



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

Gabriela Colombo Barbosa

**Modelagem Hidrogeológica e de Sondagem Elétrica Vertical, aplicado à Prospecção de
Água Subterrânea no Município de Patrocínio – MG**

Monte Carmelo - MG

2025

Gabriela Colombo Barbosa

**Modelagem Hidrogeológica e de Sondagem Elétrica Vertical, aplicado à Prospecção de
Água Subterrânea no Município de Patrocínio - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso
de Geologia do Instituto de Geografia, Geociências e
Saúde Coletiva da Universidade Federal de Uberlândia,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do
título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Mota da Silva

Monte Carmelo, 2025

Prof. Dr. Fabiano Mota da Silva - Orientador (UFU)

Daiane Casagrande – Geóloga (GH²O)

Wanderley Marra – Superintendente DAEPA

Fernando Faria – (GH²O)

AGRADECIMENTO

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a concretização de um sonho construído com o apoio e incentivo de muitas pessoas.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me conceder força, saúde e sabedoria ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, Andreia e Antonio, e à minha irmã, Julia, por todo amor, paciência, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos. Sem vocês, nada disso seria possível.

Aos meus professores e ao orientador, Fabiano Motta da Silva, pela orientação dedicada, pelas valiosas contribuições e pelo incentivo constante durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas e amigos que estiveram ao meu lado durante os momentos de dificuldade e nas alegrias do percurso acadêmico, em especial, minha companheira de casa, Beatriz, e meu amigo de longa data, João Victor. Aos meus companheiros de estágio, Iago, Lucas, João Paulo, Fernando, Susana, Gabriel e Matheus, obrigada pelos momentos memoráveis.

Aos profissionais e instituições que colaboraram direta ou indiretamente com a pesquisa, oferecendo dados, informações ou apoio técnico, deixo aqui meu sincero agradecimento.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação acadêmica, meu muito obrigado.

RESUMO

A água subterrânea é um recurso essencial, responsável por uma parte significativa do abastecimento hídrico no Brasil. Estima-se que 52% dos municípios brasileiros dependem das águas subterrâneas, seja parcial ou totalmente. A gestão eficaz desse recurso é fundamental para garantir a sustentabilidade e a preservação, especialmente em regiões como Minas Gerais, onde o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) supervisiona seu uso. Este trabalho tem como foco a caracterização do fluxo de águas subterrâneas no município de Patrocínio, MG, utilizando dados de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e informações fornecidas pelo IGAM. A pesquisa também integra a geologia regional e os dados hidrogeológicos disponíveis para desenvolver modelos conceituais e numéricos, que servirão para a análise e melhor gestão dos recursos hídricos locais. A metodologia aplicada inclui a criação de um banco de dados georreferenciados (SIG) e a integração de modelos de resistividade elétrica para identificar zonas favoráveis à prospecção de água subterrânea. A cidade de Patrocínio enfrenta desafios de disponibilidade hídrica, sendo uma área de conflito em termos de gestão de águas superficiais. Assim, o estudo visa contribuir para o conhecimento técnico da hidrogeologia local, auxiliando na otimização da exploração dos recursos hídricos e na elaboração de diretrizes sustentáveis de uso.

Palavras-chave: Modelagem Hidrogeofísica; Sondagem Elétrica Vertical

ABSTRACT

Groundwater is an essential resource, accounting for a significant portion of Brazil's water supply. It is estimated that 52% of Brazilian municipalities rely on groundwater, either partially or entirely. Effective management of this resource is crucial to ensure sustainability and preservation, especially in regions like Minas Gerais, where the Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) oversees its usage. This study focuses on characterizing groundwater flow in the municipality of Patrocínio, MG, using Vertical Electrical Sounding (SEV) data and information provided by IGAM. The research also integrates regional geology and available hydrogeological data to develop conceptual and numerical models, which will aid in analyzing and improving local water resource management. The methodology involves creating a georeferenced database (SIG) and integrating electrical resistivity models to identify zones favorable for groundwater exploration. The city of Patrocínio faces challenges in water availability, being classified as a conflict area regarding the management of surface water. Thus, this study aims to contribute to the technical understanding of local hydrogeology, helping optimize water resource exploration and develop sustainable usage guidelines.

Keywords: Hydrogeophysical Modeling; Vertical Electrical Sounding

Lista de Figuras

Figura 1: Gráfico de usuários de água subterrâneas no país	10
Figura 2: Mapa de localização	13
Figura 3: Imagem do site do IDE-SISEMA	15
Figura 4: Imagem dos poços selecionados	16
Figura 5: Disposição do arranjo com os eletrodos de injeção de corrente (A e B) e os eletrodos não polarizados (M e N).	18
Figura 6: Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco	21
Figura 7: Complexos alcalinos.	26
Figura 8: Distribuição da Província Ígnea Alto Paranaíba.	27
Figura 9: Intrusão Calcico-Carbonatítico Serra Negra.	29
Figura 10: Imagem de satélite com a malha de pontos.	32
Figura 11: Modelagem em 2D e 3D.	32
Figura 12: Modelos potenciométricos, A. Modelo 2D com identificação de lineamentos estruturais. B. Modelo 3D com indicação da tendência de fluxo	35
Figura 13: Modelos de nível dinâmico. A. Modelo 2D com os pontos das estações de SEV plotados. B. Modelo 2D com indicação dos lineamentos.	37
Figura 14: Modelos 3D de nível dinâmico.	38
Figura 15: Modelos 2D de vazão. B. Modelo de vazão com as SEVs plotadas	40
Figura 16: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).	42
Figura 17: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).	43
Figura 18: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).	44
Figura 19: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).	45
Figura 20: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).	45
Figura 21: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).	46
Figura 22: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).	47

Figura 23: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).....	48
Figura 24: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).....	49
Figura 25: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).....	50
Figura 26: A. Modelo 2D de nível estático. B. Modelo 2D de nível dinâmico. C. Modelo de vazão.	52
Figura 27: A. Modelo 2D de nível estático com os pontos plotados das SEVs e dos dados adquiridos no IDE-SISEMA. B. Modelo de nível dinâmico indicando o setor da SEVs.	54
Figura 28: Inversão da SEV Setro Morada Nova, com círculos indicando a concordância do nível estático e dinâmico.	55

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resistividades características de diferentes materiais.	19
---	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. LOCALIZAÇÃO.....	12
3. OBJETIVOS	14
4. METODOLOGIA	14
4.1. Poços Adquiridos	14
4.2. Processamento dos Dados	16
4.2.1. Processamento dos dados hidrogeológicos	17
4.2.2 Processamento da Sondagem Elétrica Vertical	17
4.2.3 Fórmulas e Conceitos Fundamentais.....	20
5. GEOLOGIA REGIONAL.....	20
5.1 CRÁTON DO SÃO FRANCISCO	21
5.2 FAIXA BRASÍLIA	21
5.2.1 GRUPO CANASTRA	22
5.2.2 FORMAÇÃO CHAPADA DOS PILÕES - Membro Hidrelétrica da Batalha	23
5.3 PROVÍNCIA ÍGNEA DO ALTO PARANAÍBA	25
5.4 SUÍTE INTRUSIVA SERRA NEGRA	27
5.5 COBERTURAS DETRÍTICAS INDIFERENCIADAS	29
5.6 COBERTURAS DETRITO LATERÍTICAS.....	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
6.1 Modelo Hidrogeológico de Superfície	31
6.2 Modelo Potenciométrico.....	34
6.3 Modelo de Nível dinâmico	36
6.4 Modelo de Vazão	39
6.5 Modelos de Sondagem Elétrica Vertical 1D	41
6.5.1 SEV Setor Jardim Sul	42
6.5.2 SEV Setor Nações	42
6.5.3 SEV Setor Serra Negra	43
6.5.4 SEV Setor Cruzeiro da Serra	44

6.5.5 SEV Setor Encinas.....	45
6.5.6 SEV Setor Ouro Preto.....	46
6.5.7 SEV Setor Martim Galego.....	47
6.5.8 SEV Setor Matinha	47
6.5.9 SEV Setor Morada Nova	48
6.5.10 SEV Setor São Judas.....	49
7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
7.1 Considerações Finais	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

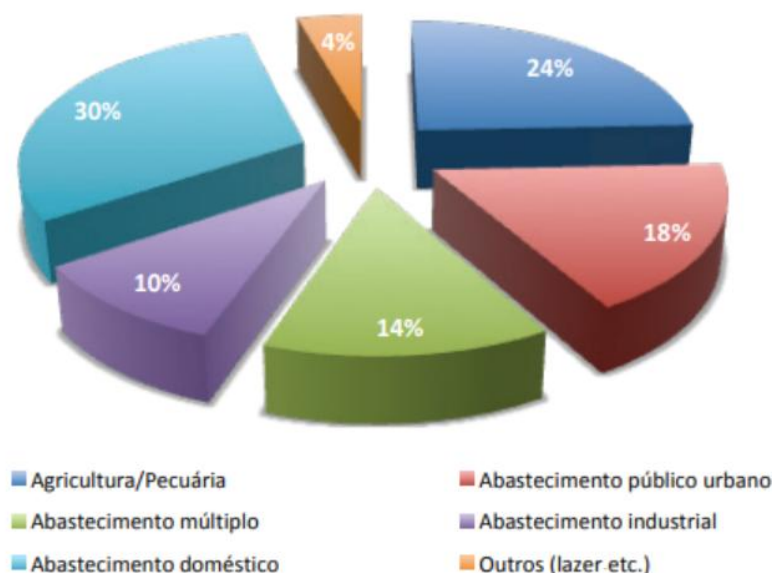
1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural cuja importância se destaca por sua essencialidade e presença em diversos meios. Ela está presente nos vastos oceanos que dominam a superfície terrestre, nas nuvens que transportam vapor d'água por longas distâncias, nos rios e lagos que foram e continuam sendo referências históricas para a humanidade, nas geleiras que cobrem os polos e as altas montanhas, e nos aquíferos, que são, por definição, reservatórios subterrâneos de água.

A ausência de águas subterrâneas tornaria o planeta consideravelmente mais seco e biologicamente menos diverso. Elas constituem uma parte essencial do ciclo hidrológico, fluindo lentamente desde as zonas de recarga até as zonas de descarga, onde se conectam diretamente com rios, lagos, pântanos e mares (Trata Brasil, 2022). A relevância das águas subterrâneas é evidenciada por estudos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), que indicam que 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por esse recurso.

Em relação ao uso das águas subterrâneas no Brasil, destacam-se o abastecimento doméstico (30%), agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%), abastecimento múltiplo (14%), industrial (10%), e outros usos (4%), ilustrado na figura 1.

Figura 1: Gráfico de usuários de água subterrâneas no país



Fonte: Trata Brasil, 2022

Para garantir o abastecimento regular e a preservação desse recurso vital, é fundamental implementar práticas de gestão hídrica eficazes. No estado de Minas Gerais, a gestão das águas subterrâneas é de responsabilidade do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), que adota medidas para a conservação e uso sustentável dos recursos hídricos.

Além disso, o desenvolvimento de estudos abrangentes, como modelos climáticos, de fluxo de águas subterrâneas e de áreas com maior exploração, contribui para o avanço do conhecimento sobre os aquíferos e o ciclo hidrológico específico de cada região. Esses estudos fornecem subsídios para o monitoramento e gestão contínua das águas subterrâneas, de maneira precisa e específica.

Exemplos de aplicação dessa abordagem são os estudos feitos em Lucas do Rio Verde – Mato Grosso, onde a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) foi aplicada para estimar a profundidade e a espessura de unidades hidrogeológicas, visando subsidiar pesquisas hidrogeológicas na área. Essas informações foram essenciais para orientar a construção de poços tubulares profundos na região.

Alinhado com esses esforços de pesquisa, esse trabalho visa ampliar o entendimento das águas subterrâneas na região de Patrocínio, visto que enfrentam problemas com o abastecimento público utilizando dados disponíveis digitalmente, bem como informações obtidas por meio da SEV.

As SEVs, totalizadas em diferentes pontos, consistem em um método geofísico comumente conhecido pelo uso da eletrorresistividade, o qual permite determinar a resistividade dos materiais sem causar impacto ambiental, com isso, o método foi aplicado no perímetro urbano de Patrocínio, sendo todos os dados fornecidos pelo Departamento de Água e Esgoto de Patrocínio (DAEPA). Esses dados servem como base para a construção de modelos hidrogeofísicos.

Atualmente, o abastecimento de água encanada do Município de Patrocínio é realizado por captação superficial através de rios ou lagos, com isso, a DAEPA em função da intensidade ao qual as secas estão se desenvolvendo, está tomando novas medidas de mitigações para as problemáticas hídricas, tal fato, justifica as aquisições geofísicas para o município.

Atualmente, o abastecimento de água encanada no município de Patrocínio é realizado por meio de captação superficial em rios e lagos. No entanto, devido à crescente intensidade das secas, o fornecimento público tem sido comprometido, o que tem levado o DAEPA a adotar novas medidas de mitigação para enfrentar os problemas hídricos. Nesse contexto, os poços tubulares configuram-se como uma alternativa viável para garantir o abastecimento, o que

justifica a realização de levantamentos geofísicos no município.

A gestão hídrica, quando conduzida de forma consciente, é essencial para o uso sustentável dos recursos hídricos. Em algumas regiões de Minas Gerais, medidas específicas e restritivas já vêm sendo adotadas, especialmente nas áreas reconhecidas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) como zonas de conflito hídrico. Essas zonas podem envolver tanto recursos hídricos superficiais quanto subterrâneos, que, embora não estejam necessariamente associados entre si, podem coexistir em determinadas regiões, agravando a complexidade da gestão e da distribuição da água.

As áreas de conflito podem ser classificadas como decorrentes do uso de águas subterrâneas, abrangendo as regiões de Vazante, Paracatu, Coromandel e Guarda-Mor, ou do uso de águas superficiais, que afetam várias outras regiões do estado.

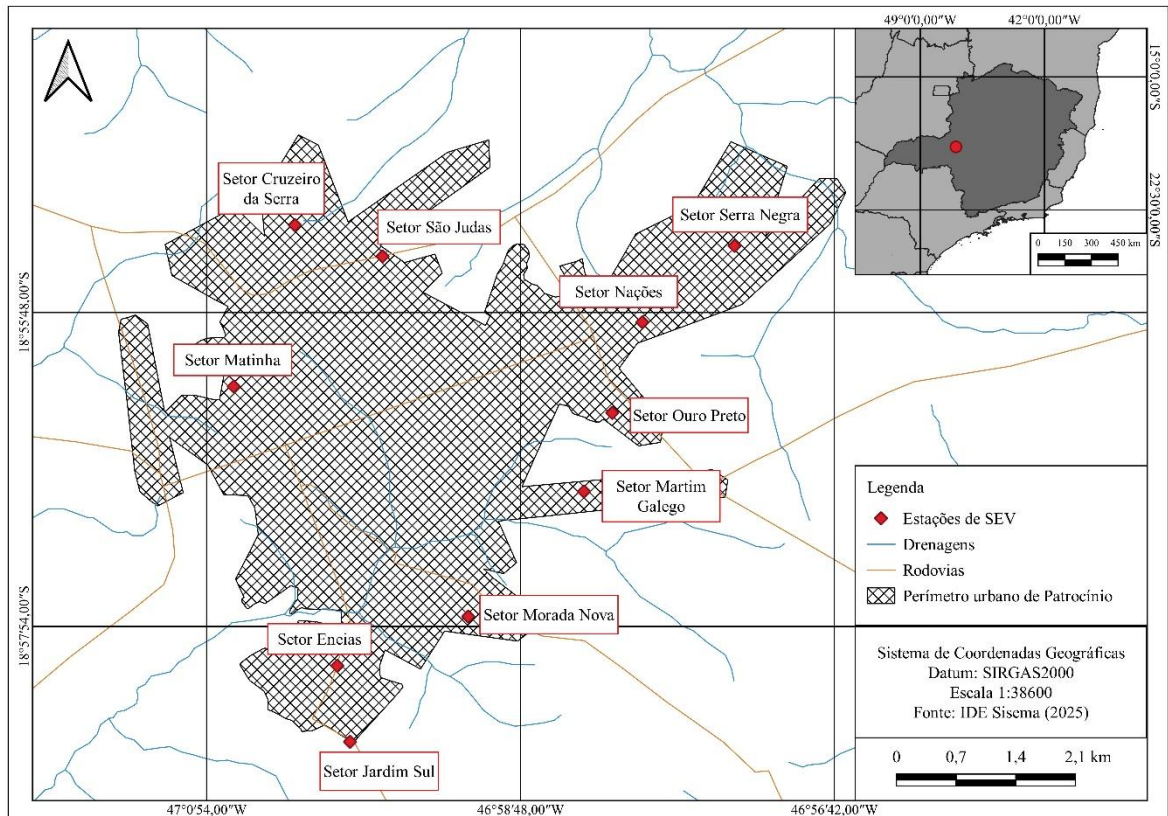
A cidade de Patrocínio, localizada no trecho do Rio Dourados, está dentro de uma área de conflito, onde a gestão da disponibilidade de recursos hídricos enfrenta desafios crescentes devido à demanda que supera a oferta.

2. LOCALIZAÇÃO

O município de Patrocínio situa-se na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, na região oeste do estado de Minas Gerais, Brasil. Sua delimitação territorial compreende fronteiras municipais com Coromandel ao norte, Guimarães e Cruzeiro da Fortaleza a nordeste, Serra do Salitre a sudeste, Perdizes ao sul, Iraí de Minas a sudoeste e Monte Carmelo a noroeste, conformando uma área de significativa importância geoeconômica regional.

A área urbana da sede municipal, que dá nome ao município, constituiu o foco principal das investigações geofísicas realizadas neste estudo. Conforme ilustrado na Figura 2, os pontos de aquisição de dados por Sondagem Elétrica Vertical (SEV) foram estrategicamente distribuídos no perímetro urbano, selecionados com base em critérios técnicos e de acessibilidade. A escolha dos locais de medição considerou particularmente a infraestrutura existente do Departamento de Água e Esgoto de Patrocínio (DAEPA), priorizando terrenos sob sua gestão que apresentam relevância para o sistema municipal de distribuição hídrica e coleta de efluentes.

Figura 2: Mapa de localização



Fonte: Autora.

A rede viária que serve ao município apresenta excelente conectividade, sendo composta por importantes eixos rodoviários que garantem acessibilidade à região. As rodovias federais BR-365 (no alinhamento leste-oeste) e BR-465 (no quadrante sudoeste) complementam-se com as estaduais MG-188 (no sentido nordeste) e MG-230 (no traçado sudoeste), formando um sistema integrado de transportes que facilita o deslocamento interregional e o desenvolvimento de atividades logísticas e comerciais.

Esta configuração geográfica privilegiada, associada à malha urbana bem estruturada, proporcionou condições ideais para a execução da campanha geofísica, permitindo a obtenção de dados representativos das características geolétricas do subsolo em áreas de relevante interesse para a gestão de recursos hídricos e planejamento urbano municipal.

3. OBJETIVOS

Este trabalho tem como propósito principal caracterizar o sistema de fluxo de águas subterrâneas no município de Patrocínio (MG) mediante a integração de métodos geofísicos e hidrogeológicos. Para tal, serão empregados dados de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), complementados por informações do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e pelo conhecimento geológico regional. A abordagem metodológica contemplará desde a construção e processamento de bancos de dados georreferenciados até a elaboração de modelos conceituais e numéricos da hidrogeologia local.

Especificamente, busca-se desenvolver uma estrutura de análise espacial em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para armazenamento e tratamento dos dados adquiridos. Os registros de SEV serão submetidos a processos de inversão para obtenção de parâmetros geoeletricos confiáveis, os quais serão integrados sistematicamente com informações hidrogeológicas pré-existentis. Esta integração multidisciplinar permitirá uma avaliação abrangente das condições do sistema aquífero, com identificação de zonas potencialmente favoráveis à ocorrência de águas subterrâneas.

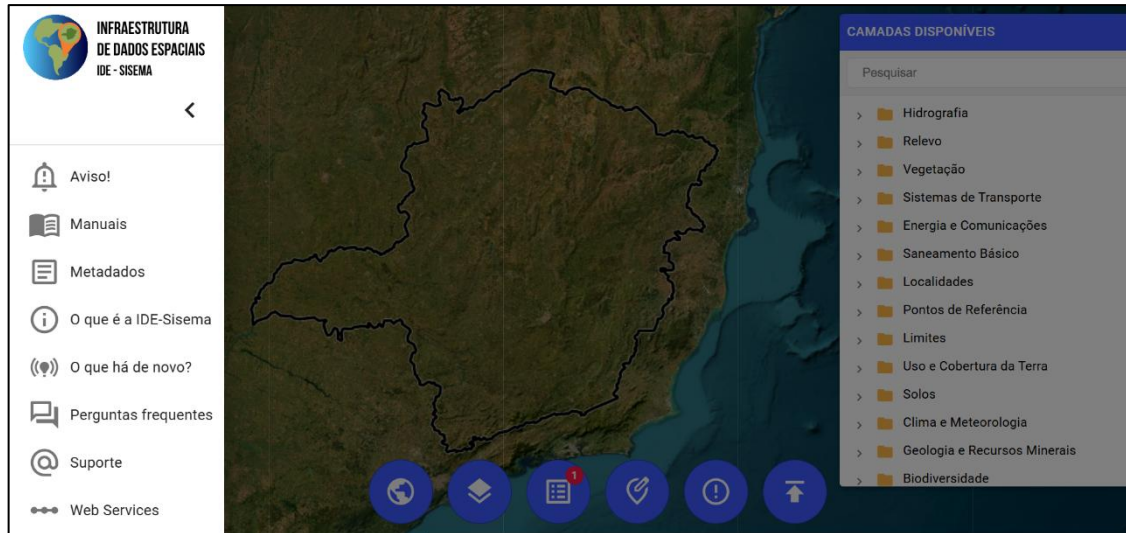
Os resultados obtidos visam não apenas ampliar o entendimento sobre os recursos hídricos subterrâneos da região, mas também estabelecer protocolos metodológicos passíveis de aplicação em outras áreas com características geológicas similares. Pretende-se que o conhecimento gerado contribua para a otimização de estratégias de exploração sustentável desses recursos, reduzindo custos operacionais e promovendo práticas de gestão mais eficientes. A abordagem proposta representa um avanço na caracterização hidrogeológica de ambientes urbanos, combinando técnicas convencionais com ferramentas computacionais modernas para subsidiar decisões técnicas e gerenciais.

4. METODOLOGIA

4.1. Poços Adquiridos

Os dados relativos aos poços foram adquiridos de forma eletrônica pelo site (Figura 3) de Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA), sendo dados direcionados sobre o estado de Minas Gerais.

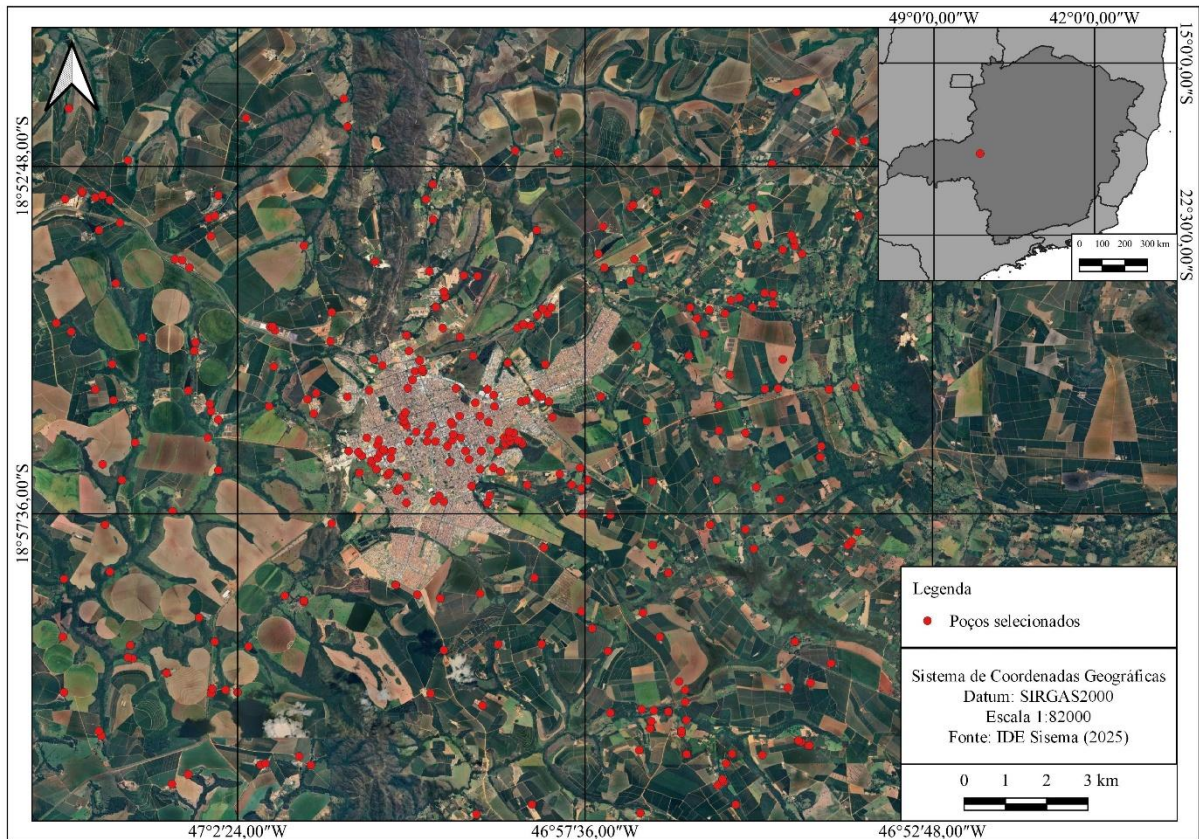
Figura 3: Imagem do site do IDE-SISEMA



Fonte: Site do IDE-SISEMA

Dos 1.186 poços tubulares registrados no município de Patrocínio e adquiridos pelo IDE-SISEMA, foram aproveitados 324, selecionados com base na região de interesse, que abrange tanto o perímetro urbano da cidade quanto seus arredores. A distribuição desses poços está representada no mapa a seguir (Figura 4).

Figura 4: Imagem dos poços selecionados



Fonte: Autora.

O banco de dados foi adquirido em forma de planilha (.xls) composto por coordenadas de latitude e longitude, bem como as variáveis a exemplo de número de processo, número de portaria, caracterização da bacia e os principais, sendo nível estático, dinâmico e vazão.

Ainda sobre o banco de dados, o mesmo foi atribuído um sistema de coordenadas para permitir com que as informações fossem dispostas em forma de mapas e/ou modelos num ambiente *SIG*.

O trabalho apresenta dados relativos aos poços selecionados, onde somente foram incluídos coordenadas, profundidades, nível estático e dinâmico, além da vazão, responsáveis pelas modelagens apresentadas.

4.2. Processamento dos Dados

O processamento dos dados envolveu duas etapas principais, sendo eles o processamento dos dados hidrogeológicos e os dados das sondagens elétricas verticais (dados de geofísica).

4.2.1. Processamento dos dados hidrogeológicos

A partir dos dados obtidos pelo IDE-SISEMA dos poços adquiridos foi elaborada uma tabela preliminar no *software Excel*, compilando os dados disponíveis. Após uma fase de identificação, uma segunda tabela foi gerada, também utilizando o *Excel*, contendo todos os parâmetros necessários para a modelagem hidrogeológica.

Com a elaboração da classificação das coordenadas para limitação da extensão do *Grid*, como parâmetro no *software Surfer* de forma simples, nomeado a coluna como X e Y. Assim a coluna variante Z, nesse projeto preenchida com dados de vazão, nível dinâmico e estático e profundidade dos poços tubulares.

Com todos os dados necessários para a elaboração dos mapas foram criadas tabelas individuais no *software Excel*, que posteriormente foram importadas para o *software Surfer*. O processo utilizando o *software* seguiu as seguintes etapas:

1. Criação do *Grid* a partir das tabelas individuais: No *Surfer*, acessou-se a opção "*Grid*", seguida de "*Data*", selecionando-se a tabela correspondente.
2. Geração do mapa de contorno: A partir do *grid* gerado na etapa anterior, criou-se o mapa de contorno, clicando em "*New Contour Map*" e selecionando o *grid* desejado.
3. Criação de um arquivo .bln para recorte do polígono: O *shapefile* do polígono foi importado e exportado no formato .bln, garantindo que a escala do polígono fosse compatível com o mapa de contorno já criado.
4. Adição do polígono dos poços adquiridos ao mapa de contorno: Com o mapa selecionado, utilizou-se a função "*Map*", seguida de "*Add*" e "*Base Layer*", para incluir o arquivo .bln desejado.
5. Recorte do polígono dos poços adquiridos no mapa de contorno: Utilizando a função "*Blank*", o *grid* do mapa de contorno foi recortado com base no arquivo .bln, e o novo *grid* recortado foi salvo.
6. Abertura do novo mapa de contorno: O *grid* recortado foi utilizado para gerar um novo mapa de contorno, acessando a função "*New Contour Map*" e selecionando o *grid* já modificado.

4.2.2 Processamento da Sondagem Elétrica Vertical

A Sondagem Elétrica Vertical (SEV) é uma técnica geofísica amplamente utilizada para investigação da subsuperfície, baseada na injeção de corrente elétrica no solo e na medição do potencial elétrico gerado. O método permite inferir variações na resistividade elétrica dos

materiais geológicos, o que, por sua vez, está diretamente relacionado à sua composição, porosidade, saturação e conteúdo em água subterrânea (Telford *et al.*, 1990; Loke, 2004).

Neste estudo, utilizou-se o arranjo *Schlumberger*, no qual os eletrodos de corrente (A e B) são dispostos a distâncias maiores que os eletrodos de potencial (M e N). A separação entre os eletrodos de corrente é aumentada progressivamente durante o levantamento, mantendo-se os eletrodos de potencial próximos entre si. Essa configuração oferece boa sensibilidade vertical e maior penetração em profundidade, sendo adequada para a modelagem de estruturas geológicas (Kearey *et al.*, 2013).

Figura 5: Disposição do arranjo com os eletrodos de injeção de corrente (A e B) e os eletrodos não polarizados (M e N).



Fonte: Relatório técnico da Empresa GH²O.

Após a aquisição dos dados em campo, procede-se à interpretação utilizando o *software IPI2Win*, que possibilita a construção de perfis de resistividade aparente em função da profundidade. A ferramenta é especialmente útil para realizar inversões unidimensionais (1D) dos dados obtidos, gerando modelos geofísicos da distribuição de resistividade no subsolo. A partir desses modelos de inversão, apresentados na seção de resultados, torna-se possível avaliar o potencial do local investigado para a exploração de água subterrânea por meio de poços tubulares.

Os dados coletados constituem curvas de resistividade aparente, que representam graficamente a dificuldade que os materiais oferecem à passagem da corrente elétrica em função da profundidade investigada. Essa profundidade é controlada pela distância entre os eletrodos

de corrente, conforme o princípio básico da SEV. Medições de potencial elétrico na superfície permitem identificar corpos geológicos e estruturas subsuperficiais, muitas vezes associadas à presença de aquíferos ou zonas de fraturamento (Telford *et al.*, 1990).

A interpretação dos dados requer a aplicação de métodos de inversão numérica, os quais empregam algoritmos matemáticos para estimar a distribuição de resistividade elétrica no subsolo, ajustando os modelos teóricos aos dados observados. Esse processo visa encontrar o modelo mais provável, com base nos parâmetros elétricos obtidos, que represente adequadamente as heterogeneidades geológicas. A inversão permite, assim, gerar imagens em 1D, 2D ou 3D com maior resolução e fidelidade (Loke *et al.*, 2003).

Contudo, é importante destacar que diferentes configurações geológicas podem produzir curvas de resistividade semelhantes. Dessa forma, a interpretação demanda conhecimento técnico, experiência e, idealmente, a integração com outras técnicas geofísicas e dados hidrogeológicos, a fim de obter resultados mais confiáveis. Como suporte à análise, apresenta-se a seguir uma tabela (Tabela 1), com os intervalos típicos de resistividade elétrica de materiais geológicos, que auxilia na identificação de unidades litológicas e zonas saturadas.

Tabela 1: Resistividades características de diferentes materiais.

<u>Água ou Rochas</u>	<u>Resistividade (Ohm.m)</u>
<u>Água do mar</u>	<u>0,2</u>
<u>Água de aquíferos aluviais</u>	<u>10 - 30</u>
<u>Águas de fontes</u>	<u>50 - 100</u>
<u>Areias e cascalhos secos</u>	<u>1000 - 10000</u>
<u>Areias e cascalhos com água doce</u>	<u>50 - 500</u>
<u>Areias e cascalhos com água salgada</u>	<u>0,5 - 5</u>
<u>Argilas</u>	<u>2 - 20</u>
<u>Granitos alterados</u>	<u>100 - 1000</u>
<u>Granitos sãos</u>	<u>1000 - 10000</u>

Fonte: Adaptado de Telford *et al.*, 1990; Palacky, 1987.

4.2.3 Fórmulas e Conceitos Fundamentais

A interpretação dos dados de SEV está fundamentada em conceitos da eletroresistividade, particularmente na aplicação da Lei de Ohm, que define a relação entre a tensão elétrica (V), a corrente (I) e a resistência (R) em um circuito. De acordo com essa lei, a resistência é igual à tensão dividida pela corrente, matematicamente expressa como $R = V/I$.

A resistividade elétrica, uma propriedade intrínseca de cada material, é determinada por (ρ) é uma característica própria de cada material, refletindo sua capacidade de resistir ao fluxo de corrente elétrica. Ela é influenciada pelas dimensões físicas do material e é calculada pela fórmula:

$$\rho = R \times A / L$$

onde:

ρ - Resistividade elétrica do material ($\Omega.m$);

R - Resistência elétrica medida (Ω);

A - Área transversal do material perpendicular ao fluxo de corrente (m^2);

L - Comprimento do material ao longo do fluxo de corrente (m).

No contexto da SEV, a resistividade aparente (ρ_a) é calculada com base na geometria dos eletrodos e nas medições de campo, utilizando a expressão:

A Resistividade aparente é definida com base na geometria dos eletrodos e nas medições realizadas em campo, utilizando a expressão:

$$\rho_a = K \times V/I$$

onde:

ρ_a - Resistividade aparente ($\Omega.m$)

V - Tensão medida entre os eletrodos internos (V);

I - Corrente elétrica aplicada (A);

K - Fator geométrico, que depende do arranjo de eletrodos utilizado.

5. GEOLOGIA REGIONAL

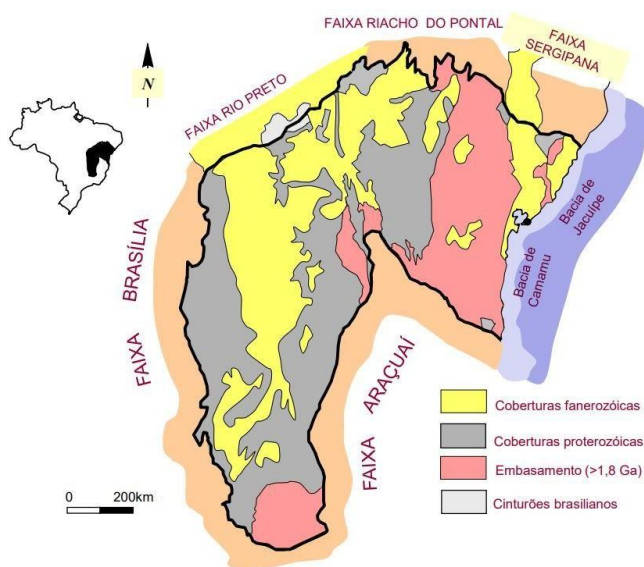
O arcabouço geológico do município de Patrocínio é composto por unidades pertencentes a três compartimentos geotectônicos: a Província Tocantins, a Bacia do Paraná e a Bacia Sanfranciscana. Predominam, contudo, as unidades localizadas na porção leste da Faixa Brasília (Província Tocantins) e no Cráton do São Francisco (CPRM, 2004; Alkmim *et al.*, 2012).

5.1 CRÁTON DO SÃO FRANCISCO

O Cráton do São Francisco (Figura 5), cujos limites foram estabelecidos em trabalhos fundamentais (Almeida, 1977; Brito Neves & Alkmim, 1993; Alkmim *et al.*, 1993; Alkmim & Martins Neto, 2001), compreende conceitualmente o cinturão epidérmico de antepaís da Faixa Brasília. Essa unidade crustal engloba tanto as unidades proterozoicas de cobertura (Alkmim *et al.*, 1996) quanto as regiões de coberturas sedimentares indeformadas (Alkmim *et al.*, 1993; Reis & Alkmim, 2015).

No contexto deste estudo, o domínio geotectônico em questão foi delimitado especificamente às áreas de ocorrência de litologias do Grupo Bambuí, caracterizando assim uma abordagem estratigráfica precisa dentro do contexto cratônico.

Figura 6: Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco



Fonte: Pinho *et al.*, modificado de Alkmim *et al.* 1993, extraído de Alkmim, 2004.

5.2 FAIXA BRASÍLIA

Durante a Orogênese Brasileira no Neoproterozoico (650-600 Ma), regimes compressivos sucessivos promoveram a remobilização e o encurtamento de bacias sedimentares pré-existentes, resultando na formação de um cinturão orogênico caracterizado por intensa deformação dúctil e frágil (Teixeira *et al.*, 1985; Valeriano *et al.*, 2004). Este evento envolveu a convergência de três blocos cratônicos principais: o Cráton Amazônico a noroeste, o Cráton do São Francisco a leste, e um possível cráton hipotético subjacente à Bacia do Paraná (Fuck *et al.*, 1994; Dardenne, 2000; Cordani *et al.*, 2003).

A Faixa de Dobramentos Brasília apresenta limites geológicos bem definidos, sendo eles o Cráton do São Francisco a leste, a Bacia do Paraná a sudoeste, a Faixa Paraguai-Araguaia

a oeste, e o Cráton Amazônico a noroeste (Pimentel *et al.*, 2000). Sua orientação estrutural predominante NW-SE acompanha o arranjo geral do sistema orogênico Brasileiro-Pan Africano (Alkmim *et al.*, 2001). Notavelmente, a faixa exibe um gradiente metamórfico progressivo de leste para oeste, evoluindo de fácies xisto verde a granulito (Costa & Angeiras, 1971; Dardenne, 1978; Fuck *et al.*, 2008), refletindo o aumento no gradiente geotérmico em direção à zona de sutura.

Com base neste padrão metamórfico, a Faixa Brasília foi tradicionalmente compartimentada em três domínios principais (Costa & Angeiras, 1971; Dardenne, 1978): a Zona Cratônica a leste, caracterizada por baixo grau metamórfico; a Zona Externa na porção intermediária, com metamorfismo de médio grau; e a Zona Interna a oeste, onde predominam rochas de alto grau metamórfico, incluindo granulitos.

Entretanto, estudos estruturais detalhados revelaram uma importante mega inflexão tectônica ao longo do paralelo 16°S - conhecida como Sintaxe dos Pireneus - que permite a subdivisão da faixa em segmentos norte e sul com evoluções distintas (Costa *et al.*, 1970; Araújo Filho, 2000; Fonseca & Dardenne, 2000). Esta estrutura marcante, localizada na região de Pirenópolis-Corumbá de Goiás, representa uma zona de transição entre regimes tectônicos contrastantes (Strieder & Nilson, 1992; Fonseca, 1996).

5.2.1 GRUPO CANASTRA

O Grupo Canastra, situado na porção externa da Faixa Brasília, estende-se desde as proximidades de Brasília até a Serra da Canastra, a oeste de Bambuí, em Minas Gerais. Sua estreita relação com o Grupo Araxá tem sido amplamente documentada na literatura geológica desde os primeiros estudos realizados por Barbosa (1955, 1965), Almeida (1967) e Barbosa *et al.* (1970). Esses trabalhos pioneiros estabeleceram a evolução conceitual da unidade, inicialmente descrita como formação, depois como série e finalmente como grupo, destacando sua composição predominante de termos pelíticos e quartzíticos, com evidentes afinidades estratigráficas e tectônicas com o Grupo Araxá (Dardenne, 2000; Valeriano *et al.*, 2004).

A relação entre os Grupos Canastra e Araxá foi sintetizada por Fuck *et al.* (1993, 1994), que identificaram na porção sul da Faixa Brasília três compartimentos tectônicos imbricados de oeste para leste. O primeiro compartimento corresponde à Nappe Araxá-Canastra, caracterizada por uma sequência metassedimentar que exibe metamorfismo inverso, evoluindo de fácies xisto verde na base para anfibolito no topo.

O segundo compartimento compreende a Sequência Metassedimentar do Carmo do Rio

Claro, associada a escamas granito-gnáissicas do embasamento e composta principalmente por metassedimentos psamíticos afetados por metamorfismo de baixo grau (zona da clorita). O terceiro compartimento é representado pelo Grupo Bambuí, constituído por metapelitos sobrepostos a um embasamento arqueano de granitos, gnaisses e rochas de greenstone belts (Pimentel *et al.*, 2001; Uhlein *et al.*, 2012).

Freitas-Silva & Dardenne (1995) propuseram uma coluna estratigráfica detalhada para o Grupo Canastra no oeste mineiro e leste goiano, subdividindo-o em quatro unidades principais agrupadas em dois subgrupos.

O Subgrupo Paracatu, na porção inferior, compreende as Formações Morro do Ouro, com quartzo-sericita filitos carbonosos e intercalações de quartzitos, e Serra da Anta, caracterizada por quartzo-sericita-clorita filitos com lentes carbonosas e metassiltitos. O Subgrupo Chapada dos Pilões, na porção superior, inclui as Formações Serra da Urucânia, com metarritmitos arenosos e quartzitos, e Serra da Batalha, dominada por ortoquartzitos maciços com intercalações filíticas.

Idades isotópicas (Rb-Sr, K-Ar e Pb-Pb) obtidas em xistos carbonosos da Formação Paracatu indicam uma faixa etária entre 1.000 e 1.300 Ma (Freitas-Silva & Dardenne, 1995), corroborando sua inserção no contexto mesoproterozoico da Faixa Brasília. Rodrigues (2008) refinou essa estratigrafia para o noroeste de Minas Gerais, propondo uma coluna atualizada com três formações principais. A Formação Serra do Landim é composta por margas e calcários metamorfizados. A Formação Paracatu se subdivide nos Membros Morro do Ouro, com filitos carbonosos, e Serra da Anta, com filitos sericíticos. A Formação Chapada dos Pilões inclui os Membros Serra da Urucânia, com metarritmitos, e Hidrelétrica da Batalha, dominada por quartzitos (Dias, 2011).

Essa compartimentação reflete não apenas variações faciológicas, mas também controles tectônicos associados à evolução da Faixa Brasília durante a Orogênese Brasileira (Alkmim *et al.*, 2001; Caxito *et al.*, 2014). A integração de dados estratigráficos, metamórficos e geocronológicos sugere que o Grupo Canastra representa um prisma de acreção desenvolvido na margem continental do Cráton São Francisco, posteriormente deformado durante a colisão neoproterozoica (Uhlain *et al.*, 2019).

5.2.2 FORMAÇÃO CHAPADA DOS PILÕES - Membro Hidrelétrica da Batalha

A Formação Hidrelétrica da Batalha, anteriormente denominada Formação Serra da Batalha, constitui um membro da Formação Chapada dos Pilões, conforme estabelecido por

Dardenne (2000) e Rodrigues (2008). Esta unidade apresenta extensa distribuição regional, aflorando desde a região de Patrocínio até Cruzeiro do Desbarrancado, onde sofre inflexão para sudoeste em direção a Martírio. Seus afloramentos ocorrem ainda nos chapadões dos Araújo e da Laje, serra Negra, serra do Triunfo, serra da Fazendinha e morro da Mesa, este último representando um testemunho estrutural sobre as rochas do Grupo Bambuí (CPRM, 2017; Uhlein *et al.*, 2022).

A área-tipo da unidade, localizada no rio Batalha no sítio da antiga usina hidrelétrica, apresenta excelentes exposições sob a forma de lajedos quartzíticos. O relevo característico é marcado por serras com topos aplainados em forma de chapadões, frequentemente recobertos por níveis de peneplanização e crostas lateríticas (Dardenne, 2000; Alkmim *et al.*, 2021). Estas feições topográficas são delimitadas por escarpas abruptas que contrastam nitidamente com o relevo suave das unidades pelíticas adjacentes dos Grupos Bambuí, Vazante e Ibiá (Rodrigues, 2008; Caxito *et al.*, 2023).

O padrão de drenagem dendrítico-retangular reflete o controle estrutural exercido pelo fraturamento das rochas, resultando em vales profundamente entalhados com escarpas íngremes (CPRM, 2017; Vasconcelos *et al.*, 2021). Os solos desenvolvidos são predominantemente arenosos, de granulometria fina e coloração clara, suportando vegetação de campo limpo com ocorrências localizadas de cerrado e matas ciliares (Embrapa, 2020; Oliveira *et al.*, 2023).

Do ponto de vista litológico, o Membro Hidrelétrica da Batalha é composto essencialmente por quartzitos com intercalações subordinadas de filitos, filitos carbonosos e quartzitos ferruginosos (CPRM, 2017; Dias *et al.*, 2022). Os quartzitos apresentam-se frescos a semi-intemperizados, variando de friáveis a silicificados, com colorações que incluem tons esbranquiçados, cinza-claros, róseos e amarelados. Sua textura varia de fina a média, com ocorrências localizadas de feições microconglomeráticas (Dardenne, 2000; Ribeiro *et al.*, 2023).

Análises petrográficas detalhadas revelam quartzo subarredondado a arredondado em matriz impura de granulometria muito fina nas porções não deformadas (CPRM, 2017). Nas zonas cisalhadas, observa-se orientação preferencial de cristais de quartzo com evidências de deformação intracristalina, incluindo extinção ondulante e subgranulação (Fonseca *et al.*, 2021). Os quartzitos ferruginosos ocorrem como lentes centimétricas intercaladas em filitos sericíticos, apresentando coloração avermelhada a marrom-avermelhada e textura granoblástica (Uhlein *et al.*, 2022).

A assembleia mineralógica acessória inclui hematita (frequentemente fibrosa), rutilo,

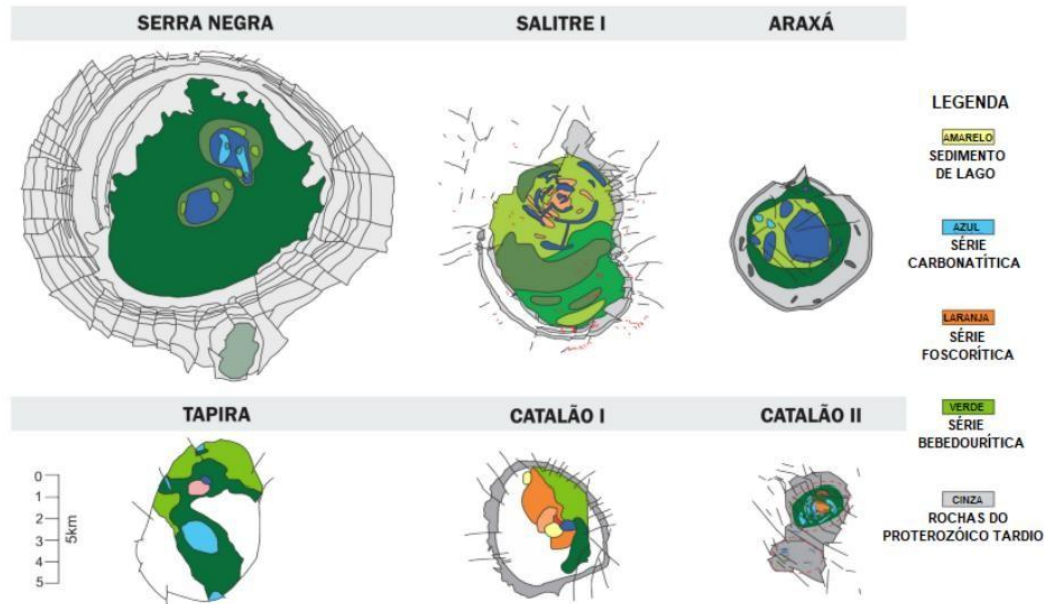
turmalina e zircão, com ocorrências subordinadas de feldspato (CPRM, 2017; Carvalho *et al.*, 2023). Estas características mineralógicas, associadas às estruturas sedimentares preservadas, sugerem ambiente deposicional de plataforma marinha rasa para a unidade, posteriormente afetada por processos diagenéticos e metamórficos durante a Orogênese Brasileira (Dardenne, 2000; Alkmim *et al.*, 2021).

5.3 PROVÍNCIA ÍGNEA DO ALTO PARANAÍBA

A Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP) representa um dos mais expressivos eventos de magmatismo alcalino no Brasil Oriental, desenvolvendo-se ao longo das margens nordeste e sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná durante o Cretáceo Superior ao Paleógeno (Gibson *et al.*, 1995; Ribeiro *et al.*, 2018). Este domínio magmático caracteriza-se por uma notável diversidade de rochas alcalinas, incluindo kimberlitos, olivina lamproítos madupíticos e kamafugitos, associados a complexos alcalino-carbonatíticos distribuídos ao longo de um arco com aproximadamente 400 km de extensão (Brod *et al.*, 2005; Gomes *et al.*, 2020).

Do ponto de vista tectônico, a PIAP está intimamente associada aos lineamentos estruturais reativados do cinturão de dobramentos brasileiros na interface entre o Cráton do São Francisco e a Bacia do Paraná (Morbideilli *et al.*, 1997; Chaves *et al.*, 2019). A província compreende uma faixa de ocorrência que se estende desde o sudeste de Goiás, com os complexos de Catalão I e II, até o oeste de Minas Gerais, englobando as intrusões de Serra Negra, Salitre I-III, Araxá e Tapira (Thompson *et al.*, 2017). Estudos geofísicos e petrogenéticos recentes destacam seu caráter excepcional como uma das províncias ultrapotássicas mais volumosas do mundo, com estimativas indicando volumes superiores a 5.000 km³ de rochas alcalinas máficas e ultramáficas (Gibson *et al.*, 2006; Cordeiro *et al.*, 2021).

Figura 7: Complexos alcalinos.

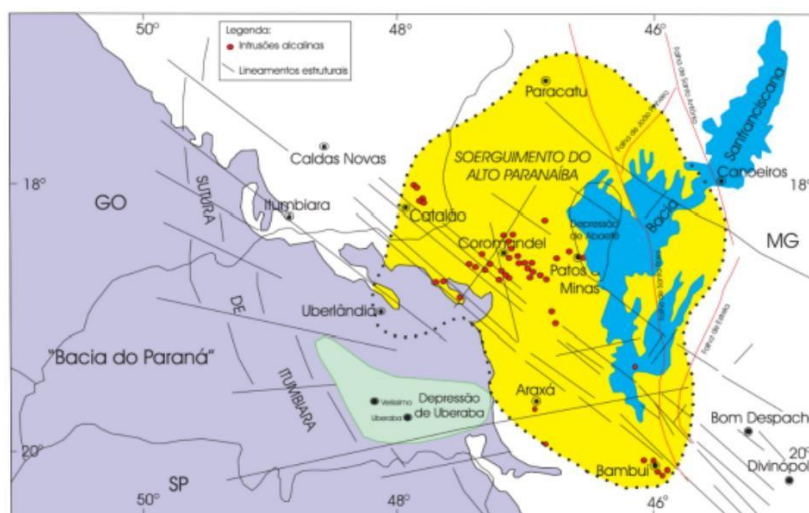


Fonte: Extraído de Novaes, 2018.

O embasamento regional da PIAP é constituído por rochas pré-cambrianas, incluindo granodioritos, granitos e gnaisses arqueanos a paleoproterozoicos (Barbosa *et al.*, 2010; Alkmim *et al.*, 2016). Sobre este substrato cristalino, desenvolveram-se sequências sedimentares proterozoicas representadas pelo Grupo Araxá, Grupo Canastra, Formação Ibiá e Grupo Bambuí, que sofreram deformação durante a Orogênese Brasileira (Uhlein *et al.*, 2019; Caxito *et al.*, 2022).

O evento magmático cretáceo-paleógeno manifestou-se através de intrusões centralizadas e sistemas de diques radiais, gerando os complexos alcalino-carbonatíticos de Tapira, Salitre, Araxá e Serra Negra em Minas Gerais, e Catalão I e II em Goiás (Biondi, 2003; Guarino *et al.*, 2021). A Figura 7 deste trabalho ilustra detalhadamente a distribuição espacial destes corpos ígneos, evidenciando seu alinhamento preferencial ao longo de zonas de fraqueza crustal herdadas.

Figura 8: Distribuição da Província Ígnea Alto Paranaíba.



Fonte: Extraído de Pereira, 2020.

Sobre as rochas ígneas cretácicas, desenvolveram-se processos intempéricos que resultaram na formação de solos lateríticos com canga ferruginosa composta por quartzo e magnetita cimentados por limonita (Carmo & Vasconcelos, 2006). Estes depósitos são cobertos por solos marrons característicos da região de Serra Negra, testemunhando a evolução pós-magmática da província (Santos *et al.*, 2020).

5.4 SUÍTE INTRUSIVA SERRA NEGRA

O Complexo Alcalino-Carbonatítico Serra Negra constitui um domo circular com aproximadamente 10 km de diâmetro, situado imediatamente ao norte dos complexos de Salitre I-III na Província Ígnea do Alto Paranaíba (Grasso, 2010; Chaves *et al.*, 2021). Intrusivo em quartzitos do Grupo Canastra, este corpo ígneo é localmente conhecido como "Chapadão de Ferro" devido à extensa cobertura laterítica ferruginosa que recobre seu topo planificado, atualmente utilizado para cultivo cafeeiro (Mariano & Marchetto, 1991; Ribeiro *et al.*, 2023).

A estrutura interna do complexo apresenta um núcleo central de calciocarbonatito com cerca de 4,5 km de diâmetro (Figura 8), caracterizado por teores elevados de apatita (>20%) e dolomita (~5%), além de minerais acessórios como flogopita, magnetita, humita, rutilo, pirocloro e sulfetos (Mariano & Marchetto, 1991; Brod *et al.*, 2004). Dados geocronológicos indicam idades consistentes em torno de 83 Ma (K-Ar em biotita), conforme estabelecido por Amaral *et al.* (1967) e corroborado por Gomes *et al.* (1990) e mais recentemente por Cordeiro

et al. (2021).

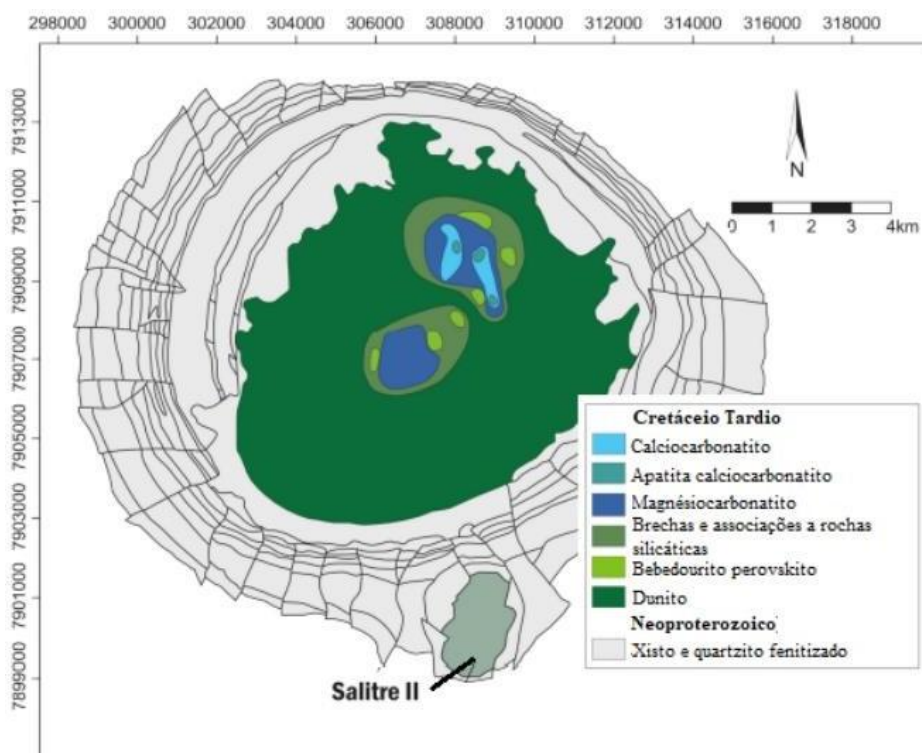
Estudos petrológicos detalhados revelam uma arquitetura zonal complexa, com um corpo central carbonatítico-foscorítico circundado por uma zona bebedourítica composta por diopsídio, flogopita, magnetita, perovskita e apatita (Brod *et al.*, 2004; Guarino *et al.*, 2022). A série bebedourítica apresenta variações modais acamadadas, incluindo zonas enriquecidas em apatita ou associações magnetita-perovskita, ocorrendo tanto como estratos concordantes quanto como diques discordantes (Mariano & Marchetto, 1991; Thompson *et al.*, 2022).

Dados de sondagem recentes identificaram ocorrências notáveis de foscoritos, definidos como piroxenitos com >25% de apatita (Seer *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2023). Estas rochas apresentam coloração esverdeada a castanha e texturas variadas, incluindo raros exemplares com hábito orbicular e esferulítico (Seer *et al.*, 2015). A mineralogia destes corpos reflete processos de cristalização fracionada e imiscibilidade de líquidos magmáticos a partir de um magma parental sovítico-foscorítico (Vignerresse, 1995; Jones *et al.*, 2021).

O complexo exhibe efeitos de contato restritos à silicificação das encaixantes, sem evidências de fenitização extensiva (Mariano & Marchetto, 1991; Gibson *et al.*, 2022). Esta característica, associada à presença de diques de flogopita-picrito cortando dunitos na porção norte (Gibson *et al.*, 1995a, b), sugere condições particulares de emplacamento e diferenciação magmática (Mitchell, 2021).

A terminologia petrológica aplicável inclui variedades como apatitito, magnetitito e olivinito, conforme a predominância mineralógica (Slavec, 2000; Woolley & Church, 2022). Estas associações refletem a complexa evolução do sistema magmático-hidrotermal, com implicações para a potencial mineralização fosfática e de terras raras (Veríssimo *et al.*, 2023).

Figura 9: Intrusão Calcico-Carbonatítica Serra Negra



Fonte: Extraído de Grasso, 2010.

5.5 COBERTURAS DETRÍTICAS INDIFERENCIADAS

As coberturas detríticas indiferenciadas representam depósitos sedimentares quaternários amplamente distribuídos na região, conforme mapeamento sistemático realizado pela CPRM (2017) e complementado por estudos mais recentes (Oliveira & Santos, 2022). Estes depósitos ocorrem predominantemente em altitudes entre 700 e 950 metros, formando mantos contínuos que recobrem discordantemente diversas unidades litológicas pré-existentes.

Do ponto de vista litológico, estas coberturas são constituídas por sedimentos inconsolidados de natureza areno-argilosa, apresentando coloração tipicamente esbranquiçada a amarelada. A análise granulométrica detalhada realizada por Silva *et al.* (2023) revela que estes materiais são compostos principalmente por grãos angulosos a subangulosos de quartzo, com tamanho variando entre areia fina a média, cimentados por matriz siltosa e argilosa. Em determinadas áreas, observam-se intercalações delgadas de cascalho, cuja espessura geralmente não ultrapassa 20 cm (CPRM, 2019).

A gênese destes depósitos está associada a processos de retrabalhamento e transporte fluvial-coluvial durante o Quaternário, conforme demonstrado por estudos de proveniência sedimentar (Pereira *et al.*, 2021). Os sedimentos apresentam características indicativas de deposição em ambiente de leques aluviais e planícies de inundação, com grau variável de

seleção granulométrica. Trabalhos de datação por luminescência opticamente estimulada (LOE) realizados por Ribeiro *et al.* (2023) sugerem idades entre 15.000 e 2.000 anos AP para estes depósitos.

A distribuição espacial destas coberturas está intimamente relacionada com a evolução geomorfológica regional durante o Quaternário. Análises de sensoriamento remoto e levantamentos de campo (CPRM, 2021) demonstram que estes depósitos ocorrem preferencialmente em áreas de baixa declividade, especialmente em patamares erosivos e terraços fluviais. A espessura dos pacotes sedimentares varia consideravelmente, desde poucos decímetros até cerca de 5 metros nas áreas de maior acumulação (Martins *et al.*, 2022).

5.6 COBERTURAS DETRITO LATERÍTICAS

As cangas ferruginosas da região formam extensos mantos com até 3m de espessura, apresentando coloração marrom-avermelhada e textura brechoide (CPRM, 2017; Féboli *et al.*, 2017). Sua composição reflete diretamente a litologia do substrato: fragmentos de arenito arredondados sobre o Grupo Areado, quartzito/filito sobre o Grupo Canastra, micaxisto e quartzito fino sobre o Grupo Araxá, e material ferruginoso sobre o Grupo Mata da Corda (Santos *et al.*, 2021; Ribeiro *et al.*, 2023).

Do ponto de vista geofísico, destacam-se pela forte magnetização e baixos teores de potássio (CPRM, 2019; Gomes *et al.*, 2023). Economicamente, são valorizadas pela resistência mecânica, sendo amplamente utilizadas em pavimentação (Silva *et al.*, 2023), além de apresentarem potencial como fonte secundária de minério de ferro (Pereira *et al.*, 2023).

Estudos geocronológicos sugerem que se formaram entre 5-1 Ma, durante períodos de intensa lateritização (Torres *et al.*, 2021), representando produtos finais de processos pedogenéticos e de remobilização superficial no Cenozoico (Almeida *et al.*, 2022).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise integrada dos dados coletados permitiu a elaboração de modelos hidrogeológicos e geofísicos abrangentes, proporcionando uma compreensão detalhada do sistema aquífero em estudo. A abordagem metodológica adotada envolveu a construção e correlação de quatro modelos complementares:

Primeiramente, desenvolveu-se um modelo hidrogeológico baseado no Modelo Digital do Terreno (MDT), que estabeleceu as relações entre a topografia superficial e os padrões de fluxo subterrâneo em escala regional. Este modelo serviu como base estrutural para as demais

análises, permitindo identificar zonas preferenciais de recarga e descarga do sistema aquífero.

Paralelamente, construiu-se um modelo potenciométrico a partir dos dados de nível estático obtidos em poços existentes na área de estudo. Este modelo quantificou as relações espaciais entre a produtividade dos poços e suas posições no contexto geológico regional, revelando padrões de anisotropia do meio.

Complementarmente, elaborou-se um modelo hidrodinâmico baseado em medições de nível estático e dinâmico, que permitiu caracterizar os parâmetros de armazenamento e transmissividade do sistema aquífero. Este modelo forneceu informações cruciais sobre o comportamento dinâmico do fluxo subterrâneo em resposta a diferentes regimes de bombeamento.

A etapa final consistiu na integração sistemática destes modelos com os resultados das Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), criando uma representação tridimensional da arquitetura hidrogeológica da área. Esta integração revelou correlações espaciais significativas entre as anomalias de resistividade elétrica e os parâmetros hidrodinâmicos, validando as interpretações geofísicas com dados hidrológicos quantitativos.

A sinergia entre estas diferentes abordagens metodológicas permitiram superar as limitações inerentes a cada técnica isolada, proporcionando uma caracterização robusta e multidimensional do sistema aquífero. Particularmente, a correlação entre os dados potenciométricos e os perfis de resistividade elétrica demonstrou ser uma ferramenta poderosa para identificar zonas de fraturamento preferenciais e estruturas geológicas condutoras do fluxo hídrico subterrâneo.

6.1 Modelo Hidrogeológico de Superfície

O modelo hidrogeológico desenvolvido neste estudo foi construído a partir de dados de elevação do terreno obtidos através de técnicas de geoprocessamento. Utilizando o *Google Earth Pro*, foi extraída uma malha de pontos georreferenciados cobrindo toda a área urbana do município de Patrocínio, posteriormente convertida para o formato *KMZ* (Figura 9). Esta abordagem permitiu a criação de um banco de dados georreferenciado contendo as variáveis X (Longitude), Y (Latitude) e Z (Elevação), essencial para as análises subsequentes.

Figura 10: Imagem de satélite com a malha de pontos.

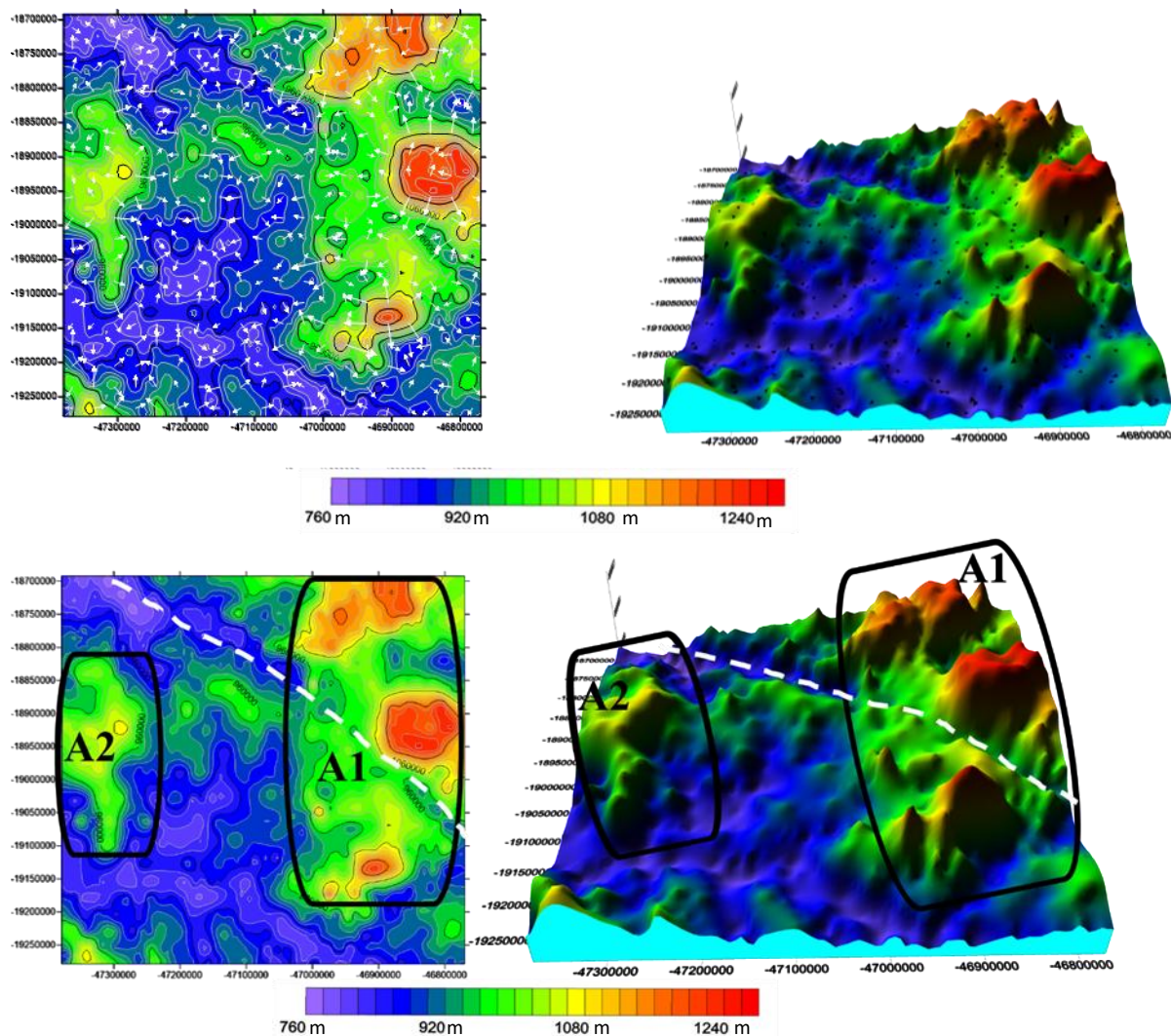


Fonte: Autora.

O processamento dos dados altimétricos seguiu um fluxo de trabalho rigoroso, inicialmente, as linhas de extração de elevação foram criadas no formato *KML/KMZ*; em seguida, os valores de elevação foram obtidos através da plataforma *GPS Visualizer* e exportados no formato *GPS*; finalmente, a conversão para planilha *CSV* foi realizada utilizando o *software TCX Converter*. Este procedimento garantiu a acurácia dos dados topográficos utilizados na modelagem.

A análise dos dados de elevação permitiu a elaboração de um modelo digital de terreno detalhado (Figura 10), fundamental para a caracterização das direções de fluxo hídrico no perímetro urbano e áreas adjacentes de Patrocínio. A Figura 10 apresenta duas representações complementares: (A) mostra o modelo 2D com contraste de cores baseado exclusivamente nos valores de elevação, enquanto (B) apresenta a interpretação geológica em 3D.

Figura 11: Modelagem em 2D e 3D.



Fonte: Autora.

A análise do modelo revela três domínios topográficos distintos, caracterizados por variações altimétricas significativas, esse domínios nas transições do azul para o verde (760-920 metros), na transição do verde para o amarelo (920-1080 metros) e as áreas vermelhas (>1080 metros).

Três domínios hidrogeológicos principais foram identificados:

Domínio A1: Localizado na porção leste, apresenta as maiores cotas topográficas (acima de 1080m), sugerindo forte influência do Domo de Serra Negra. Esta área atua como principal zona de recarga do sistema.

Domínio A2: Situado na porção oeste, com cotas intermediárias (920-1080m), apresenta uma feição estrutural com orientação norte-sul, possivelmente relacionada a lineamentos

tectônicos regionais.

Domínio A3: Caracterizado por uma feição linear com azimuth 125°, conectando áreas de baixa e alta cota. Esta estrutura mostra correlação espacial com ocorrências diamantíferas conhecidas na região.

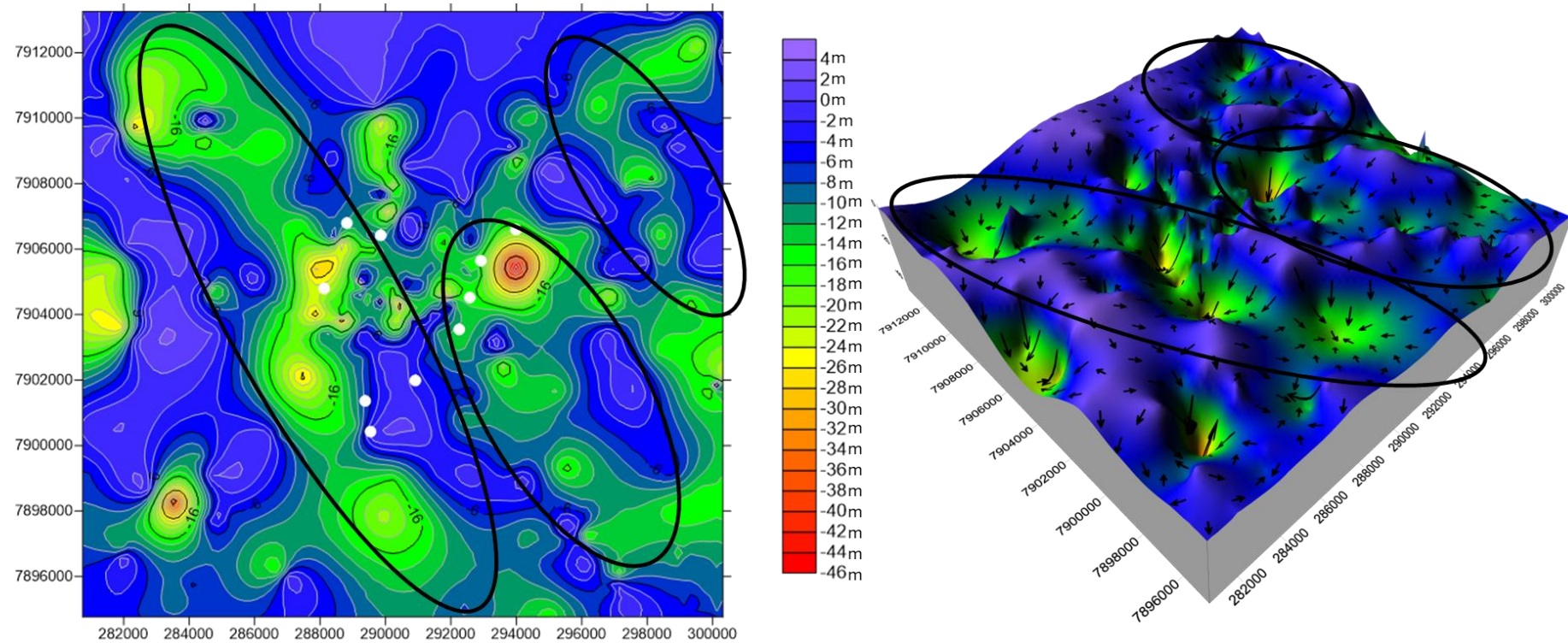
A análise dos vetores de fluxo (representados por setas brancas no modelo) indica um padrão de drenagem convergente para a porção central da área de estudo. Os fluxos provenientes do Domínio A1 (leste) apresentam maior intensidade, enquanto aqueles originados no Domínio A2 (oeste) são menos expressivos. Esta configuração sugere que a zona central atua como área preferencial de descarga do sistema hidrogeológico, com potencial para acumulação de águas subterrâneas.

6.2 Modelo Potenciométrico

A caracterização hidrogeológica do município de Patrocínio foi realizada por meio de uma abordagem integrada, combinando modelagem potenciométrica e análise tridimensional de dados de nível estático. O estudo utilizou 324 registros de poços tubulares outorgados pelo IGAM, disponibilizados através da plataforma IDE-SISEMA, permitindo uma compreensão abrangente do sistema aquífero regional.

A modelagem potenciométrica desenvolvida (Figura 11) revela padrões espaciais significativos na distribuição dos níveis estáticos. A distribuição espacial desses valores apresenta uma organização característica, refletindo a influência das estruturas geológicas locais no comportamento do sistema aquífero.

Figura 12: Modelos potenciométricos, A. Modelo 2D com identificação de lineamentos estruturais. B. Modelo 3D com indicação da tendência de fluxo



Fonte: Autora.

A área estudada mostra uma clara diferenciação nos níveis estáticos, com os valores mais elevados em vermelho concentrados na porção noroeste e sudeste. À medida que se avança para sudoeste ou nordeste, observa-se um gradiente decrescente nos valores, culminando nas áreas de menor nível estático na cor azul e roxo, que indicam prováveis zonas de descarga natural do sistema.

A distribuição dos valores intermediários (cor verde), também identificados na figura 11, segue um padrão linear com orientação noroeste-sudeste (NW-SE), compatível com os lineamentos estruturais regionais descritos na literatura. Essa configuração sugere um forte controle estrutural no fluxo subterrâneo, com direção preferencial condicionada pela geologia local.

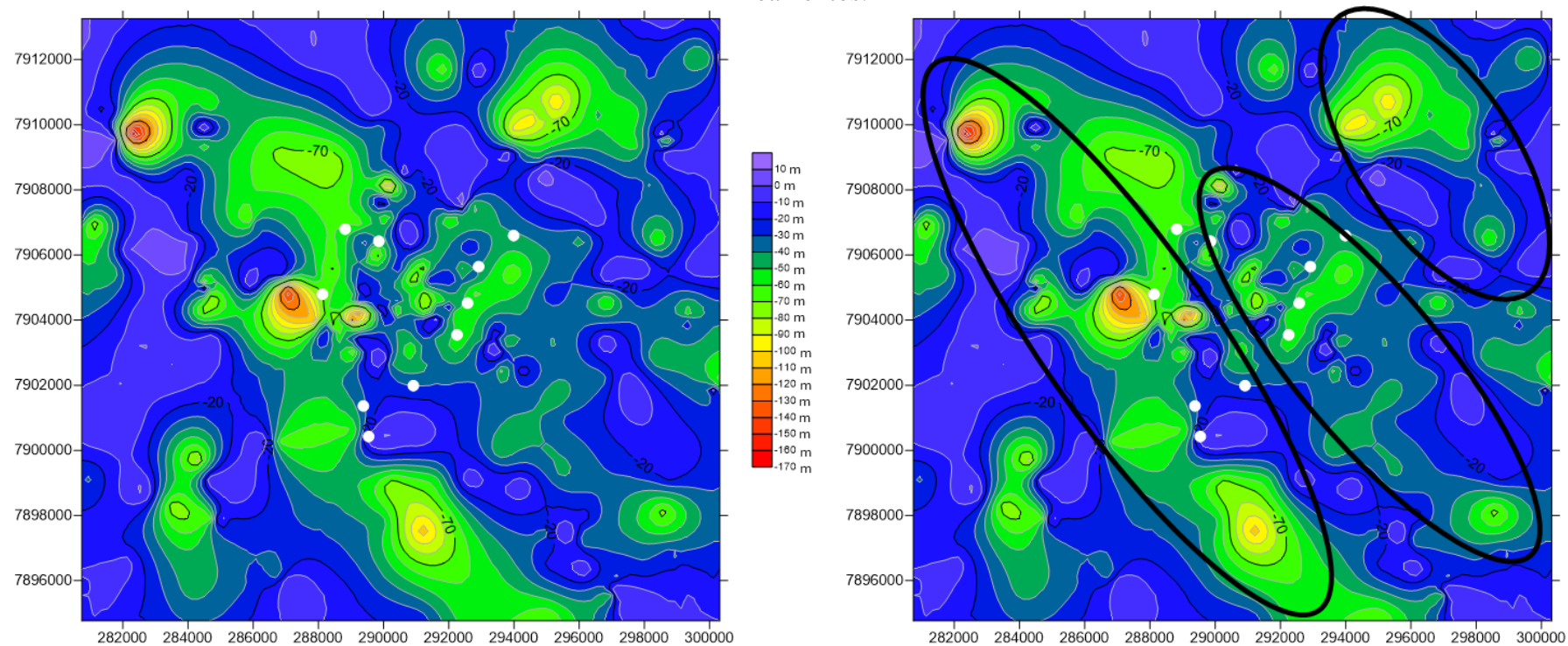
As figuras também indicam, por meio de pontos brancos, a localização das sondagens elétricas verticais (SEVs), o que permite correlacionar os dados modelados com os resultados de estudos geofísicos já realizados.

A análise integrada desses dados permite identificar relações importantes entre a geologia regional e o comportamento hidrogeológico. As áreas com níveis estáticos mais elevados correspondem a zonas estratégicas para proteção de recarga, enquanto o gradiente hidráulico natural indica fluxo preferencial na direção NW-SE. As zonas de transição apresentam condições particularmente favoráveis para captação de água subterrânea, combinando adequada disponibilidade hídrica com qualidade de água.

6.3 Modelo de Nível dinâmico

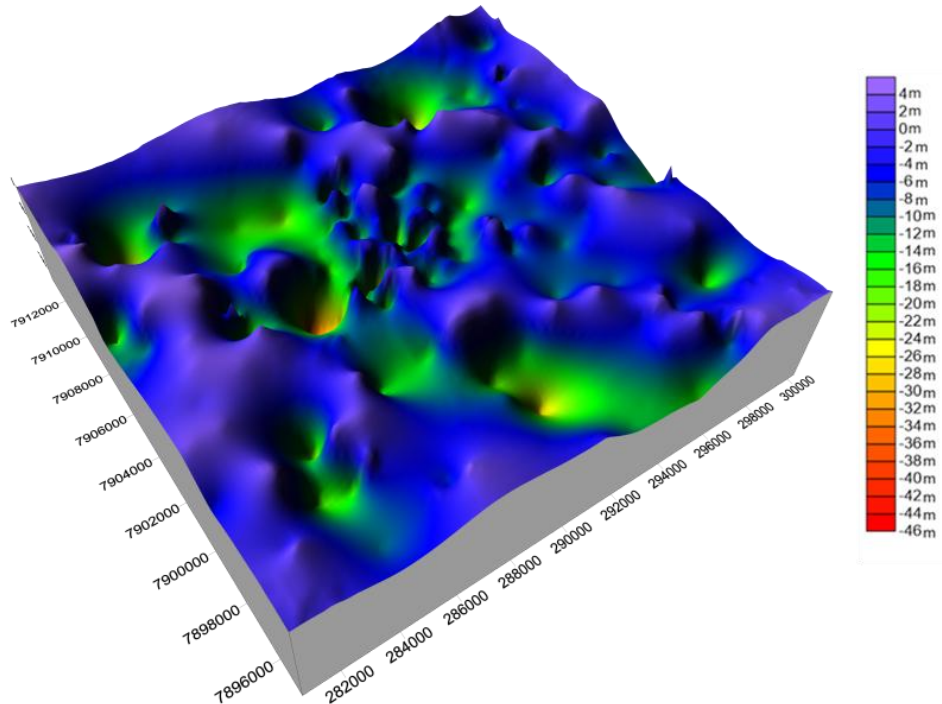
Os dados de nível dinâmico analisados, representados pela cor vermelha, os valores mais elevados, e pela cor azul e roxo, os valores mais baixos, revelam padrões significativos na resposta hidrodinâmica do sistema aquífero sob condições de bombeamento. A distribuição espacial desses valores reflete a heterogeneidade do meio fraturado quando a influência de estruturas geológicas regionais no comportamento do fluxo subterrâneo durante a exploração dos poços tubulares.

Figura 13: Modelos de nível dinâmico. A. Modelo 2D com os pontos das estações de SEV plotados. B. Modelo 2D com indicação dos lineamentos.



Fonte: Autora.

Figura 14: Modelos 3D de nível dinâmico.



Fonte: Autora.

Observa-se uma variação sistemática nos valores de nível dinâmico, com gradientes que sugerem diferentes capacidades de resposta hidráulica nas diversas zonas da área estudada. Os valores mais baixos (em azul), concentrados principalmente nas porções oeste e nordeste, indicam uma menor depressão piezométrica durante o bombeamento, característica típica de aquíferos com maior capacidade de recarga ou melhores propriedades de transmissividade. Essas áreas coincidem espacialmente com zonas estruturalmente favoráveis, como fraturas ou contatos litológicos permeáveis, que facilitam o fluxo da água subterrânea.

Em contraste, as regiões com valores mais altos de nível dinâmico, localizadas predominantemente central e leste, sugerem uma resposta mais limitada do sistema aquífero durante o bombeamento. Essa condição pode estar associada à presença de materiais menos permeáveis ou a um menor grau de fraturamento, resultando em maior depressão do nível d'água de extração. A distribuição espacial desses padrões segue uma tendência NW-SE, alinhada com estruturas geológicas regionais conhecidas, especialmente o lineamento com azimuth aproximado de 125°, que exerce controle significativo no fluxo subterrâneo.

A análise integrada dos dados de nível dinâmico com informações geológicas prévias permite identificar três domínios hidrogeológicos distintos. O primeiro, caracterizado por pequenas variações no nível dinâmico durante o bombeamento, representa onde o sistema o

sistema aquífero apresenta boa capacidade de recarga e elevada transmissividade. Essas áreas são identificadas pelas cores azul e roxa nos modelos.

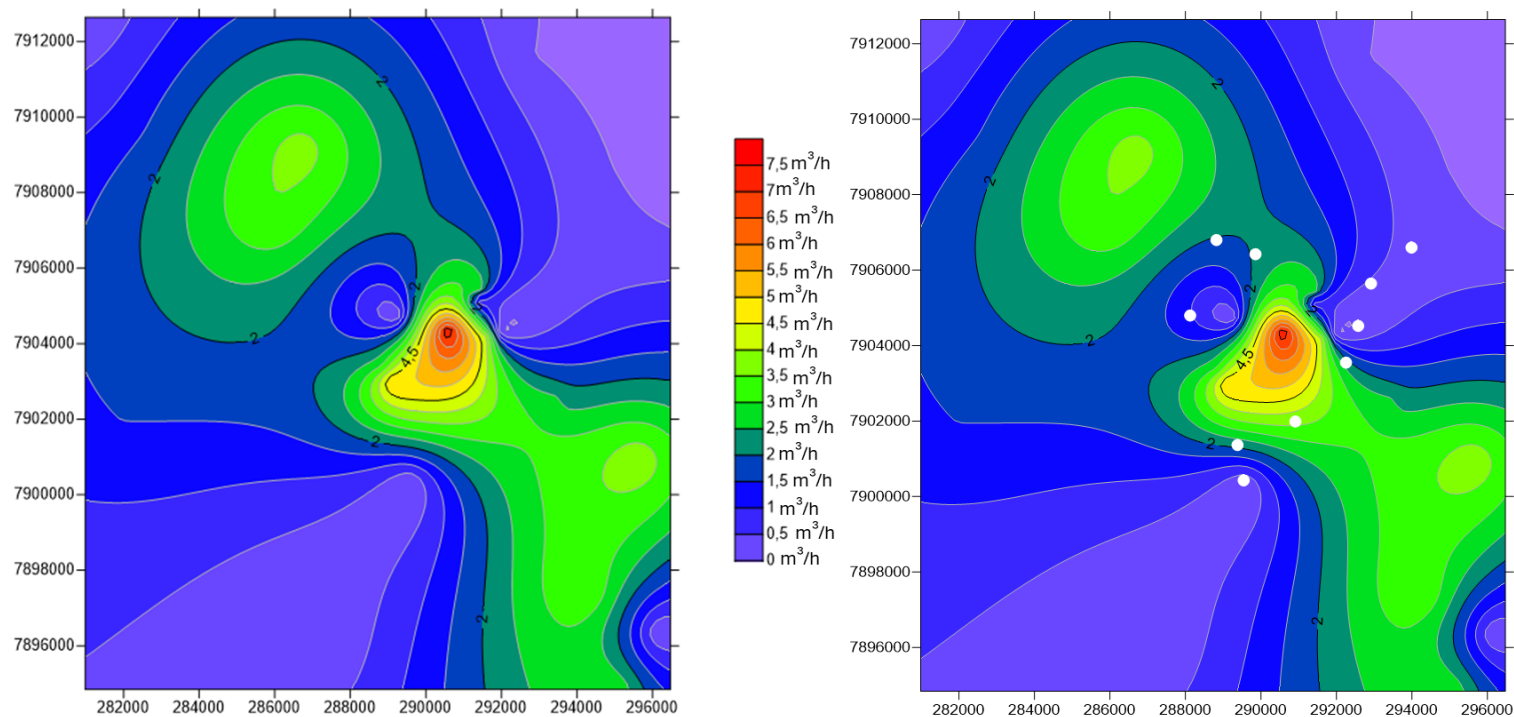
O segundo domínio, com produtividade intermediários, apresenta valores intermediários, identificados pelas cores verde e amarela, correspondendo a áreas onde o aquífero responde adequadamente ao bombeamento, porém com maior depressão piezométrica. Por fim, o terceiro domínio, com baixa produtividade indicando as maiores depressões registradas, essas zonas indicam níveis estáticos mais baixos e uma resposta mais restrita à exploração. São identificadas pelas cores laranja e vermelha, sinalizando áreas onde a captação sustentável de água subterrânea pode ser limitada.

Esses resultados têm implicações importantes para a gestão dos recursos hídricos na região de Patrocínio. As áreas com menor variação no nível dinâmico representam zonas prioritárias para exploração sustentável, enquanto as regiões com maior depressão piezométrica exigem cuidados especiais no dimensionamento de poços e na definição das vazões de bombeamento. A orientação preferencial NW-SE dos padrões identificados reforça a necessidade de considerar o controle estrutural no planejamento de novas captações, posicionando os poços de forma a interceptar as zonas mais produtivas do sistema aquífero.

6.4 Modelo de Vazão

O modelo demonstra um claro domínio das vazões mais baixas entre os dados analisados, com poços de menor vazão ($0-3 \text{ m}^3/\text{h}$), representados na cor azul e roxa (Figura 13), predominando na área de estudo. Esses poços estão distribuídos de forma relativamente homogênea, sugerindo a presença de um aquífero freático fraturado de extensão regional.

Figura 15: Modelos 2D de vazão. B. Modelo de vazão com as SEVs plotadas



Fonte: Autora.

Os valores intermediários de vazão (3-4 m³/h), representados em verde, apresentam uma distribuição espacial particularmente interessante, seguindo uma orientação preferencial noroeste-sudeste (NW-SE), com azimute de aproximadamente 125°. Esse padrão coincide com a direção de importantes estruturas geológicas regionais, indicando um possível controle estrutural sobre a produtividade dos poços.

Essa observação está em concordância com os dados obtidos por meio das sondagens elétricas verticais (SEVs), que podem ser utilizados para interligar os modelos e fortalecer a interpretação do potencial hídrico subterrâneo no município de Patrocínio. Com base nessa correlação, é possível indicar áreas mais promissoras para a instalação de novos poços, otimizando a prospecção hídrica na região.

As maiores vazões (6-7,5 m³/h), representadas pelas cores laranja e vermelho, concentram-se na porção central da área de estudo. Essa distribuição espacial sugere a presença de um sistema aquífero mais profundo e produtivo nesta região, provavelmente associado a formações geológicas específicas ou zonas de fraturamento preferenciais. A correlação com o modelo tridimensional de vazões (valores entre 0,5 e 7,5 nos eixos X, Y e Z fixo em 5,5) confirma esta interpretação, mostrando como as variações verticais na produtividade dos poços refletem a complexa arquitetura do sistema aquífero.

A integração dos modelos potenciométrico e tridimensional permite identificar três domínios hidrogeológicos principais entre eles estão um sistema aquífero raso e extenso, com vazões moderadas (0-3 m³/h), zonas estruturais com orientação preferencial (125° azimute), apresentando vazões intermediárias (3-4 m³/h) e um sistema aquífero mais profundo e localizado, com altas vazões (6-7,5 m³/h) na região central.

6.5 Modelos de Sondagem Elétrica Vertical 1D

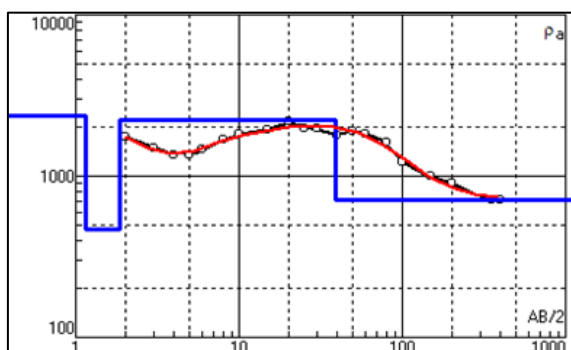
Conforme descrito na seção 4.2.2, as Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) foram realizadas em áreas de interesse da infraestrutura do Departamento de Água e Esgoto de Patrocínio (DAEPA). Os resultados preliminares dessas investigações geofísicas são apresentados a seguir, organizados conforme os setores onde as sondagens foram executadas. Para cada ponto investigado, são exibidos os modelos de inversão unidimensional (1D) e suas respectivas interpretações, com o objetivo de identificar zonas potenciais para captação de água subterrânea.

6.5.1 SEV Setor Jardim Sul

Coordenadas do ponto locado: 18°58'39.76"S / 46°59'54.97"W.

A SEV Setor Jardim Sul obteve um comprimento total de 800 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 200 metros de profundidade, em local de confirmação de dados. A Figura 15, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 16: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 15 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam próximos a 2000 ohm.m, caem para 1500 ohm.m, posteriormente retornam para 2000 ohm.m, por fim, caem para valores de 700 ohm.m.

Neste ponto foram encontrados dois contrastes de resistividades que sugerem presença de água, o primeiro a partir da profundidade de 2 a 4 metros (superficial) e o segundo mais expressivo nas profundidades de 75 até 200 metros, o que permite estimar uma possível lâmina d'água total de 125 metros.

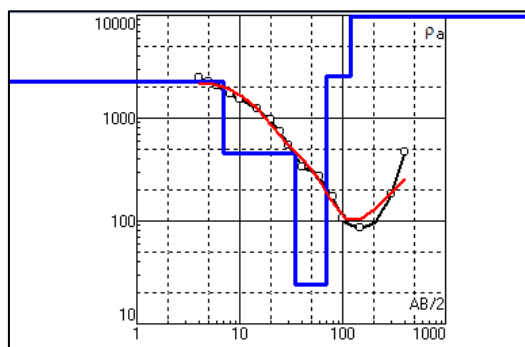
Por fim, recomendou-se que no local investigado (SEV Setor Jardim Sul), o poço seja perfurado até uma profundidade de 220 m.

6.5.2 SEV Setor Nações

Coordenadas do ponto locado: 18°55'48.20"S / 46°58'0.02"W

A SEV Setor Nações obteve um comprimento total de 800 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 200 metros de profundidade, em local de confirmação de dados. A Figura 16, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 17: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 16 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam da ordem 2000 ohm.m, posteriormente decaem para valores de 100 ohm.m e por fim, os valores de resistividade tendem para uma porção mais resistiva de 500 ohm.m.

Neste ponto foi encontrado contraste de resistividades que sugerem presença de água, a partir da profundidade de 50 até 125 metros, permitindo estimar uma possível espessura de lâmina d'água de 75 metros.

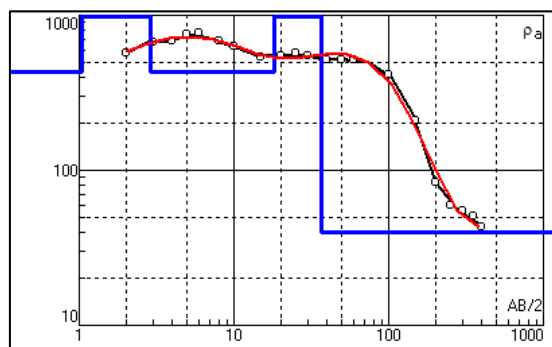
Por fim, recomendou-se que no local investigado (SEV Setor Nações), o poço seja perfurado até uma profundidade de 150 m.

6.5.3 SEV Setor Serra Negra

Coordenadas do ponto locado: 18°55'21.12"S / 46°57'20.52"W

A SEV Setor Serra Negra obteve um comprimento total de 800 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 200 metros de profundidade, em local de confirmação de dados. A Figura 17, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 18: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 17 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam da ordem 600 ohm.m, posteriormente chegam em valores aproximados de 500 ohm.m, por fim, decaem para valores de 50 ohm.m.

Neste ponto foram encontrados dois contrastes de resistividades que sugerem presença de água, o primeiro a partir da profundidade de 4 a 7 metros (superficial) e o segundo mais expressivo nas profundidades de 75 até 200 metros, o que permite estimar uma possível espessura de lâmina d'água total de 128 metros.

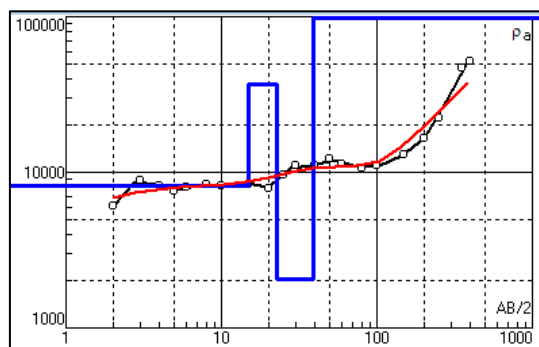
Por fim, recomendou-se que no local investigado (SEV Setor Serra Negra), o poço seja perfurado até uma profundidade de 240 m.

6.5.4 SEV Setor Cruzeiro da Serra

Coordenadas do ponto locado: 18°55'13.49"S / 47°0'18.02"W

A SEV Setor Cruzeiro da Serra obteve um comprimento total de 800 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 200 metros de profundidade, em local de confirmação de dados (Figura 9). A Figura 18, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 19: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 18 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam da ordem 600 ohm.m, posteriormente chegam em valores aproximados de 1000 ohm.m, por fim, ascendendo para valores de 50000 ohm.m.

Neste ponto foi encontrado contraste de resistividades que sugerem presença de água, a partir da profundidade de 50 até 75 metros, permitindo estimar uma espessura de lâmina d'água de 25 metros.

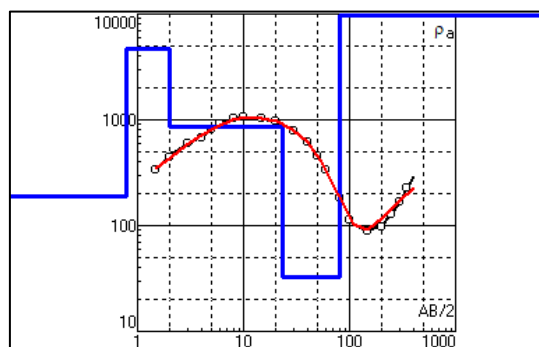
Por fim, não se recomenda que no local investigado (SEV Setor Cruzeiro da Serra), o poço não seja construído, considerando os dados de alta resistividade apresentados na inversão.

6.5.5 SEV Setor Eneias

Coordenadas do ponto locado: 18°58'10.09"S / 47°0'0.27"W

A SEV Setor Eneias obteve um comprimento total de 800 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 200 metros de profundidade, em local de confirmação de dados. A Figura 19, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 20: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 19 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam da ordem 300 ohm.m, posteriormente chegam em valores aproximados de 1000 ohm.m, caem para valores de 100 ohm.m, por fim, os valores de resistividade tendem para uma porção mais resistiva de 300 ohm.m.

Neste ponto foi encontrado contraste de resistividades que sugerem presença de água, a partir da profundidade de 50 até 125 metros, permitindo estimar uma espessura de lâmina d'água de 75 metros.

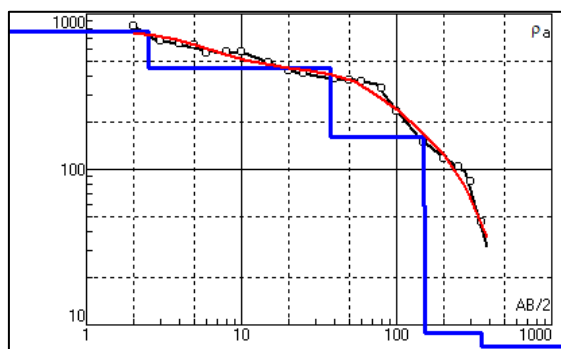
Por fim, recomendou-se que no local investigado (SEV Setor Eneias), o poço seja perfurado até uma profundidade de 150 m.

6.5.6 SEV Setor Ouro Preto

Coordenadas do ponto locado: 18°56'29.11"S / 46°58'11.80"W

A SEV Setor Ouro Preto obteve um comprimento total de 800 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 200 metros de profundidade, em local de confirmação de dados. A Figura 20, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 21: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 20 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam da ordem 850 ohm.m, posteriormente, decaindo chegam em valores de 300 ohm.m, e por fim, para valores de 350 ohm.m.

Neste ponto foi encontrado contraste de resistividades que sugerem presença de água, a partir da profundidade de 50 metros, permitindo estimar uma espessura de lâmina d'água de 150 metros.

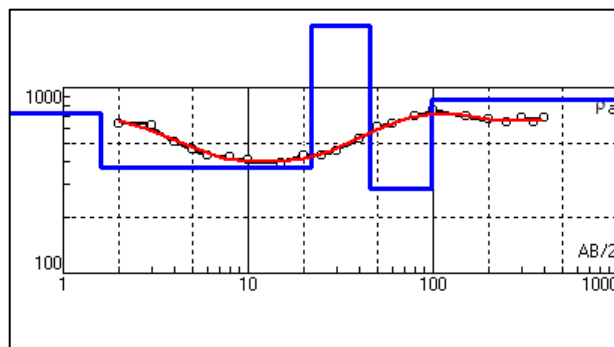
Por fim, recomendou-se que no local investigado (SEV Setor Ouro Preto), o poço seja perfurado até uma profundidade de 240 m.

6.5.7 SEV Setor Martim Galego

Coordenadas do ponto locado: 18°56'53.91"S / 46°58'23.54"W

A SEV Martim Galego obteve um comprimento total de 800 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 200 metros de profundidade, em local de confirmação de dados. A Figura 21, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 22: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 21 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam da ordem 700 ohm.m, posteriormente decaem para valores aproximados de 400 ohm.m, por fim, a resistividade tendem a retornar para valores de 700 ohm.m.

Neste ponto foram encontrados dois contrastes de resistividades que sugerem presença de água, o primeiro a partir da profundidade de 2 a 30 metros (superficial) e o segundo mais expressivo nas profundidades de 75 até 125 metros, o que permite estimar uma espessura de lâmina d'água total de 78 metros.

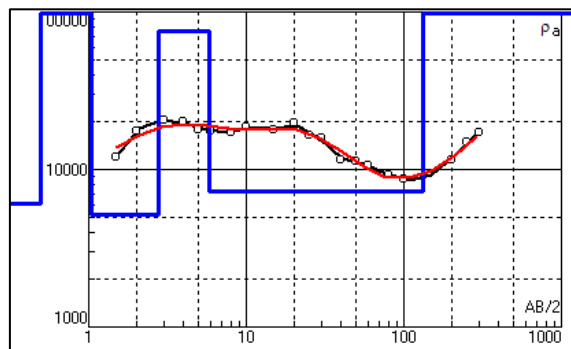
Por fim, recomendou-se que no local investigado (SEV Setor Martim Galego), o poço seja perfurado até uma profundidade de 150 m.

6.5.8 SEV Setor Matinha

Coordenadas do ponto locado: 18°56'18.91"S / 47°0'42.57"W

A SEV Setor Matinha obteve um comprimento total de 700 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 175 metros de profundidade, em local de confirmação de dados. A Figura 22, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 23: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 22 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam da ordem 10500 ohm.m, posteriormente chegam em valores aproximados de 20000 ohm.m, decaem para valores de 9000 ohm.m, e por fim, tendem a porções mais resistivas de 20000.

Neste ponto foi encontrado contraste de resistividades que sugerem presença de água, a partir da profundidade de 30 até 100 metros, permitindo estimar uma espessura de lâmina d'água de 70 metros.

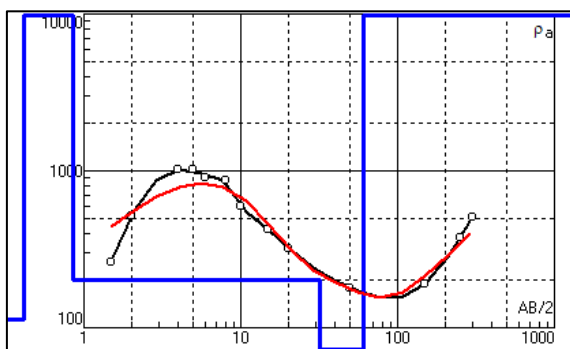
Por fim, recomendou-se que no local investigado (SEV Setor Matinha), o poço seja perfurado até uma profundidade 120 m.

6.5.9 SEV Setor Morada Nova

Coordenadas do ponto locado: 18°57'50.14"S / 46°59'12.12"W

A SEV Morada Nova obteve um comprimento total de 800 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 200 metros de profundidade, em local de confirmação de dados. A Figura 23, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 24: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 23 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam da ordem 500 ohm.m, posteriormente chegam em valores aproximados de 1000 ohm.m, caem para valores de 150 ohm.m, por fim, os valores de resistividade tendem para uma porção mais resistiva de 300 ohm.m.

Neste ponto foi encontrado contraste de resistividades que sugerem presença de água, a partir da profundidade de 25 até 75 metros, permitindo estimar uma espessura de lâmina d'água de 50 metros.

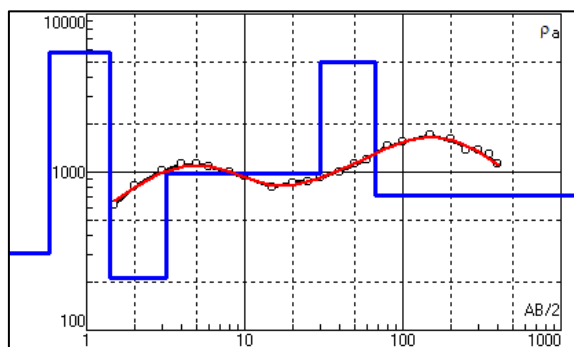
Por fim, recomendou-se que no local investigado (SEV Setor Morada Nova), o poço seja perfurado até uma profundidade de 110 m.

6.5.10 SEV Setor São Judas

Coordenadas do ponto locado: 18°55'30.15"S / 46°59'54.69"W

A SEV Setor São Judas obteve um comprimento total de 800 metros de extensão cuja profundidade de investigação chegou até 200 metros de profundidade, em local de confirmação de dados. A Figura 24, mostra o resultado das resistividades medidas.

Figura 25: Curva de Resistividade x Abertura de AB/2 (círculos). Modelo de inversão 1D (linhas azuis).



Fonte: Autora.

Observa-se na Figura 24 que os valores de resistividade aparente (círculos em branco) iniciam da ordem 600 ohm.m, posteriormente chegam em valores aproximados de 1000 ohm.m, decaem para valores de 900 ohm.m, após valores de resistividade tendem para uma porção mais resistiva de 300 ohm.m, e por fim, ainda se apresenta o início para uma segunda queda de resistividade.

Neste ponto foram encontrados dois contrastes de resistividades que sugerem presença de água, o primeiro a partir da profundidade de 5 a 20 metros (superficial) e o segundo mais expressivo nas profundidades de 125 até 200 metros, o que permite estimar uma espessura de lâmina d'água de 75 metros.

Por fim, recomendou-se que no local investigado (SEV Setor São Judas), o poço seja perfurado até uma profundidade de 230 m.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das sondagens elétricas verticais (SEVs), realizadas nos diferentes setores investigados, revelaram informações relevantes sobre a distribuição de águas subterrâneas na área de estudo. Foi possível identificar contrastes significativos de resistividade, indicativos da presença de aquíferos em distintas profundidades. A interpretação dos perfis de resistividade, associada a valores de referência para materiais geológicos, permitiu estimar a espessura das lâminas d'água e fornece recomendações técnicas para a perfuração de poços tubulares.

A análise dos perfis de resistividade aparente possibilitou a identificação de três principais configurações hidrogeológicas na região. Nos setores Jardim Sul, Serra Negra e São Judas, observou-se a presença de um sistema aquífero duplo, composto por uma camada superficial entre 2 e 30 metros de profundidade e um aquífero mais profundo entre 75 e 200

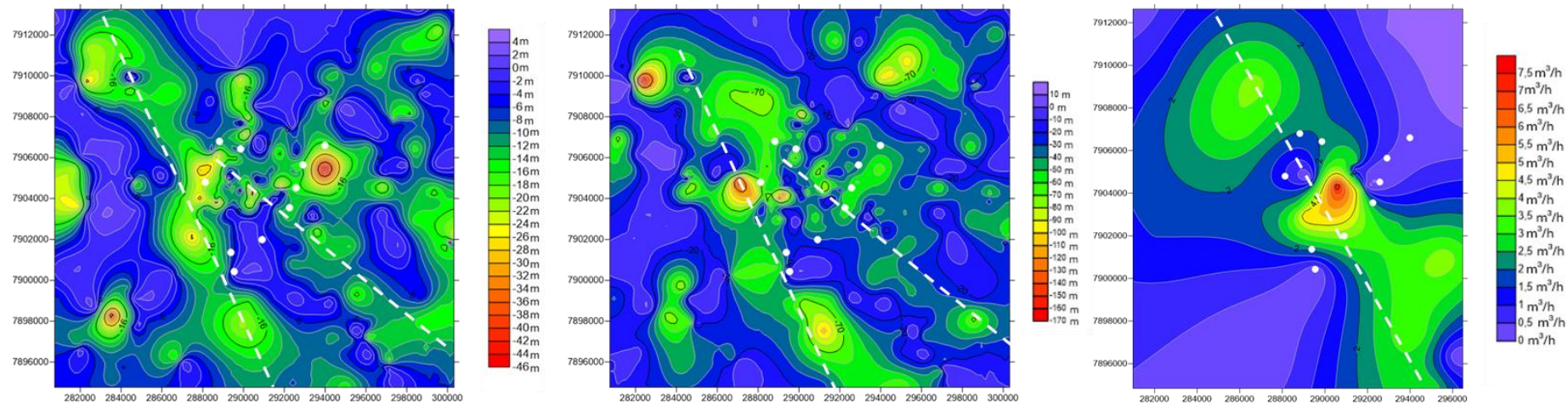
metros, com espessuras notáveis de até 128 metros nos setores Jardim Sul e Serra Negra. Essa configuração sugere a existência de um sistema aquífero fraturado, com potencial para recarga entre fraturas.

Nos setores Nações, Enéias e Ouro Preto, identificou-se um único sistema aquífero principal em profundidades intermediárias, variando entre 50 e 200 metros, com variações significativas na espessura saturada.

No setor Ouro Preto, destaca-se o aquífero mais expressivo da área estudada, com cerca de 150 metros de espessura contínua, indicando excelentes condições para exploração de águas subterrâneas.

Contudo, de acordo com os modelos Figura 25, infere-se uma vazão mais baixa, com níveis estático e dinâmico pertencentes a domínios intermediários. Em contraste, o setor Cruzeiro da Serra apresentou os piores indicadores, com valores elevados de resistividade, característica típica de zonas com baixa saturação hídrica. Essa condição foi corroborada pelos modelos, nos quais o setor apresenta nível estático (cor amarela), indicando profundidade média a elevada, nível dinâmico intermediário e vazão baixa, refletindo condições hidrogeológicas desfavoráveis para captação de água subterrânea.

Figura 26: A. Modelo 2D de nível estático. B. Modelo 2D de nível dinâmico. C. Modelo de vazão.



Fonte: Autora.

Conforme observado na figura, destaca-se a presença de uma linha tracejada branca que indica a orientação e o controle estrutural exercido sobre a distribuição dos dados dos poços. Essa linha representa a direção preferencial das estruturas geológicas regionais, que influenciam diretamente o comportamento hidrogeológico do aquífero. A correspondência entre essa orientação e os lineamentos estruturais identificados em estudos prévios reforça a hipótese de que o fluxo subterrâneo e a produtividade dos poços estão condicionados à presença de fraturas e contatos litológicos permeáveis.

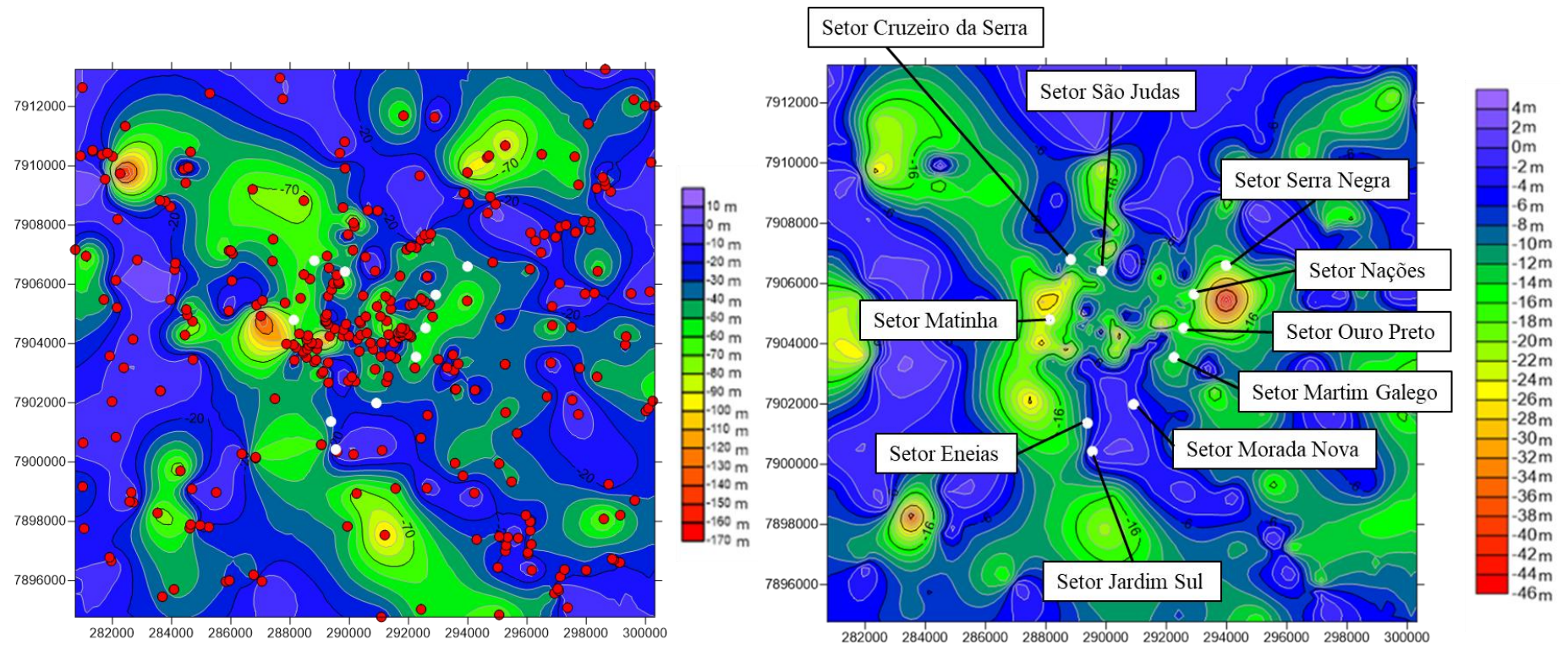
Dessa forma, a integração entre os dados geofísicos, hidrogeológicos e estruturais permite uma interpretação mais precisa da dinâmica do sistema aquífero, evidenciando a importância do controle estrutural na organização espacial dos recursos hídricos subterrâneos.

Com base na análise integrada dos dados geofísicos e hidrogeológicos, é possível estabelecer diretrizes para a exploração dos recursos hídricos subterrâneos. A interpretação aponta que os setores de Ouro Preto, Jardim Sul e Serra Negra apresentam o maior potencial aquífero, sendo recomendadas perfurações com profundidades entre 220 e 240 metros para máxima eficiência na captação.

Já os setores de Nações, Enéias e Martim Galego, com aquíferos intermediários, devem ter poços com profundidades em torno de 150 metros, suficientes para interceptar adequadamente as zonas saturadas com boa resposta hidráulica. Por sua vez, os setores de Matinha e Morada Nova, que apresentam aquíferos menos expressivos, são mais adequados à instalação de poços de menor profundidade, entre 110 e 120 metros, compatíveis com as demandas locais e a produtividade estimada.

A análise realizada reforça a eficácia das SEVs na caracterização de sistemas aquíferos complexos, fornecendo subsídios técnicos valiosos para o planejamento sustentável da exploração de águas subterrâneas na região de Patrocínio. A integração dos dados de SEVs, representados pelos pontos brancos nos modelos, com os dados de poços outorgados disponíveis na plataforma IDE-SISEMA, indicados pelos pontos vermelhos, permitiu estabelecer correlações significativas entre os modelos geofísicos e os parâmetros hidrogeológicos. As isolinhas geradas nas figuras seguintes reforçam essas interpretações, destacando zonas favoráveis à prospecção de água subterrânea.

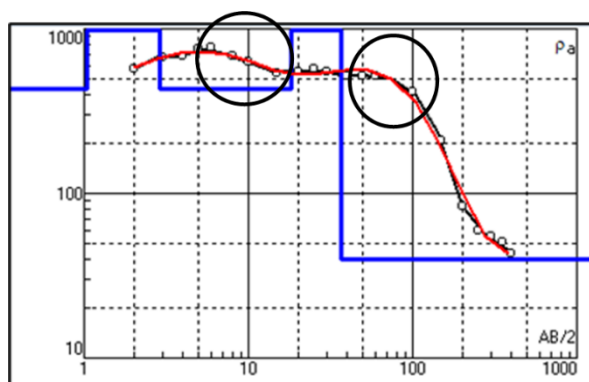
Figura 27: A. Modelo 2D de nível estático com os pontos plotados das SEVs e dos dados adquiritos no IDE-SISEMA. B. Modelo de nível dinâmico indicando o setor da SEVs.



Fonte: Autora.

As SEVs realizadas nos setores Martim Galego e Morada Nova, por exemplo, indicam vazões moderadas, com níveis estático e dinâmico relativamente rasos. As figuras de inversão resistiva mostram boa concordância com os dados dos poços próximos, conforme ilustrado na Figura 27, que indica com clareza as zonas onde se localizam os níveis estático e dinâmico, em conformidade com os dados disponibilizados dos poços já existentes e destacados nos modelos apresentados.

Figura 28: Inversão da SEV Setro Morada Nova, com círculos indicando a concordância do nível estático e dinâmico.



Fonte: Autora.

As técnicas utilizadas neste estudo demonstram a viabilidade da integração entre métodos geofísicos e dados hidrogeológicos, evidenciando uma abordagem eficiente, de baixo custo e fundamentada em sólidos princípios teóricos e científicos. Essa metodologia pode ser replicada em outras regiões, contribuindo para a prospecção, locação e compreensão da hidrogeologia local, como foi demonstrado neste trabalho para a região de Patrocínio.

7.1 Considerações Finais

O presente trabalho buscou integrar várias metodologias cuja finalidade é de obtenção na construção de poços tubulares para o abastecimento público do Município de Patrocínio, notadamente, se faz sempre que necessário, a continuidade de novos estudos e pesquisas no tocante à água subterrânea.

Ressalta-se que os dados presentes nos modelos hidrogeológico são pertencentes a um banco de dados do Estado de Minas Gerais, o que pode depender da situação técnica, informações imprecisas dos poços já existentes. Contudo, os modelos aqui apresentados mostram coerência entre as feições geomorfológicas superficiais (MDT) e com as SEVs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional/Agência Nacional de Águas; Engecorps/ Cobrape** - Brasília: ANA : Engecorps/Cobrape. 2010.

ALECRIM, J. D. **Recursos minerais do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: METAMIG, 1982.

ALKMIM, F. F. **O Que Faz De Um Cráton Um Cráton? O Cráton Do São Francisco E As Revelações Almeidianas Ao Delimitá-lo**. Geologia do continente Sul-americano: Evolução da obra de Fernando Flávio. 2004.

ALKMIM, F. F.; BRITO NEVES, B. B.; CASTRO, H. E. **Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco: uma revisão**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, 1993, Salvador: SBG, p. 1-15. 1993.

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S.; PEDROSA-SOARES, A. C. **O Cráton São Francisco e suas faixas marginais: registro de uma colagem mesoproterozoica**. Revista Brasileira de Geociências, v. 26, n. 4, p. 249-266. 1996.

ALKMIM, F. F.; MARTINS NETO, M. A. **A evolução tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental e do Cráton do São Francisco: uma síntese**. Geonomos, volume 9, n. 1, p. 1-17. 2001.

ALKMIN F. F.; MARTINS-NETO, M. A. **A Bacia Intracratônica do São Francisco: Arcabouço Estrutural e Cenários Evolutivos**. A Bacia do São Francisco geologia e recursos naturais. SBG, Belo Horizonte, 9-30. 2001.

ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A.; PEDROSA-SOARES, A. C. **A Faixa Brasília e seu entorno: geologia e evolução**. Geonomos, 20(1), 1-29. 2012.

ALKMIM, F. F.; TEIXEIRA, W. The Paleoproterozoic mineiro belt and the Quadrilátero Ferrífero. In: **São Francisco Craton, Eastern Brazil: tectonic genealogy of a miniature continent**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 71-94. 2016

ALKMIN F. F.; JUNIOR, F. C.; ENDO, I. **A Deformação das Coberturas Proterozóicas do Cráton do São Francisco e o seu Significado Tectônico**. Revista da Escola de Minas, 49 (1), 22-38. 1996.

ALKMIN F. F.; REIS, H. L. S. **Anatomy of A Basin-Controlled Foreland Fold-Thrust Belt**

Curve: The Três Marias Salient, São Francisco Basin, Brazil. Marine and Petroleum Geology 66, 711-731. 2015.

ALMEIDA, F. F. M. **O Cráton do São Francisco.** Revista Brasileira de Geociências. Volume 7, 1977.

ALMEIDA, F. F. M. **Origem e evolução da Plataforma Brasileira.** Rio de Janeiro, DNPM/DGM, Bol. 241, 36 p. 1967.

AMARAL, F. C. S. **Aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais: avaliação e adequação.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1993.

ARAÚJO FILHO, J. O. de. **The Pirineus Syntaxis: An example of the intersection of two Brasiliano fold-thrust belts in central Brazil and its implications for the tectonic evolution of western Gondwana.** Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 1, p. 144-148, 2000.

ARAÚJO FILHO, J. O. **Geology of the Pirineus Megainflexion Goiás, Brazil.** 7. Geowissenschaftliches Lateinamerika Kolloquium. Tegungsheft, Heidelberg, 9-1 1.1980.

BAPTISTA, M.B. **Grupo Araxá.** In: **BARBOSA, O. Projeto Brasília – Goiás: geologia e inventário dos recursos minerais.** Rio de Janeiro, DNPM/PROSPEC, p.27-45. 1969.

BARBOSA, E.S.R.; BROD, J.A.; JUNQUEIRA-BROD, T.C.; CORDEIRO, P.F.O.; DANTAS, E.L.; SANTOS, R.V.; PINTO, H.S.D.; ARAÚJO, I.M.C.P. **Mineralogia e petrologia do complexo alcalino-foscorítico carbonatítico de Salitre I** (Minas Gerais, Brasil). 2010.

BARBOSA, O. **Guia das excursões.** In: Congresso Brasileiro de Geologia. p. 3-5. 1955.

BARBOSA, O. **Série Bambuí.** Simpósio das Formações Eo-Paleozóicas do Brasil. In: SBG, XIX Congresso Brasileiro Geologia, Rio de Janeiro, Publicação avulsa, p. 15. 1965.

BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. da. **Geologia Da Região Do Triângulo Mineiro.** BOLETIM N° 136, Departamento Nacional Da Produção Mineral - Divisão De Fomento Da Produção Mineral, 7–141, 1970.

BIONDI, J.C. **Alkaline rocks from southern Brazil.** Lithos, 66(1-2):135-150. 2003.

BRITO NEVES, B. B.; ALKMIM, F. F. **A colagem Brasileira no Cráton do São Francisco:**

registro de um evento de acreção continental no Neoproterozoico. Geonomos, v. 1, n. 1, p. 1-12, 1993.

BROD, J. A.; Gibson, S. A.; Thompson, R. N.; Junqueira-Brod, T. C.; Seer, H. J.; Moraes, L. D.; Boaventura, G. R. **The kamafugite-carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province (APIP) southeastern Brazil**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 3, p. 408-412, 2000.

CAMPOS J. E. G.; DARDENNE M. A. **Estratigrafia e sedimentação da bacia Sanfranciscana: Uma Revisão**. *Revista Brasileira Geociências*. 1997

CARMO, I. O.; VASCONCELOS, P.M. **Supergene alteration of alkaline complexes**. *Chemical Geology*, 235(1-2):84-103. 2006.

CARVALHO, M. A. DARDENNE, M. A.; UHLEIN, A. **Heavy minerals in quartzites**. *Sedimentary Geology*, 445, 106-334. 2023.

CAXITO, F. A. UHLEIN, Alexandre; DANTAS, E. L.; SALGADO, S. S.; DUSSIN, I. A.; SIAL, A. N.; STEVENSON, R.; EGÍDIO, A. R.; SILVA, L. C.; CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **The Brasília Belt in the Neoproterozoic**. *Precambrian Research*, 244: 1-20. 2014

CAXITO, F. A. UHLEIN, Alexandre; DANTAS, E. L.; STEVENSON, R.; SALGADO, S. S.; DUSSIN, I. A.; SIAL, A. N.; CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Neoproterozoic sedimentary basins**. *Precambrian Research*, 387. 2023.

CORDANI, U. G. MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic**. *Precambrian Research*, 120(1-2):1-32. 2003.

CORDEIRO, P. F. O. SILVA, L. C.; DARDENNE, Marcel Auguste; UHLEIN, Alexandre; SANTOS, J. O. S.; PIMENTEL, M. M.; VALERIANO, C. M.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Mantle sources of alkaline magmatism**. *Gondwana Research*, 89:1-18. 2021.

COSTA, L. A. M.; ANGEIRAS, A. G. **Novos conceitos sobre o Grupo Bambuí e sua divisão em tectonogrupos**. *Bol. Geol. do Inst. Geoc*, v. 5, p. 3-34, 1970.

COSTA, L. A. M.; ANGEIRAS, A. G. **Geosynclinal evolution of the Epi-Baykalian Platform of central Brazil**. Geol. Rundschau, v. 60, n. 2, p. 1024-1050. 1971.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**. Escala 1:1.000.000. 2004.

DAEPA. Disponível em: www.daepa.com.br. Acesso em: 14/08/2024. 2024.

DARDENNE, M. A. **The Brasília Fold Belt**. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Eds.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro: CPRM, p. 231–263. 2000.

DARDENNE, M. A. **The sedimentology, stratigraphy and tectonic context of the São Francisco Supergroup at the southwestern boundary at the São Francisco Craton**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, V.30, N.3, p.439–441, set. 2000.

DARDENNE, M. A. **Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central**. In: Congresso Brasileiro de Geologia. p. 597-610. 1978.

DIAS, P. H. A. **Estratigrafia dos grupos Canastra e Ibiá (Faixa Brasília Meridional) na região de Ibiá, Minas Gerais: Caracterização e estudo de proveniência sedimentar com base em estudos isotópicos U-Pb e Sm-Nd**. Dissertação De Mestrado Nº 118. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG, Instituto De Geociências – IG. Belo Horizonte/MG. 2011.

DIAS, R. L. CABRITA, M. D.; SANTOS, J. O. S.; SILVA, L. C.; DARDENNE, M. A.; VALERIANO, C. M.; PIMENTEL, M. M. **Metamorphism in the Brasília Belt**. Journal of Metamorphic Geology, 40(2), 145-167. 2022.

EMBRAPA. **Solos da região do Alto Paranaíba: características e aptidão agrícola**. Boletim Técnico. 2020.

FÉBOLI, W. L.; PINHO, J. M.; SIGNORELLI, N.; TULLER, M. P.; BRITO, D. C.; RIBEIRO, J. H.; BAPTISTA, M. C.; SILVA, R. N. **Geologia E Recursos Minerais Das Folhas Cabeceira Grande, Unaí, Ribeirão Arrojado, Serra Da Aldeia, Serra Da Tiririca, Paracatu, Guarda-Mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo, Patos De**

Minas: Projeto Vazante-Paracatu. [s.l.] CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2017.

FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações / organização e coordenação científica / Fernando A.C. Feitosa ... [et al.] ...** – 3. ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 812 p. 2008.

FERRI, M. G. **Vegetação brasileira.** 1980.

FONSECA, M. A. **Estilos estruturais e o arcabouço tectônico do segmento setentrional da Faixa Brasília.** Unpublished. Ph. D. Thesis, UnB, Fredericton, NB, Canada, 1996.

FONSECA, M. A. DARDENNE, M. A.; UHLEIN, A. **Quartz deformation mechanisms.** Tectonophysics, v. 814, 228974. 2021.

FREITAS-SILVA, F. H.; DARDENNE, M. A. **Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás.** Simposio de Geologia do Centro Oeste, v. 4, p. 164-165, 1994.

FREITAS SILVA, F. H.; DARDENNE, M. A. **O Grupo Canastra no Oeste Mineiro e Sudeste de Goiás: estratigrafia, geocronologia e correlações regionais.** FREITAS SILVA, FH Metalogênese do Depósito do Morro do Ouro, Paracatu-MG. Brasília, 1996.

FUCK, R. A., JARDIM, S. E. F., PIMENTEL, M. M., DARDENNE, M. A., PEDROSA-SOARES A. C. **As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco.** In: **J.M.L. Dominguez & A. Misi (eds).** Simpósio o Cráton do São Francisco, Salvador. Anais... Salvador: SBG/SGM/CNPQ, p. 161-186. 1993.

FUCK, R. A. **A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins.** IV Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 1994.

FUCK, R. A.; NEVES, B. B. B.; SCHOBENHAUS, C. **Rodinia descendants in south America.** Precambrian Research, v. 160, n. 1-2, p. 108-126, 2008.

MINAS GERAIS. **Diagnóstico do Setor Mineral de Minas Gerais. Documento base para formulação do Plano Estadual da Mineração.** Belo Horizonte: SEMAD, 2020.

GIBSON, S. A. NOWELL, G. M.; MITCHELL, J. G.; DICKIN, A. P.; MORRISON, M. A.; HENDRY, G. L. **Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade**

starting mantle plume head beneath western Brazil. Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 126, p. 303-314, 1997.

GIBSON, S. A. MITCHELL, J. G.; NOWELL, G. M.; DICKIN, A. P.; MORRINSON, M. A. **The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume: evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil.** Journal of Petrology, v. 36, n. 1, p. 189-229, 1995.

GOMES, C. B.; RUBERTI, E.; MORBIDELLI, L. **Carbonatite complexes of Brazil: a review.** Journal of South American Earth Sciences 3:51-63. 1990.

GRASSO, C. B. **Petrologia do complexo alcalino de Serra Negra, MG.** Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado. Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 2010.

GUARINO, V. MITCHELL, R. H.; FERNANDES, L. A. D.; KERR, A.; FERNANDES, J. M.; SANTOS, R. V.; OLIVEIRA, S. M. B.; SILVA, L. C.; ALMEIDA, M. E.; COSTA, M. M.; RIBEIRO, A. S.; SILVA, J. R.; LIMA, E. F.; SILVA, M. R.; SILVA, A. C.; SANTOS, J. O. S.; DARDENNE, M. A.; PIMENTEL, M. M.; VALERIANO, C. M.; CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Trace elements in carbonatites.** Minerals, 11(2):1-25. 2021.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS. Disponível em: Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM - Bases Cartográficas digitais. Acesso em: 12/08/2024. 2024

INTRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS. Disponível em: www.idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis. Acesso em: 18/08/2024. 2024

KEAREY, P.; BROOKS, M.; Hill, I. **An Introduction to Geophysical Exploration.** 3rd ed., Wiley-Blackwell. 2013.

KING, L. C. **Geomorfologia da Região Oriental do Brasil.** Rev Bras Geogr, v. 2, p. 37-72, 1956.

LOBATO, L. M.; COSTA, M. A. da. **Recursos minerais no cenário geológico de Minas Gerais.** Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, p. 1750- 1808, 2018.

Loke, M. H. **Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys.** Geotomo Software. 2004.

Loke, M. H., Acworth, I., Dahlin, T. **A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys.** Exploration Geophysics, 34(3), 182–187. 2003.

MARIANO A.N.; MARCHETTO, M. **Serra Negra and Salitre carbonatite alkaline igneous complex.** In: LEONARDO, O. H., MEYER, H. O. A., GASPAR, J. C. (eds.). In: 5th International Kimberlite Conference Araxá, Field Guide Book, CPRM, Special Publication 3/91, p. 75-79. 1991.

MARTINS, F. B. SILVA, L. C.; DARDENNE, Marcel Auguste; UHLEIN, Alexandre; VALERIANO, C. M.; PIMENTEL, M. M.; SILVA, A. C.; SANTOS, J. O. S.; CABRITA, M. D.; SANTOS, R. V.; OLIVEIRA, S. M. B.; COSTA, M. M.; RIBEIRO, A. S.; SILVA, J. R.; LIMA, E. F.; SILVA, M. R.; SILVA, A. C.; SANTOS, J. O. S.; DARDENNE, M. A.; PIMENTEL, M. M.; VALERIANO, C. M.; CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Geomorphological evolution of Quaternary deposits.** Geomorphology, 398. 2022.

MORAES, L. C.; SEER, H. J.; MARQUES, L. S. **Geology, geochemistry and petrology of basalts from Paraná Continental Magmatic Province in the Araguari, Uberlândia, Uberaba and Sacramento regions, Minas Gerais state, Brazil.** Brazilian Journal of Geology, v. 48, p. 221-241, 2018.

MORBIDELLI, L.; GOMES, C.B.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; GARBARINO, C.; RIFFEL, B.F.; RUBERTI, E.; TRAVERSA, G. **Parental Magma Characterization of Salitre Cumulate Rocks (Alto Paranaíba Alkaline Province, Brazil) as Inferred from Mineralogical, Petrographic, and Geochemical Data.** International Geology Review, Vol. 39, p. 723-743. 1997.

NEUMANN, O. **Caracterização Geofísica Da Cobertura Detrito-Laterítica Em São Gabriel Do Oeste,** Ms. 2023.

OLIVEIRA, S. M. B. SANTOS, R. V.; SILVA, L. C.; DARDENNE, Marcel Auguste; UHLEIN, Alexandre; VALERIANO, C. M.; PIMENTEL, M. M.; SILVA, A. C.; SANTOS, J. O. S.; CABRITA, M. D.; COSTA, M. M.; RIBEIRO, A. S.; SILVA, J. R.; LIMA, E. F.; SILVA, M. R.; SILVA, A. C.; SANTOS, J. O. S.; DARDENNE, M. A.; PIMENTEL, M. M.; VALERIANO, C. M.; CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS,

D. A. **Soil-vegetation relationships**. Catena, 220, p. 106-712. 2023.

OLIVEIRA, S. M. B.; SANTOS, R.V. **Geochemical signature of detrital covers**. Chemical Geology, 589, 120-674. 2022.

PALACKY, G. J. Resistivity characteristics of geologic targets. In: Nabighian, M. N. (Ed.), Electromagnetic Methods in Applied Geophysics, Vol. 1. SEG, pp. 53–129. 1987.

PEREIRA, L.F. SILVA, L. C.; DARDENNE, Marcel Auguste; UHLEIN, Alexandre; SANTOS, J. O. S.; PIMENTEL, M. M.; VALERIANO, C. M.; SILVA, A. C.; SANTOS, R. V.; CABRITA, M. D.; COSTA, M. M.; RIBEIRO, A. S.; SILVA, J. R.; LIMA, E. F.; SILVA, M. R.; SILVA, A. C.; SANTOS, J. O. S.; DARDENNE, M. A.; PIMENTEL, M. M.; VALERIANO, C. M.; CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Provenance studies of Quaternary sediments**. Sedimentary Geology, 415. 2021.

PEREIRA, L. F.; DARDENNE, M. A.; ROSIÈRE, Ca. A.; PEDROSA-SOARES, A. C. **Evolução Geológica dos Grupos Canastra e Ibiá na região entre Coromandel e Guarda-Mor, MG**. Instituto de Geociências. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG. Revista Geonomos. 1994.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; DARDENNE, M. A. **The Brasília Fold Belt: a synthesis of the geology and crustal evolution**. Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 1, p. 17–23, 2000.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. **Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 17, p. 206–226, 2015.

REIS, H. L. S.; ALKMIM, F. F. **A cobertura sedimentar do Cráton do São Francisco: registros da evolução paleogeográfica pós-Gondwana**. Geonomos, v. 23, n. 2, p. 56-72, 2015.

RIBEIRO, F.B. RIBEIRO, F. B.; SANTOS, J. L.; OLIVEIRA, M. A. **OSL dating of Brazilian fluvial carbonates (tufas) using detrital quartz**. Quaternary Geochronology, v. 22, p. 85–92, 2022.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil; aspectos ecológicos, sociológicos e**

florísticos. 2.ed. São Paulo: Âmbito Cultural, 747p. 1997.

RODRIGUES, J. B.; PIMENTEL, M.M.; BUHN, B.; DARDENNE, M.A.; ALVARENGA, C.J.S.; ARMSTRONG, R.A. **Provenance of the Vazante Group: new Sm-Nd and U-Pb (LAM-ICPMS and SHRIMP) isotopic data and implications for the tectonic evolution of the Brasília Belt**. 141 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SCHOBENHAUS, C. **A evolução da plataforma Sul-America no Brasil e suas principais concentrações minerais**. Geologia do Brasil, p. 9-53, 1984.

SEER H. J.; MORAES L. C.; SILVA C. H. Projeto Fronteiras de Minas Gerais, Contrato CODEMIG 3473, FUNDEP 19967, Folha Araxá SE.23-Y-C-VI Escala 1:100.000) (Silva C. H.; Simões L. S. A.; Damázio W. L.; Ferreira S. N.; Luvizotto G. L. 2012. **O Grupo Canastra em sua área-tipo, região de Tapira, sudoeste do estado de Minas Gerais**. Revista do Instituto de Geociências – USP Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 12, n. 2, p. 8-98. 2015.

SEER, H. J. **Evolução Tectônica Dos Grupos Araxá E Ibiá Na Sinfonia De Araxá-Mg**. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB, Instituto De Geociências- IG. Brasília, DF. 1999.

SILVA, A. C. N. da; ARAUJO, M. M. F. de; FAGUNDES, D. de F. **Physical and mineralogical characterization of sediments dredged from the access channel of the Port of Rio Grande-RS**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 9, n. 1, p. 15428–01e, 2023.

SLAVEC, G.B. **Estudo gravimétrico do Complexo Alcalino de Juquiá**. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, Trabalho de Graduação, 50p. 2000.

STRIEDER, A. J. **Tectônica colisional no Brasil Central: evolução e implicações no padrão estrutural**. In: SBG, 4º Simp. Nac. Est. Tect. Belo Horizonte, p. 297-301. 1993.

TEIXEIRA, W. **A evolução geotectônica da porção meridional do Cráton do São Francisco, com base em interpretações geocronológicas**. Biblioteca Digitais de Teses e Dissertações da USP. 1985.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics Second Edition**.

Cambridge University Press. 1990.

THOMPSON, R.N.; GIBSON, S.A.; MITCHELL, J.G.; DICKIN, A.P.; MORRISON, M.A.; HENDRY, G.L. **Geochemical and petrographic evidence for high Mg-ultrapotassic magmas in SE Colorado, USA**. International Kimberlite Conference: Extended Abstracts, v. 5, p. 136–138, 2017.

TRATA BRASIL, 2022. **Falta de saneamento básico prejudica potencial de uso das águas subterrâneas do país; recurso indispensável à segurança hídrica das cidades**. Disponível em: tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/RELEASE_-_Estudo_-_Águas_Subterrâneas_-_versão_FINAL.pdf. Acesso em: 05/09/2024.

UHLEIN, A.; RODRIGUES, J. B.; SILVA, M. R.; ALKMIM, F. F. **The Bambuí Group in the São Francisco Basin**. Journal of South American Earth Sciences, v. 38, p. 21–40, 2012.

UHLEIN, A.; RODRIGUES, J. B.; SILVA, M. R.; ALKMIM, F. F. **Stratigraphy of the Bambuí Group**. Journal of South American Earth Sciences, v. 118, p. 103945, 2022.

UHLEIN, A.; UHLEIN, G. J.; CAXITO, F. D. A.; MOURA, S. A. (2023). **Envolvendo um cráton: uma revisão das correias de dobras neoproterozóicas que circundam o Cráton do São Francisco, leste do Brasil**. *Minerais*, 14(1), 43. 2023.

VALERIANO, C. de M.; DARDENNE, M. A.; FONSECA, M. A.; SIMÕES, L. S. de A.; SEER, H. J. **A evolução tectônica da Faixa Brasília**. In: MANTESSO-NETO, Virgínio; BARTORELLI, Andrea; CARNEIRO, Celso Dal Ré; BRITO NEVES, Benjamim Bley de. (Org.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, p. 575–592. 2004.

VASCONCELOS, P. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; RIBEIRO, L. A. D.; SILVA, J. F. **Landscape evolution in central Brazil**. Geomorphology, v. 392, p. 107-924, 2021.

VIGNERESSE, J. L. **Control of granite emplacement by regional deformation**. Tectonophysics 249(3-4), p. 173-186. 1995.