



**Caracterização geofísica da Cobertura Detrito-Laterítica e seu aquífero no
Chapadão de São Gabriel do Oeste, MS**

Odirlei Neumann

Pesquisador Doutor, UFMS, Brasil
odingpr@gmail.com

Sandra Garcia Gabas

Professora Doutora, UFMS, Brasil
Sandra.gabas@ufms.br

Giancarlo Lastoria

Professor Doutor, UFMS, Brasil
g.lastoria@ufms.br

RESUMO

A caracterização geofísica da cobertura detrito-laterítica existente no Chapadão de São Gabriel do Oeste-MS, de fundamental importância econômica para a agricultura da região, foi objeto de estudo desta pesquisa, destacando-se as cangas lateríticas associadas, amplamente utilizadas no revestimento primário dos mais de 3000 km de rodovias municipais. Buscou-se avaliar a eficácia do método geofísico GPR na identificação das cangas lateríticas em subsuperfície e na detecção dos contatos litológicos do TQdl com as camadas subjacentes. Foi dado um enfoque na verificação da continuidade da Formação Serra Geral na área de estudos, com obtenção do mapa de isoespessuras. Complementarmente, foi efetuada uma caracterização preliminar do aquífero relacionado à cobertura ainda não individualizada. Para alcançar tais objetivos, usou-se da obtenção de dados geofísicos com o GPR, Eletroresistividade e dados geológicos e hidrogeológicos. Como resultados finais, são apresentadas: a viabilidade de emprego do GPR na identificação das cangas; a espessura da Cobertura detrito-laterítica e seus contatos; a definição da distribuição e da espessura dos basaltos da Fm. Serra Geral e a definição do mapa potenciométrico do aquífero representado pela cobertura. Adicionalmente, obteve-se um perfil geológico buscando o melhor entendimento do arcabouço geológico-estrutural, o qual sintetiza a interpretação das relações estratigráficas na área.

PALAVRAS-CHAVE: Cobertura TQdl, Aquífero TQdl. Formação Serra Geral.

1 INTRODUÇÃO

A cobertura detrito-laterítica, de idade cenozóica, que para simplificação na sequência deste trabalho, denominou-se apenas como coberturas detrito-lateríticas, apresentam-se em diversos locais do território brasileiro e a nível mundial; muitas vezes estão associadas a depósitos minerais de alto valor agregado.

São formadas a partir do intemperismo químico de rochas ultramáficas ou não, que removem os elementos mais solúveis (Mg, Ca e Si) e concentram os menos solúveis (Fe, Ni, Mn, entre outros) (MARSH; ERIC; GRAY, 2013).

Esse tipo de cobertura foi bastante estudado em todo o mundo (BUTT; ZEEGERS, 1992; ELIAS, 2002; HORTON, 2008; OGURA, 1986). No Brasil, há estudos como os de (GOLIGHTLY, 2010; MOTTA; JÚNIOR, 2016; SEOANE et al., 2009), trabalhos que utilizaram a geofísica como metodologia de investigação.

A cobertura detrito-laterítica existente no Chapadão de São Gabriel do Oeste (SGO) têm uma grande importância geomorfológica, pois “sustentam” a escarpa (AB’SABER, 2008), hidrogeológica, tendo em vista que fornecem quase que a totalidade da água consumida na zona rural da área coberta por este Chapadão (UECHI et. al., 2022; CENTURIÃO; SILVA; GABAS, 2020; FERRARO; GABAS; LASTORIA, 2015; SOUZA et al., 2014), e ainda para a comercial e financeira, assim como para a região e para o Estado de Mato Grosso do Sul (IBGE, 2021).

Tal importância se deve ao fato de que a principal riqueza e fonte de renda da população local é a agropecuária, principalmente a produção de soja, milho e suinocultura. A base de sustentação é a qualidade do solo; ou seja, a cobertura detrito-laterítica que aqui procura-se caracterizar é o principal recurso natural e de geração de renda da região.

Adicionalmente, as cangas lateríticas, presentes nesse depósito, são, atualmente, exploradas para retirada de material para pavimentação, sendo a principal fonte desse material na região. No caso do município de São Gabriel do Oeste-MS, essas cangas lateríticas são extremamente necessárias, uma vez que, somente no município, existem mais de 3.000 km

(PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GABRIEL DO OESTE, 2022) de estradas vicinais sem asfaltamento e, portanto, necessitam ser cascalhadas periodicamente, a fim de ficarem aptas ao escoamento da safra de grão da região. Logo, as coberturas têm grande relevância econômica para a microrregião.

Todavia, em se tratando da área de estudos desta pesquisa, apesar da importância geológica/geomorfológica e econômica, nota-se a ausência de estudos específicos de caracterização geológica/geofísica dessa cobertura e, principalmente, não há nenhum estudo sobre as cangas lateríticas, o que dificulta qualquer tipo de planejamento e investimento na exploração adequada destes materiais e na correta utilização dos recursos naturais existentes na cobertura detrítico-laterítica.

Embora não tão convencional, a utilização da geofísica no planejamento mineralógico de cangas de laterita e sua, conseqüente, delimitação geoespacial em três dimensões (3D), é cada vez mais utilizada a nível nacional e mundial; particularmente o método radar de penetração no solo (GPR), possui um grande potencial para o entendimento da geologia dos projetos exploratórios, na delimitação dos recursos e de problemas de planejamento mineralógico devido à sua grande resolução.

Com base na importância dessa área, tem-se como objetivo geral desta pesquisa, a caracterização geofísica da cobertura detrítico-laterítica no Chapadão de São Gabriel do Oeste-MS e suas relações estratigráficas com as rochas subjacentes. Como caracterização geofísica, propõe-se a definição espacial da cobertura detrítico-laterítica, suas espessuras, seus contatos de base com as várias formações sotopostas a ela e a existência ou não de um extrato basáltico contínuo.

Além desse objetivo geral, tem-se como objetivos específicos as seguintes definições para a área de estudo do Chapadão de SGO:

- Definição dos contatos da Coberturas detrítico-lateríticas com as outras formações subjacentes;
- Definição da distribuição e da extensão dos derrames de basalto;
- Definição da espessura do depósito Coberturas detrítico-lateríticas;
- Definição do mapa potenciométrico da cobertura detrítico-laterítica.

A região em que a área alvo está inserida teve seu início de ocupação por volta da década de 1950 com a cafeicultura. No entanto, esta atividade mostrou-se imprópria, já que o clima com fortes geadas, que atingiram a região, provocara a morte dessa cultura; porém, a partir da década de 1970, houve uma forte expansão agrícola no município (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GABRIEL DO OESTE, 2022).

Nesta região, a precipitação anual média da região varia entre 1.500 mm e 1.750 mm, com um excedente hídrico anual de 800 mm a 1.200 mm e uma deficiência hídrica anual entre 350 mm e 500 mm (ANA, 2014). Situa-se a 609 metros de altitude.

Mais recentemente, desde o início deste século, ocorreu outra importante alteração na economia agropecuária da região, com a implantação acelerada da cadeia produtiva da suinocultura. No Estado de Mato Grosso do Sul, esta atividade foi desenvolvida em grande parte pelos imigrantes vindos da região sul do Brasil, sendo que no âmbito estadual o município de São Gabriel do Oeste-MS é hoje o maior produtor de suínos, com aproximadamente 50% da arrecadação municipal (SOUZA *et al.*, 2014).

Na área do chapadão de SGO aflora a cobertura detrito-laterítica com concreções ferruginosas de idade cenozóica, esta cobertura é o objeto da caracterização geofísica proposta para esta pesquisa.

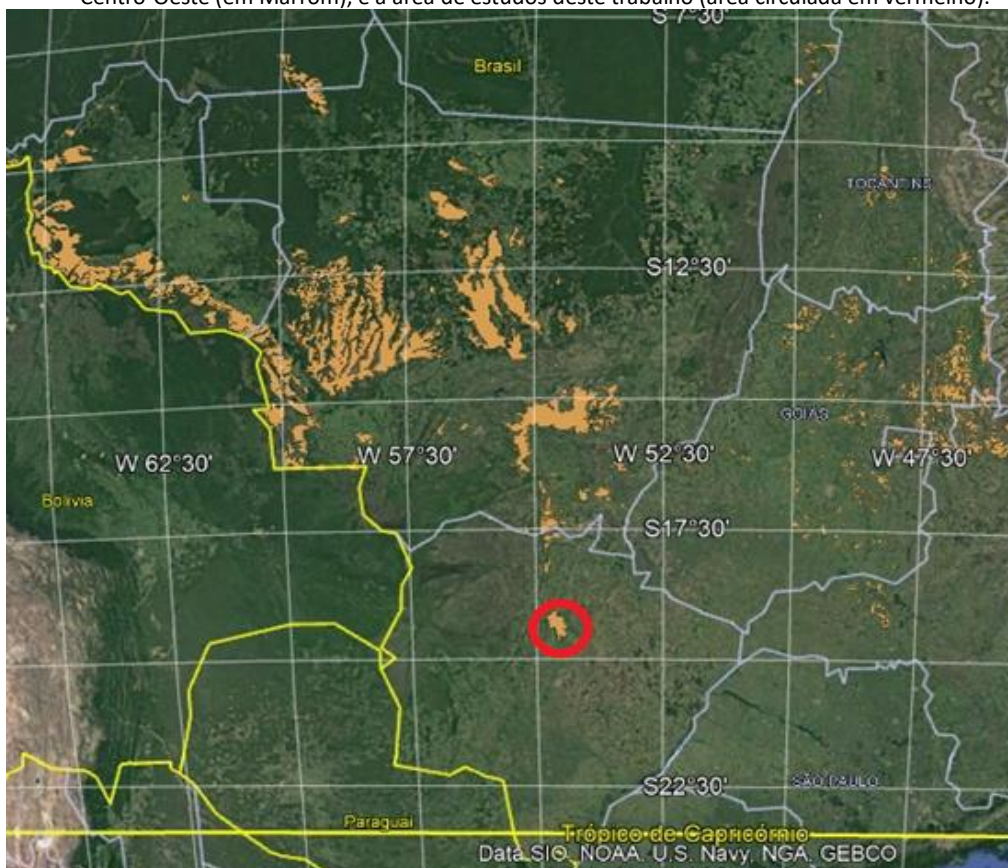
A área da cobertura detrito-laterítica é susceptível à contaminação (CENTURIÃO; SILVA; GABAS, 2020; SOUZA *et al.*, 2014); portanto, um conhecimento mais detalhado sobre a geologia desta cobertura detrito-laterítica é de grande relevância tanto para a área ambiental como econômica da região, já que a água advinda dos poços existentes na cobertura detrito-laterítica é utilizada para abastecimento das propriedades rurais e necessária para a continuidade do desenvolvimento agropecuário do município.

Em relação às fontes poluidoras, as coberturas possuem características de baixa retenção, fixação e eliminação de poluentes, com alta permeabilidade, tornando-as, assim, propícias à contaminação (ANA, 2014).

Segundo CPRM (2013), a área de estudo está classificada como DCDL e, mais especificamente, como DCDLi, na qual ocorrem as crostas ferruginosas. Ocorrem depósitos argilo-arenosos e siltico-arenosos, ricos em concreções ferruginosas; horizonte argiloso, crosta laterítica ferruginosa, concrecionária ou colunar, além materiais coluvionares e eluvionares ricos em detritos lateríticos e fragmentos de quartzo.

Conforme pode-se observar no mapa da Figura 1, há uma grande presença de cobertura detrito-laterítica, não somente na área de estudos, mas em toda região centro oeste do Brasil, caracterizadas pelas suas extensões de grande importância regional.

Figura 1 - Caracterização geológica, onde podemos ver as áreas de afloramento deste tipo de cobertura a região Centro-Oeste (em Marrom), e a área de estudos deste trabalho (área circulado em vermelho).



Fonte: Vetores (CPRM, 2006), Imagem (Google Earth, 2022), modificada pelo autor.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para orientar os trabalhos geofísicos desta pesquisa, foram utilizados dados geofísicos brutos cedidos pela ANA (2014). Porém, estes foram processados e interpretados com enfoque nos objetivos propostos por esta pesquisa, ou seja, a caracterização da cobertura detrito-laterítica e seu contato com as camadas subjacentes, além de estudos sobre a Fm. Serra Geral. Os dados brutos foram processados e interpretados buscando detalhar esta camada superficial mais rasa. Estes procedimentos são explicados abaixo ao se detalhar os métodos geofísicos, bem como as interpretações dos dados geofísicos. Tendo em vista que estas foram realizadas levando em consideração o conhecimento geológico pré-existente e utilizando as informações provenientes dos poços existentes na área.

Para a interpretação destes dados foram considerados os arenitos das formações Botucatu e Fm. Pirambóia como sendo uma só litologia, pois pertencem a um único sistema hidráulico, e a geofísica não tem resolução para uma separação correta destes extratos. Assim, as descrições que seguem estas litologias estarão unidas e denominadas apenas como Aquífero Guarani.

2.1 Metodologia geofísica por eletrorresistividade

Utilizaram-se nesta pesquisa duas técnicas diferentes do método da eletrorresistividade, sendo elas as Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) e os Caminhamentos Elétricos (CE).

Estas técnicas de medições da resistividade do solo têm como objetivo específico neste estudo uma melhor caracterização da camada detrito-laterítica, no que tange a sua distribuição e espessuras, bem como um aprofundamento no entendimento do arcabouço estrutural/estratigráfico da região, mais especificamente determinando a existência e espessuras da camada basáltica da Fm. Serra Geral.

2.1.1 Sondagens elétricas verticais (SEV's)

Os dados das SEV's foram processados com o auxílio do software Resix da empresa Interpex (INTERPEX LIMITED, 2002). Para a modelagem dos dados, utilizou-se um filtro digital linear adaptativo estilo Anderson, para matrizes mais comuns, a fim de obter contrastes de resistividade. Tendo em vista que este programa utiliza uma abordagem de regressão estilo Inman de ajuste de curva de mínimos quadrados não lineares o que possibilitou obter resultados estáveis para as inversões.

Nele, os valores das curvas de sondagem são inseridos como resistividade aparente em função do espaçamento e a modelagem direta permite calcular uma curva de sondagem de resistividade sintética para um modelo com até dez camadas.

As curvas de sondagem de resistividade são calculadas usando filtros lineares e o deslocamento de dados com segmentos de curva sobrepostos é tratado automaticamente pelo

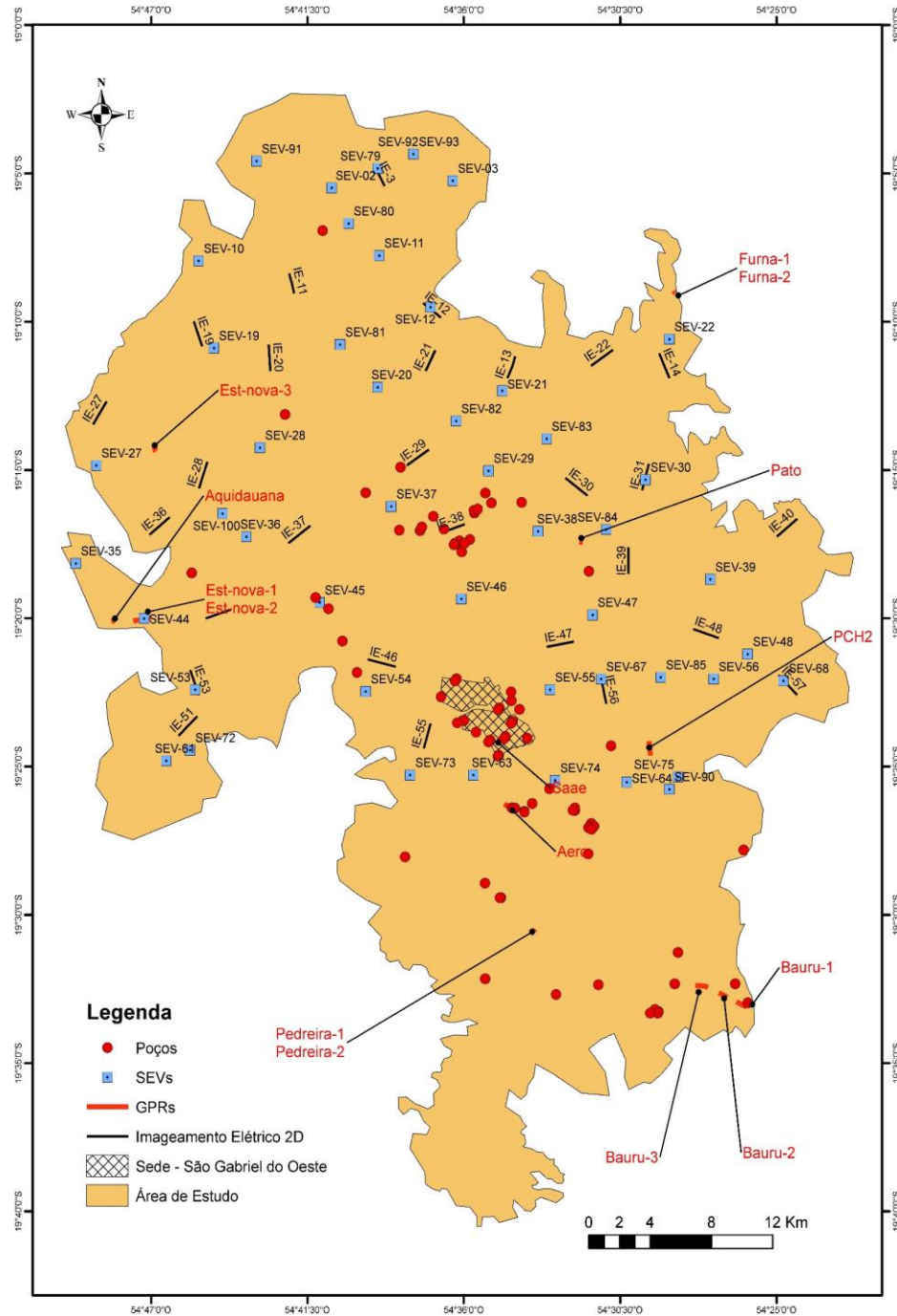
deslocamento da curva sintética para assim corresponder aos deslocamentos entre os segmentos nos dados. Isso é feito assumindo que os dados para os espaçamentos mais longos estão corretos e deslocando os segmentos em espaçamentos mais curtos para atender aos dados em espaçamentos mais longos (ORELLANA, 1972).

Lembrando que, além do modelo assumido no melhor ajuste da curva, são determinados valores de espessura, profundidade e resistividade máximos e mínimos que a curva pode assumir na modelagem, pois a solução obtida por meio de um modelo de inversão geofísica não é única, devido à ambiguidade inerente aos dados indiretos. Variações decorrentes da anisotropia da área de estudo podem ser consideradas, e o melhor modelo para a área de estudo pode não ser o que apresente o menor erro (ANA, 2014).

Nos levantamentos de campo para coleta de dados das SEV's, a ANA (2014) utilizou o equipamento modelo SYSCAL PRO, que possui em seu interior softwares capazes de eliminar ruídos indesejáveis, medindo somente o potencial relativo à corrente transmitida. Este equipamento, utilizando os cabos com abertura de AB de 2.048 metros, pode penetrar no solo em aproximadamente 512 metros.

Das cem (100) SEV's adquiridas pela ANA (2014), quarenta e três (43) estão sobre a área de estudos, cuja localização encontra-se Figura 2.

Figura 2. Mapa com posição dos levantamentos Geofísicos e poços existentes na área de estudos.



Fonte: Autores (2023)

2.1.2 Caminhamentos elétricos (CE)

Os levantamentos 2D, com a técnica de (CE), tiveram como objetivo determinar a distribuição espacial das camadas detrito-lateríticas na área do Chapadão de São Gabriel do Oeste (MS), sua espessura, suas diferentes fácies, ou seja, os mesmos objetivos da técnica das SEVs. Todavia, esta técnica é complementar, uma vez que além de medir a variação da

condutividade na vertical, permite medir a variação na direção horizontal ao longo da seção a ser executada.

Neste estudo, foi utilizado um espaçamento entre eletrodos de 20 metros, o que permitiu a construção de seções de 1.680 metros cada. Esta abertura e o emprego de cabos de 840 metros de abertura única, possibilitou penetrar no solo aproximadamente 240 metros.

Os dados de CE foram processados com o auxílio do Res2dInv da empresa Geotomo, o qual utiliza para a modelagem dos mesmos, o método de inversão conhecido como *smoothness constrained least-squares method* (GROOT-HEDLIN, CONSTABLE, 1990).

Uma vantagem deste método é que o fator de amortecimento e os filtros de planicidade podem ser ajustados para se adequar a diferentes tipos de dados. Uma descrição detalhada das diferentes variações do método dos mínimos quadrados com restrição de suavidade (LOKE, 2001).

O programa suporta uma nova implementação do método dos mínimos quadrados baseado em uma técnica de otimização quasi-Newton. Essa técnica é significativamente mais rápida do que o método convencional de mínimos quadrados para grandes conjuntos de dados e requer menos memória. E, ainda, permite usar o método convencional de Gauss-Newton (GROOT-HEDLIN, CONSTABLE, 1990).

No imageamento 2D, a pseudoseção é o método normalmente utilizado para representar a distribuição dos valores de resistividade, vale ressaltar que esta pseudoseção é um guia inicial para estabelecer interpretações quantitativas, e não uma imagem final da resistividade verdadeira de subsuperfície.

Nos levantamentos de campo, para coleta de dados de Caminhamento Elétrico, a ANA (2014) utilizou o equipamento modelo SUPER STING R8/IP, que possui em seu interior softwares capazes de eliminar ruídos indesejáveis, medindo somente o potencial relativo à corrente transmitida.

Dos sessenta e um (61) Imageamentos elétricos, realizados pela ANA(2014), vinte e oito (28) destes estão sobre a área de estudos definida para esta pesquisa (Figura 2).

2.2 Ground Penetrating Radar (GPR)

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizado o equipamento de GPR modelo RAMAC da fabricante Sueca MALA inc., equipado com antenas não blindadas de 50 MHz, antenas que oferecem a melhor relação profundidade de penetração e resolução exigidos para esta pesquisa.

Para configuração da aquisição dos dados foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Frequência das antenas: 50 MHz (Não blindadas)
- Distância entre antenas: 4,2 metros
- Janela de Tempo: 1.247 nano-segundos
- Frequência de Amostragem: 410,53 MHz
- Intervalo de amostragem espacial: Aprox. 20 cm
- Número de amostras em tempo: 512
- Empilhamento: 32
- Tempo de empilhamento: 0,16384 segundos.

Com relação aos levantamentos com o método GPR, eles foram distribuídos de maneira a cobrir a maior parte da cobertura detrito-laterítica. Para a escolha dos pontos, foram levadas em consideração a camada cuja cobertura está sotoposta e a existência ou não de cangas lateríticas. Assim, a localização dos perfis foi baseada nos possíveis contatos da cobertura com as rochas observadas na região: Grupo Bauru, Fm. Serra Geral, Fm. Botucatu-Pirambóia, Fm. Estrada Nova e Fm. Aquidauana.

2.3 Informações hidrogeológicas de poços outorgados

Para a obtenção dos dados hidrogeológicos da área, foram analisados os dois bancos de dados existentes referentes a este assunto, o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), que pertence à Companhia Brasileira de Recursos Minerais (CPRM) de abrangência nacional, e o SIRIEMA (Estadual), sistema de informações ambientais do órgão responsável a nível estadual pela gestão dos recursos hídricos, o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL), sendo que na Figura 2, tem-se uma visão geral dos poços no município e na região.

Em âmbito estadual temos a base de dados do SIRIEMA, na qual todo usuário de recursos hídricos no Estado do Mato Grosso do Sul tem a obrigação de se cadastrar, isto é feito por meio de uma Declaração de Usuário de Recursos Hídricos (DURH). Para aqueles que utilizam mais de 600 m³ de água por mês ou têm poços em área servida por rede pública de abastecimento, além desta DURH, terão que obter uma outorga de direito de uso dos recursos hídricos.

Ao considerar o enfoque desta pesquisa, destaca-se os seguintes dados existentes nas bases de dados e que podem ser de extrema valia para a construção dos mapas temáticos que caracterizam a área de estudos: a posição exata do poço, posição dos filtros de captação dentro do poço, ao ser perfurado o poço recebe dois tipos de revestimento, o liso que não permite a passagem de água do aquífero para dentro do poço e o revestimento perfurado, o qual permite a entrada de água em pontos específicos determinados pelo geólogo após a perfuração.

Com esta informação, pode-se dizer de qual ou quais aquíferos a água explotada pelo poço é proveniente. Assim, foi possível definir quais poços estão utilizando a água da cobertura detrito-laterítica.

3 RESULTADOS

Nesta etapa, apresentam-se os resultados dos levantamentos geofísicos, sendo que neste artigo apresentamos resumidamente um exemplo de cada método utilizado.

3.1 Dados do GPR

Para cada ponto estudado apresenta-se uma foto aérea, a qual também serve de croqui do levantamento, fotos do trabalho sendo executado em campo e as respectivas seções geofísicas adquiridas. Cada seção GPR é sinalizada com uma linha de cor vermelha, onde seu início será indicado pela letra “i” e o seu final pela letra “F”.

As Figuras 3 e 4 mostram o local do levantamento no contato do Aquífero Guarani com a cobertura detrito-laterítica. No começo da seção GPR (Figura 5), não há cobertura detrito-laterítica, a qual vai aumentando sua espessura e no final da seção já aparece com aproximadamente 10 metros. Este espessamento das coberturas fica evidenciado na qualidade do solo agrícola, onde seu aumento de espessura reflete visivelmente na qualidade das plantações na área.

Figura 3. Local do levantamento com GPR na PCH Ponte Alta, Cobertura detrito-laterítica sobre Formação Botucatu (Aquífero Guarani) – Seção PCH.



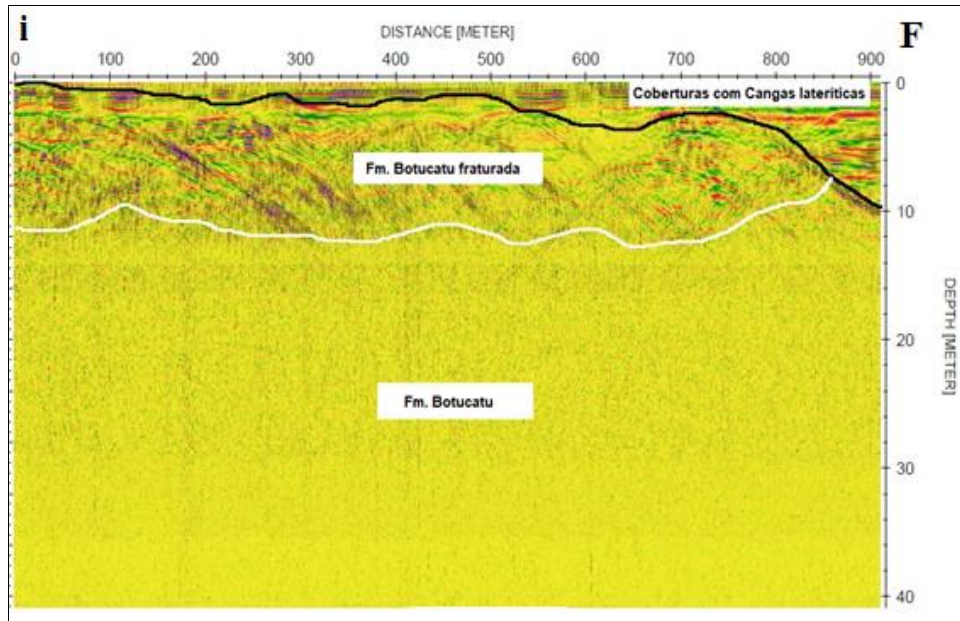
Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

Figura 4. Levantamento com GPR na PCH Ponte Alta.



Fonte: Autores (2023)

Figura 5. Radargrama interpretado da Seção de GPR - PCH



Fonte: Autores (2023)

Na Figura 3, pode-se verificar que as plantações ao lado da linha GPR só ficam bem verdes (boa qualidade nos últimos 150 metros) onde o radargrama nos mostra uma cobertura já possuindo uns 5 metros de espessura, e com uma coloração verde esbranquiçada na parte central da linha, onde a espessura sai de quase zero para aproximadamente 2,5 metros. No início da linha GPR onde o Aquífero Guarani aflora, os agricultores preferem nem plantar, sendo que o sinal GPR apresenta um grande contraste ao encontrar o contato entre estas camadas, o que facilita bastante a definição deste contato.

3.2 Dados geoeletricos

As interpretações das SEVs e dos CE foram apoiadas no modelo geoeletrico definido, em informações de geologia de superfície e em dados de poços profundos, sendo que de maneira geral, a análise morfológica das curvas das SEVs e das seções de CE obtidas em campo permitiu identificar quatro eletrofácies principais.

A primeira é a cobertura detrito-laterítica que recobre toda a área de estudos do Chapadão de São Gabriel, a qual tem resistividades médias em torno de 300 a 1000 Ohm.m. Foram detectadas grandes variações de resistividade elétrica devido a presença de lentes de cangas lateríticas e da grande variabilidade de níveis de umidade, compactação e, principalmente, quantidade de argila.

A segunda são os basaltos da formação Serra Geral, que está logo abaixo da cobertura detrito-laterítica em quase toda área de estudos, encontrando-se com resistividades médias em torno de 4000 a 6000 Ohm.m. Foram detectadas variações destes valores, principalmente devido ao nível de saturação, alteração e fraturamento desta formação geológica.

A terceira eletrofície sotoposta a Fm. São Geral em boa parte da área de estudos, quase toda a área apresenta arenitos do Sistema Aquífero Guarani, formado pelas formações

Botucatu e Pirambóia; estes arenitos se encontram com resistividades médias em torno de 100 a 700 Ohm.m, sendo que a variação elétrica neste estrato foi pequena, devido a mesma ser bastante homogênea e já estar na zona saturada.

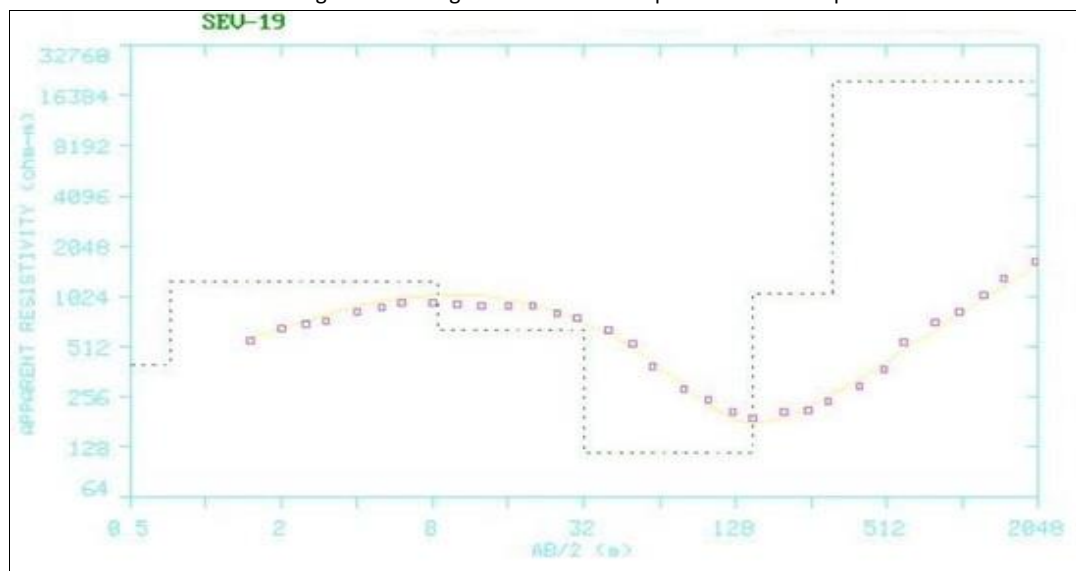
A quarta eletrofície, normalmente sotoposta ao Sistema Aquífero Guarani, é a Formação Aquidauana, encontrada em toda a área de estudos. Nela foi detectada com resistividades médias em torno de 1500 a 4000 Ohm.m, sendo que as variações destes valores são devidas, principalmente, a seu grau de compactação e fraturamento.

Além destas quatro formações principais, vale salientar que foi detectada nos estudos geofísicos a presença da Formação Ponta Grossa, a qual está abaixo da Formação Aquidauana e que tem resistividades médias em torno de 4000 a 6000 Ohm.m. Esta formação não foi descrita em todas as sondagens, haja vista sua grande profundidade de topo em quase toda área de estudos.

E, por fim, os levantamentos geofísicos detectaram a presença da Formação Estrada Nova, com espessuras entre 10 a 68 metros, situada sobre a Formação Aquidauana na porção oeste do Chapadão de São Gabriel do Oeste. A Fm. Estrada Nova foi localizada em pontos de afloramento (IE 45, SEV 44) e em outras sondagens foi localizada abaixo da Fm. Serra Geral (IE 28, IE, 36, IE 37) e logo abaixo do Aquífero Guarani (IE 19).

Abaixo podemos observar um exemplo de SEV e de CE adquiridos nesta pesquisa, estes com suas respectivas interpretações.

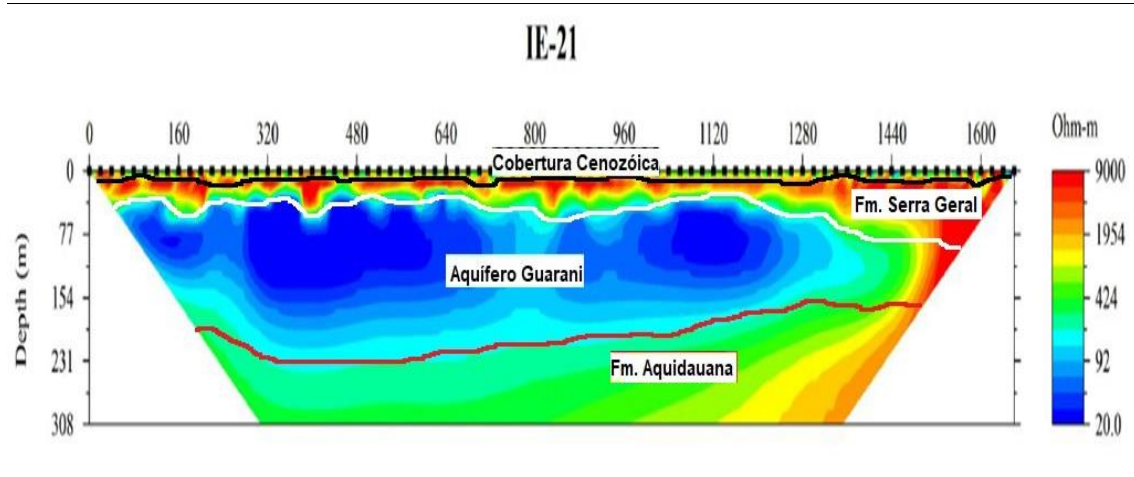
Figura 6. Sondagem Elétrica Vertical processada e interpretada



Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	32	32	800
Aquífero Guarani	32	122	90	120
Fm. Estrada Nova	122	167	45	1000
Formação Aquidauana	167	Indefinida	Indefinida	8000

Fonte: Autores (2023)

Figura 7. Caminhamento Elétrico processado e interpretado



Fonte: Autores (2023)

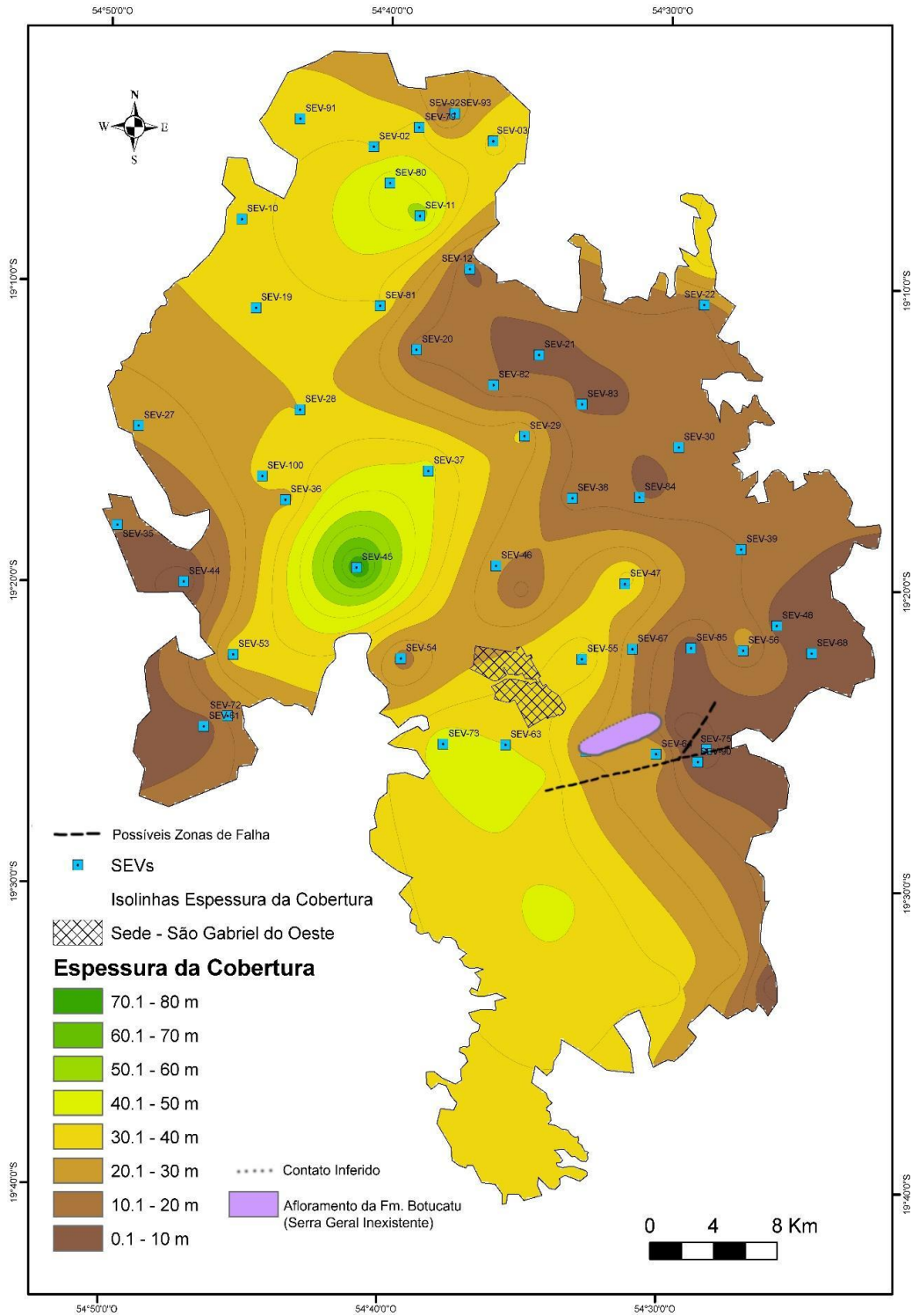
Os dados compostos por perfis estratigráficos elaborados com base nas descrições dos perfis geológicos dos poços tubulares cadastrados no sistema SIRIEMA do IMASUL e no SIAGAS, dos dados geofísicos do método GPR e nas seções geoeletrônicas das sondagens elétricas verticais e de imageamentos elétricos 2D, concatenados com os levantamentos geológicos existentes da área de estudos permitiram inferir a configuração do arcabouço geológico da área e, principalmente, caracterizar mais detalhadamente a cobertura detrito-laterítica existente e como se apresentam as lentes de cangas lateríticas ali presentes.

Foi identificada a presença da Formação Estrada Nova. A Formação Estrada Nova foi identificada e mapeada em apenas alguns afloramentos na região oeste da área do chapadão de São Gabriel do Oeste, não sendo observada nos limites das escarpas a leste.

Em nenhum poço cadastrado na área se registrou a ocorrência da Formação Estrada Nova em subsuperfície. Isto infere que essa unidade mergulha suavemente, a partir do bordo oeste do chapadão, em direção ao eixo da bacia, concordante com as demais unidades geológicas que ocorrem na área, corroborando com o padrão de mergulho em escala regional das unidades estratigráficas da Bacia geológica do Paraná. Este é o modelo conceitual proposta pela ANA (2014) e concordantes com os dados deste trabalho. Com os levantamentos geofísicos executados nesta pesquisa foi possível verificar sua existência e abrangência espacial e as variações de espessuras desta formação no Chapadão de São Gabriel do Oeste. Assim como foi possível inferir as abrangências espaciais e em profundidade das demais formações mais rasas, como a cobertura detrito-laterítica e a Formação Serra Geral.

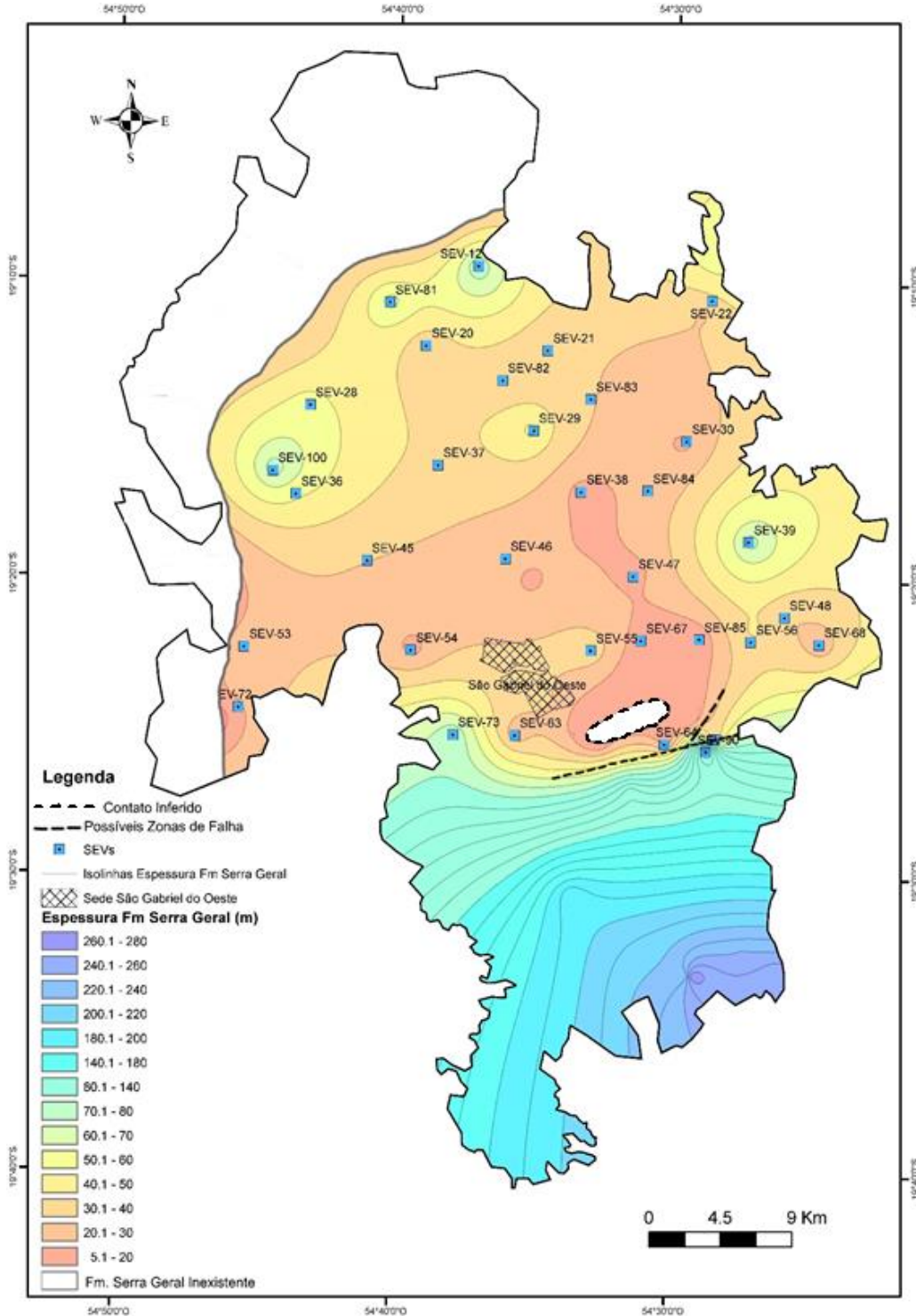
Com isto foi possível gerar os mapas de isópacas da cobertura detrito-laterítica (Figura 8) e da Formação Serra Geral (Figura 9).

Figura 8. Mapa de isópacas da Cobertura Detrito-Laterítica



Fonte: Autores (2023)

Figura 9. Mapa de isópacas da Formação Serra Geral



Fonte: Autores (2023)

A partir dos dados geofísicos e de poços, pode-se verificar que a cobertura detrítico-laterítica do Chapadão de São Gabriel do Oeste, estende-se em discordância angular e erosiva sobre rochas mais antigas, cuja idade aumenta progressivamente no sentido leste a oeste e

estão com mergulho em direção ao centro da bacia; a cobertura recobre todas estas formações com uma deposição praticamente plano-paralela.

Portanto, partindo do bordo leste em direção a oeste, os sedimentos da cobertura detrítico-laterítica se depositam sobre os basaltos da Formação Serra Geral e, na medida em que se avança para o extremo Oeste, esta cobertura recobre consecutivamente as formações Botucatu, Pirambóia, Estrada Nova e Aquidauana.

Vale ressaltar que em toda a área estudada do Chapadão de SGO, onde existe a Fm. Serra Geral, esta cobertura sedimentar assenta-se sobre os basaltos da formação, com exceção de uma pequena superfície, junto à tomada de água para a PCH do Rio Coxim, onde aflora a Fm. Botucatu.

Segundo o relatório da ANA (2014), esta situação estrutural é decorrente de movimentos flexurais produzidos pela acentuada sobrecarga sedimentar/ígnea no depocentro da bacia, refletindo no alçamento das camadas marginais, posteriormente erodidas e recobertas pelos sedimentos cenozoicos.

Esta cobertura detrítico-laterítica foi detectada nos perfis GPR e geolétricos com espessuras máximas de cerca de 80 metros na porção central da sua área de ocorrência, e muitas variações de espessura. Estas devem estar sendo controladas pela topografia do terreno e irregularidades do contato basal com as camadas subjacentes, conforme pode ser visto no mapa de isópacas da mesma (Figura 8).

Com relação às rochas basálticas da Formação Serra Geral, estas capeiam a Formação Botucatu e, em alguns pontos, está assentada diretamente sobre as formações Estrada Nova (IE 37, IE 28) e Aquidauana (IE 51, IE 53), afloram em pequena área na borda leste do Chapadão de São Gabriel. Sob a cobertura detrítico-laterítica, essas rochas têm sua espessura diminuída gradativamente, até a completa ausência, em direção ao limite oeste da chapada, como se pode ver no mapa de isópacas da formação (Figura 9).

Sua espessura na área de estudo varia em média 30 a 40 metros, em alguns pontos podendo ter apenas 10 metros e em outros chegando a mais de 270 metros, sendo que esta formação se assenta sobre a Fm. Botucatu ao Sul e a Leste da área, já nas porções Norte e Oeste, esta assenta-se sobre as formações Aquidauana e Estrada Nova.

Esta formação se apresenta de forma contínua em quase toda a área, só não foi detectada na extrema borda oeste do Chapadão, onde já não ocorreram os derrames basálticos e em uma pequena porção (mancha branca) a qual está localizada próxima a SEV-64, sendo que neste ponto, ocorre um afloramento da Fm. Botucatu, a qual normalmente está abaixo da Fm. Serra Geral, isto se deve muito possivelmente pela existência de falhas estruturais no local, esta ocorrência fez a Fm. Botucatu aflorar neste ponto.

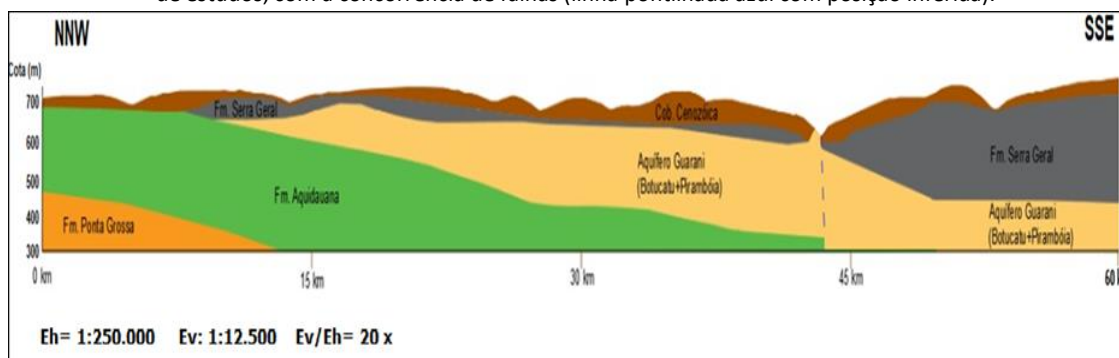
Outro aspecto importante observado, refere-se a um forte espessamento da Formação Serra Geral ao sul da cidade de SGO, sendo que no limite sul da área urbana a espessura do basalto está com 38 metros, comprovados com o perfil geológico do poço do SAAE (Durh nº 01466), e a apenas 6 quilômetros ao sul deste ponto há um poço da Cooperativa Aurora (Durh nº 016450) com espessura de basaltos de 116 metros e se caminhar mais 11 quilômetros ao sul na borda do chapadão de SGO na divisa com o Município de Bandeirantes, encontram-se poços da COOASGO (Durh's nº 15078 e 20994) que mostram espessuras de basaltos passando dos 270 metros.

Este espessamento nos leva a acreditar na hipótese da existência de uma zona de falhas logo ao sul da cidade de São Gabriel do Oeste, pois existe um acréscimo muito forte e disruptivo desta formação. Esta possível zona de falha está delineada no mapa da Figura 8 com uma linha pontilhada de cor preta.

Com base nestas observações de campo (afioramento da Fm. Botucatu) ao sul da Cidade de SGO, mais os dados hidrogeológicos mostrando o espessamento da Fm. Serra Geral também ao sul da cidade, e dos dados das SEV's reinterpretadas, pode-se dizer que o modelo com falhamentos parece ser mais consistente que o modelo sem a ocorrência de falhas.

Nesta pesquisa foi possível a geração do perfil geológico do arcabouço estrutural da área de estudos na direção NNW-SSE (Figura 10). Este perfil é inédito para esta área, mesmo o relatório da (ANA, 2014) só havia gerado o perfil Leste-Oeste. Neste perfil NNW-SSE ainda foi inserida a presença de uma zona de falhas, isto para uma melhor adequação aos dados observados e adquiridos em campo.

Figura 10. Perfil geológico esquemático NNW-SSE mostrando uma interpretação da configuração estrutural da área de estudos, com a concorrência de falhas (linha pontilhada azul com posição inferida).



Fonte: Autores (2023)

Este perfil foi gerado a partir dos dados das SEV's reinterpretadas e ao sul da cidade de SGO (área fora do projeto da ANA), foram utilizados dados de perfil hidrogeológicos de poços cadastrados no IMASUL. Além disto, no sul da cidade foram realizados perfis GPR e controle de campo.

Neste perfil geológico, pode-se observar, em corte, a distribuição das camadas geológicas em subsuperfície. A linha azul representa a provável zona de falhas existente no local. Vale ressaltar a grande variabilidade de espessuras das camadas existentes na área.

Neste perfil, não foi representada a Fm. Estrada Nova, pois a mesma encontra-se somente em um pequeno trecho na borda oeste do Chapadão. Esta se encontra logo abaixo da Fm. Serra Geral e acima da Fm. Aquidauana, chegando a existir afloramentos desta em alguns pontos.

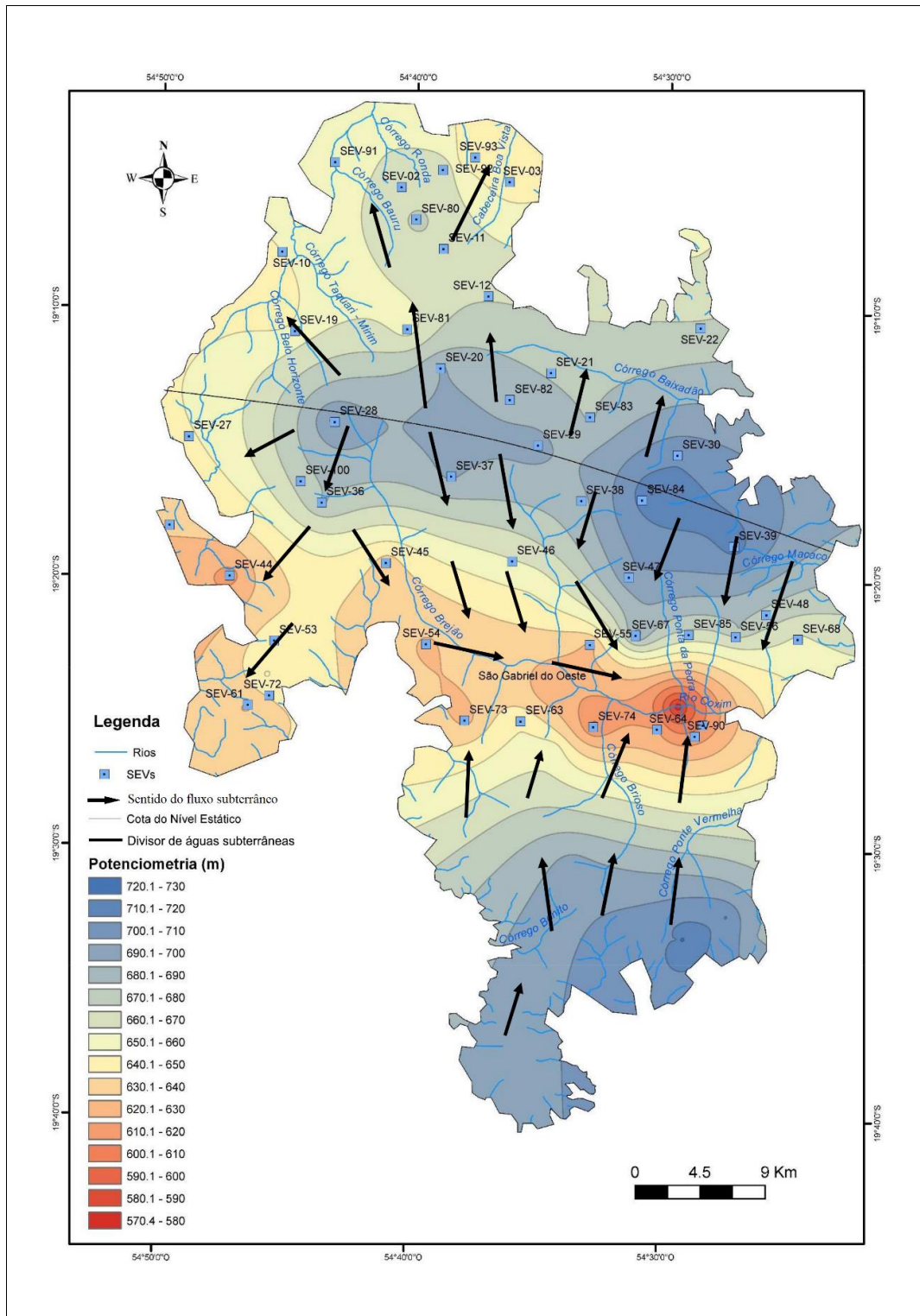
A comprovação da continuidade da Formação Serra Geral na área do Chapadão de São Gabriel obtida nesta pesquisa é de suma importância para a caracterização geológica e hidrogeológica da região, pois esta continuidade da camada basáltica, praticamente impermeável, e demais dados levantados e interpretados, permitem concluir que esta cobertura detrito-laterítica não faz parte do Aquífero Guarani, com exceção de uma área muito

pequena, as coberturas não estão em contato com o SAG, pois estão isoladas desta pela presença contínua da Fm. Serra Geral.

Recomenda-se, assim, mais estudos hidrogeológicos específicos para se confirmar e caracterizar esta área como sendo uma unidade aquífera, sendo que atualmente estas coberturas estão vinculadas ao Aquífero Guarani no Programa Estadual de Recursos Hídricos, o qual foi confeccionado com base em dados existentes à época.

Com os dados de nível estático de poços existentes na área e a partir dos dados geofísicos, foi possível gerar o mapa potenciométrico do aquífero livre existente no Chapadão de São Gabriel (Figura 11), o qual está inserido na cobertura detrítico-laterítica.

Figura 11. Mapa potenciométrico do aquífero livre existente na área de estudos



Fonte: Autores (2023)

Hidrogeologicamente, esta mudança na potenciometria regional, ao considerar um novo sistema hidráulico atuando na região, alterará a maneira como consideramos atualmente o fluxo de água subterrâneo que é lançado em cada bacia existente na área do Chapadão de São

Gabriel do Oeste, como pode ser visto no mapa potenciométrico do aquífero livre existente na camada terciária (Figura 11).

Vale salientar que os dados de poços ao sul da cidade de SGO estão mais propensos a possíveis erros, pois são dados declaratórios existentes na base de dados do IMASUL, sendo que estes podem não ter tido um total rigor científico em sua coleta.

Entretanto, deve-se observar que este mapa potenciométrico é de suma importância para a caracterização hidrogeológica da região, pois este é o primeiro mapa confeccionado para Chapadão de SGO, de maneira a cobri-lo em toda a sua extensão.

4 DISCUSSÕES

Podemos verificar a existência de um divisor das águas subterrâneas, o qual acompanha o divisor das águas superficiais, demarcado com uma linha de cor preta, que divide a carga hidráulica subterrânea, direcionando a água subterrânea em duas direções, uma preferencial (Bacia do Rio Coxim) e a outra secundária em direção ao Norte da área do Chapadão de SGO, a direção do fluxo subterrâneo está demarcado com as setas de cor preta.

De modo geral, podemos verificar neste mapa que as direções preferenciais do fluxo subterrâneo tendem a acompanhar a distribuição dos corpos hídricos existentes na área de estudos, acompanhando a direção das cabeceiras para as regiões mais baixas.

Os dados adquiridos com o GPR possibilitaram a detecção do contato entre o Grupo Bauru e a cobertura detrito-laterítica, o qual ocorre bem ao sul da área de estudos, já na divisa com o município de Bandeirantes, este contato não havia sido mapeado até o momento. Esta detecção foi realizada graças a grande resolução deste método, que conseguiu assim delinear esta zona de transição.

Finalmente, nota-se que as diferentes técnicas geofísicas aplicadas nesse estudo atingiram os objetivos propostos e a utilização de mais de uma técnica geofísica, juntamente com os dados de levantamento geológico e cadastro de poços minimizaram ambiguidades que ocorrem em aquisições que utilizam métodos indiretos de investigação.

Indica-se para futuras pesquisas, a continuidade dos estudos hidrogeológicos (hidroquímica, dados hidráulicos etc.) para a confirmação da cobertura detrito-laterítica como um aquífero livre e isolado do SAG.

Além disto, seria ideal a obtenção de mais dados geofísicos profundos para a melhor caracterização da possível zona de falhas da Fm. Serra Geral e a instalação de poços de monitoramento do nível estático do aquífero livre na região ao sul da zona urbana de São Gabriel do Oeste, MS para melhorar a resolução do mapa potenciométrico nesta região.

5 CONCLUSÕES

Após a finalização dos trabalhos de campo e da aplicação da metodologia aqui proposta, chega-se a algumas conclusões importantes, tanto em âmbito geológico e geofísico que foram os objetivos centrais desta pesquisa, como em relação à hidrogeologia. Conclui-se, positivamente, em relação à aplicabilidade dos métodos geofísicos para a caracterização geológica/estrutural com os métodos da eletrorresistividade e do GPR.

Com relação ao objetivo geral da pesquisa, podemos dizer que foi possível a definição da extensão e da espessura da cobertura detrítico-laterítica, com variação de menos de 5 metros nas bordas Oeste e Leste e chegando a mais de 80 metros na região centro-oeste da área, representada no mapa de isópacas e no perfil geológico NNW-SSE.

Com relação aos objetivos específicos da definição dos contatos da Coberturas detrítico-lateríticas com as outras formações subjacentes, podemos salientar que foi possível a detecção e a localização (através do GPR) do contato entre a cobertura detrítico-laterítica e o Grupo Bauru, contato este que até o momento não tinha sido mapeado na área do Chapadão de São Gabriel do Oeste-MS.

Outrossim, foi possível a verificação da presença da Formação Estrada Nova, não mapeada por métodos geofísicos no Mato Grosso do Sul, apenas localizada em alguns afloramentos; além da sua detecção em vários pontos, foram obtidas suas profundidades e espessuras.

No que tange ao objetivo específico da definição da distribuição e extensão da cobertura de basaltos (Existência ou não da Fm. Serra Geral na área), conclui-se a existência e a continuidade da Formação Serra Geral em quase toda a área do Chapadão de São Gabriel do Oeste-MS, evidenciando que os corpos basálticos encontrados na região não são somente intrusões ígneas isoladas como sills de diabásio. Ao sul da zona urbana do município de São Gabriel do Oeste-MS, há um aumento grande nas espessuras da Formação Serra Geral, cujo espessamento disruptivo nos leva a inferir a existência de uma zona de falha neste local. Esta interpretação é coerente com um dos modelos propostos pela ANA (2014), mais adequado.

Por fim, quanto à definição do mapa potenciométrico da cobertura detrítico-laterítica, gerou-se a potenciometria do aquífero livre existente na área, e a partir dos dados adquiridos neste estudo, podemos concluir que este aquífero não deveria estar associado diretamente ao Sistema Aquífero Guarani (SAG), como consta no Plano Estadual de Recursos Hídricos.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AB'SABER, A. N. **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação**. In: 2008, São Paulo. São Paulo: Expressão Popular, 2008. Disponível em: biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1851679_OsDominiosMorfoclimaticosNaAmericaNoSul.pdf.

ANA, A. N. de Á. e S. **Estudo de vulnerabilidade natural à contaminação e estratégias de proteção do Sistema Aquífero Guarani nas áreas de afloramento: Tomo II**. Brasília: 2014.

BUTT, C. R.; ZEEGERS, H. **Climate, geomorphological environment and geochemistry dispersion models -Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains**. Handbook of exploration geochemistry: Amsterdam, Elsevier., p. 3–24, 1992.

CENTURIÃO, T. D.; SILVA, W. M.; GABAS, S. G. **Is groundwater fauna impacted by contamination from swine effluent fertigation?** *Ciência e Natura*, v. 42, n. 34, p. 1–10, 2020.

CPRM. **Mapas Estaduais de Geodiversidade – Maranhão.**: Geobank, 2013.

ELIAS, M. **Nickel laterite deposits - Geological over view, resources and exploration, Characteristics, genesis, and exploration.** University of Tasmânia, v. 4, p. 205–220, 2002.

FERRARO, A. A.; GABAS, S. G.; LASTORIA, G. **Origem de metais pesados em aquífero livre de São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul.** *Geociências - UNESP (SP)*, v. 34, n. 4, p. 801–8815, 2015.

GOLIGHTLY, J. **Progress in understanding the evolution of nickel laterites. The challenge of finding new mineral resources-Global metallogeny, innovative exploration, and new discoveries.** Society of Economic Geologists. p. 451–485. v. 15, n. Special Publication, p. 451–485, 2010.

GROOT-HEDLIN, C. and CONSTABLE, S. (1990) Occam’s Inversion to Generate Smooth, Two-Dimensional Models from Magnetotelluric Data. *Geophysics*, 55, 1613-1624

HORTON, J. **Integration of disparate data types for resource estimation—A nickel laterite example.** *In*: 2008. PACRIM Congress 2008, Gold Coast, Queensland, November 24–26, 2008, proceedings: Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 2008. p. 185–191.

IBGE. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/sao-gabriel-do-oeste.html>, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/sao-gabriel-do-oeste.html>. Acesso em: 24 jan. 2023.

INTERPEX LIMITED. **RESIX-IP SOFTWARE- Sounding Inversion** . Version 2.00. Colorado/USA: [s. n.], 2002.

Loke, M. H. (2001). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies. A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys.* RES2DINV Manual, IRIS Instruments. www.iris-instruments.com

MARSH, E.; ERIC, A.; GRAY, F. **Nickel-cobalt laterites—A deposit model, chap. H of Mineral deposit models for resource assessment.**: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–H, 2013.

MOTTA, J. G.; JÚNIOR, I. R. F. **Uma abordagem de mapeamento de potencial mineral dos depósitos de níquel supérgeno do sudeste do Cráton do São Francisco.** *Brazilian Journal of Geology*, v. 46, n. 2, p. 261–273, 2016.

OGURA, Y. **Mineralogical studies on the profiles of nickeliferous laterite deposits in the Southwestern Pacific Area:** Geological Survey of India Memoir. 1986.

ORELLANA, E. **Prospeccion geoelectrica en corriente continua.** Madrid: Paraninfo, 1972.

Prefeitura municipal de São Gabriel do Oeste. **Economia.**, 2022. Disponível em: <https://www.saogabriel.ms.gov.br/home>. Acesso em: 13 maio 2022.

SEOANE, S. *et al.* **Multispectral imagery applied to nickel laterite exploration -The Conceição do Araguaia discover. Remote sensing and spectral geology.** *Reviews in Economic Geology*, v. 16, p. 109–122, 2009.

SOUZA, A. A. *et al.* **Avaliação da água subterrânea nos aquíferos cenozóico e guarani em São Gabriel do Oeste-MS: subsídios à gestão integrada.** *Ciência e Natura*, v. 36, n. 2, p. 169–179, 2014.

UECHI, D. A.; GABAS, S. G.; LASTORIA, G. **Qualidade das Águas Subterrâneas em Aquífero Sedimentar do Tipo Livre em Área Fertirrigada com Efluente de Suinocultura em São Gabriel do Oeste, MS.** *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ - RJ*, v. 45, p. 1-11, 2022.

