto as linhas 4 e 6 apresentaram os intervalos aquíferos mais promissores em termos de resistividade e espessura, com possibilidade de 45 m³/h em 150 m de espessura de camada aquífera para a linha 4 e 40 m³/h em 130 m de espessura de camada aquífera para a linha 6.

As linhas 2 e 5 revelaram predominantemente arenitos siltsos e basalto seco, rochas desfavoráveis para captação de água subterrânea num contexto de elevadas vazões demandadas para sistemas de irrigação. (Figura 16).

Figura 22: Pontos recomendados para perfuração de poços até 200m de profundidade, com projeção de cones de rebaixamento em superfície e recomendação de prioridade baseado no potencial aquífero local.



O contraste entre áreas com intervalos aquíferos espessos e dominância de aquitarde revela a ampla heterogeneidade aquífera na área da Fazenda São João, ou seja, variações litológicas subterrâneas e passíveis de reconhecimento por estudos geofísicos ou perfurações. A seleção de áreas aquíferas favoráveis, aliada à correlação com os dados do poço produtivo, viabilizou estimativas de vazões com razoável precisão, que poderão ser confirmadas em futuras perfurações. Esta mesma correlação permitiu discriminar áreas desfavoráveis e economia de recursos financeiros com poços de baixa produção, ao menos no âmbito das áreas estudadas.

As linhas realizadas neste estudo foram propostas pela equipe de engenheiros da Citrosuco, essencialmente nas vertentes do vale fluvial central da propriedade, em posições de baixa altitude (abaixo de 500 m). Este estudo cobriu apenas parte da propriedade em linhas com equidistância média de 1500 m.

Diante das dimensões da Fazenda, variações hidrogeológicas substanciais e áreas com vazões interessantes para poços rasos e relativamente baratos (cerca de 200 m de profundidade), recomendamos estudos geofísicos adicionais, com a mesma equidistância de linhas para áreas não recobertas, principalmente em posições de maior altitude. A propriedade possui áreas

expressivas em altitudes entre 500 m e 550 m. Um incremento de 30 m a 50 m de espessura numa camada aquífera resultará num proporcional incremento de vazão, para camadas com resistividade entre 50 Ω .m e 400 Ω .m, com custo de perfuração pouco superior em relação as áreas topograficamente baixas.

9. CONCLUSÃO

O diagnóstico hidrogeofísico realizado na Fazenda São João no município de Onda Verde/SP por meio do método da eletrorresistividade permitiu caracterizar a heterogeneidade do Sistema Aquífero Bauru na área de estudo. A linha 8 junto ao poço P1-Sede estabeleceu a relação entre resistividade elétrica ($400 \Omega \cdot m$) e vazão ($31,3 \text{ m}^3/h$) para arenitos finos saturados, usada como referência para as demais áreas.

As linhas 4 e 6 foram destacadas como as mais promissoras, com espessuras aquíferas estimadas entre 130 m e 150 m e resistividade elétrica na faixa de $50 \Omega \cdot m$ e $120 \Omega \cdot m$, o que indica potencial para vazões de 40 a $45 \text{ m}^3/h$. As linhas 1, 3 e 7 apresentam potencial intermediário entre $15 \text{ m}^3/h$ e $30 \text{ m}^3/h$, enquanto as linhas 2 e 5 revelaram condições desfavoráveis (aquitarde siltoso e basalto seco), não recomendadas para captação com fins de irrigação de larga escala.

Dessa forma é recomendada a perfuração de poços tubulares até o contato com a Formação Serra Geral (aproximadamente 200 m) prioritariamente nas posições centrais das linhas 4 e 6, bem como a realização de estudos geofísicos complementares nas áreas de maior altitude (entre 500 m e 550 m) da fazenda, onde o aumento da espessura aquífera pode elevar ainda mais as vazões. Os resultados demonstram que a integração de métodos geofísicos com dados hidrogeológicos de poços existentes é fundamental para reduzir incertezas e otimizar investimentos em captação de água subterrânea no noroeste Paulista.

REFERÊNCIAS

- ABEM. 2012. Terrameter LS – Instruction manual. ABEM Instrument AB, Sundbyberg, 122 p.
- ARID, F. M. A Formação Bauru na Região Norte-Occidental do Estado de São Paulo. 1966. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, São José do Rio Preto (SP), 93 p.
- ARID, F. M.; CASTRO, P. R. M.; BARÇA, S. F. Estudos hidrogeológicos no Município de São José do Rio Preto (SP). Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, v. 19, n. 1, p. 43-69, 1970.
- BARÇA, S. F.; ARID, F. M. Água subterrânea na Formação Bauru, Região Norte-Occidental do Estado de São Paulo. Boletim de Ciências, n. 1, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, São José do Rio Preto (SP), p. 68-101, 1973.
- BARÇA, S. F. Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na Região Norte-Occidental do Estado de São Paulo. 1980. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 209 p.
- BRUGNARA, E.C.; CASTILHOS, R.V.; SABIÃO, R.R. Consequências da seca no Oeste Catarinense para cultura dos citros na safra 2020/21. Agropecuária Catarinense, v.35, n.2, p.11-13, 2022.
- CAMPOS, J. E.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; ODA, G. H.; IRITANI, M. A.; PERROTA, M. M.; SILVEIRA, R. E. I.; TAKAHASHI, A. T. Carta hidrogeológica do Estado de São Paulo (Brasil) na escala 1:1.000.000: resultados parciais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 1., 2000, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza, 2000.
- CASAGRANDE, M. F. S.; FURLAN, L. M.; MOREIRA, C. A.; ROSA, F. T. G.; ROSOLEN, V. Non-invasive methods in the identification of hydrological ecosystem services of a tropical isolated wetland (Brazilian study case). Environmental Challenges, v. 5, p. 100233, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021002122>. Acesso em: 02 maio 2025.
- CPA/UNICAMP. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/>. Acesso em: 02 maio 2025.

DeGROOT-HEDLIN, C. & CONSTABLE, S. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, n. 55, p. 1613- 1624. 1990.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande, PB: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

EDWARDS, L.S. A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, v. 42, n. 5, p. 1020-1036, 1977.

FERNANDES, L. A. Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). 1998. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 216 p.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 4, p. 717–728, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000304717728>. Acesso em: 05 out. 2025.

FERREIRA, F. J. F. Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa. 1982. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 170 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande. São Paulo: Convênio IPT/CBH-TG/FEHIDRO, 1999. (Relatório n. 40 515).

IPMet Radar. Disponível em: <https://www.ipmetradar.com.br>. Acesso em: 02 maio 2025.

Iritani M.A., Oda G.H., Kakazu M.C., Campos J.E., Ferreira L.M.R., Silveira E.L., Azevedo A.A.B. de. 2000. Zonamento das características hidrodinâmicas (transmissividade e capacidade específica) do sistema aquífero Bauru no estado de São Paulo – Brasil. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, Anais, 14 p.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An introduction to geophysical exploration. 3. ed. London: Blackwell Science, 2002. 281 p.

KNÖDEL, K.; LANGE, G.; VOIGT, H. J. Environmental Geology: Handbook of field methods and case studies. Springer, 2007. 1357 p.

LIMA, A. A. Hidrogeologia do Sistema Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto (SP). 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 82 p.

LIMA, A. P.; AMORIM, M. C. C. T. Análise de episódios de alagamentos e inundações urbanas na cidade de São Carlos a partir de notícias de jornal. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 15, 2015. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/33406>. Acesso em: 02 maio 2025.

LOKE, M. & BARKER, R. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, n. 44, p. 131-152. 1996.

Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of Geophysics*. In *Fundamentals of Geophysics*.

MENDONÇA, J. L. G.; GUTIERRE, T. M. C. O potencial hidrogeológico no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 1., 2000, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza, 2000. CD-ROM.

MILSON, J. *Field Geophysics*. England: Wiley, 2003. 232 p.

MOREIRA, C. A.; ROSOLEN, V. S.; HANSEN, M. A. F.; et al. Aquifer recharge capacity assessment of an anthropogenically impacted wetland by the DC resistivity geophysical method. *Discovery Water*, v. 3, p. 7, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43832-023-00031-3>. Acesso em: 02 maio 2025.

NEVES, E.; et al. Citricultura brasileira: efeitos econômico-financeiros, 1996–2000. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 23, p. 432–436, 2001.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo. Campinas; Rio de Janeiro: Instituto Agrônômico; Embrapa Solos, 1999.

PAULA E SILVA, F. Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. 2003. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 166 p.

PAULA E SILVA, F.; CAVAGUTI, N. Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozóico na cidade de Bauru (SP). *Revista Geociências, UNESP*, p. 83–99, 1994.

REGEA – Geologia, Engenharia e Estudos. Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia do Turvo/Grande (UGRHI 15). São José do Rio Preto: CBH-TG, 2017.

SANTORO, J.; MASSOLI, M. Mapa de contorno estrutural do topo do basalto subjacente ao Grupo Bauru no Estado de São Paulo. *Revista IG*, São Paulo, v. 6, n. 1/2, p. 39–44, 1985.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v. 1, p. 41–65.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 10, n. 3, p. 177–185, 1980.

SUGUIO, K.; FÚLFARO, V. J.; AMARAL, G.; GUIDORZI, L. A. Comportamentos estratigráfico e estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1., 1977, São Paulo. Atas, p. 231–247.

ZALÁN, P. V.; WOLF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; APPI, V. T.; NETO, E. V. S.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. The Paraná Basin. In: INTRACRATONIC BASINS. AAPG Memoir 51, p. 681–708, 1990.