



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG



ODIRLEI NEUMANN



Campo Grande, MS.

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

ODIRLEI NEUMANN

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA
DA COBERTURA DETRITO-LATERÍTICA NO
CHAPADÃO DE SÃO GABRIEL DO OESTE, MS**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Tecnologias Ambientais, área de concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Garcia Gabas
Coorientador: Prof. Dr. Giancarlo Lastoria

Aprovada em: 06/06/2023

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Sandra Garcia Gabas
Orientadora PGTA- UFMS

Prof. Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho PGTA - UFMS Prof. Dr. Ary Tavares Rezende Filho UFMS

Prof. Dr. Renato Blat Migliorini UFMT Profa. Dra. Jamil A. Ayach Anache UFMS

Campo Grande, MS.
2023

Dedico este trabalho a minha esposa Helena e aos meus filhos Mathias e Thomas, que são a luz do meu caminho, eternos apoiadores e fonte infinita de amor.

*“Ando devagar
Porque já tive pressa.
E levo esse sorriso
Porque eu já chorei demais.
Hoje me sinto mais forte
Mais feliz, quem sabe.
Eu só levo a certeza
De que muito pouco eu sei.
Ou nada sei”*

Renato Teixeira

AGRADECIMENTOS

Agradeço aqui a todos que me apoiaram neste caminho, meus professores e membros da banca, orientadores Sandra e Giancarlo, amigos e colegas, e principalmente a Deus.

Agradeço a minha família pelo apoio e amor incondicionais.

Agradeço ao meu amigo Kelson pela ajuda no trabalho, ao meu amigo Paulo Mendes pela ajuda com o GPR e ao Adair pela ajuda no campo.

Agradeço ao apoio da Prefeitura Municipal de São Gabriel do Oeste, MS, nas pessoas dos engenheiros André M. D. de Bortoli e Edson de Lima Franco.

Agradeço ao IMASUL pelo empréstimo de materiais e acesso a sua base de dados.

Agradeço ao PGTA, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC - Brasil.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS	3
PRIMEIRO CAPÍTULO: Revisão Bibliográfica	4
1.1. Coberturas detrito-lateríticas	4
1.2. Geomorfologia	10
1.3. Recursos naturais e minerais da camada terciária e de suas cangas lateríticas	16
1.4. Métodos geofísicos aplicados	21
1.4.1 Utilização do método GPR	24
SEGUNDO CAPÍTULO: Área de estudo	28
2.1. Características Gerais	30
2.2. Contexto geológico	33
2.2.1 Contexto regional	33
2.2.2. Contexto local	38
2.2.3. Hidrogeologia	53
TERCEIRO CAPÍTULO: Materiais e Métodos	60
3.1. Levantamentos geológicos e geofísicos de campo	60
3.1.1. Métodos geofísicos por eletrorresistividade	61
3.1.2. <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR)	70
3.2. Informações hidrogeológicas de poços outorgados	78
QUARTO CAPÍTULO: Apresentação dos Resultados	85
4.1. Dados do GPR	85
4.1.1 Cobertura detrito-laterítica e Grupo Bauru	85

4.1.2. Cobertura detrito-laterítica e Formação Serra Geral	89
4.1.3. Cobertura detrito-laterítica e Formação e Aquífero Guarani	101
4.1.4. Cobertura detrito-laterítica e Formação Estrada Nova	103
4.1.5. Cobertura detrito-laterítica e Formação Aquidauana	110
4.2. Dados Geoelétricos	112
4.3. Caracterização, Espessuras e profundidades	119
QUINTO CAPÍTULO: Conclusões	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
ANEXO I - Sondagens Elétricas Verticais processadas e interpretadas	140
ANEXO II – Caminhamentos Elétricos processados e interpretados	169

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. A zona de Rubefação coincide com a área intertropical de forma das lateritas. 5
- Figura 2. Horizonte laterítico em SGO, formado por intemperismo intenso. 7
- Figura 3. Localização da cobertura detrito-laterítica (em marrom) no Estado do Mato Grosso do Sul (Domínio 5.1). 8
- Figura 4. Sobreposição da geomorfologia do centro-oeste com as camadas detrito-lateríticas. 111
- Figura 5. Chapadão do Zagaia (MG), com a ocorrência de lateritas nas bordas da chapada, que as ‘protegem’ dos processos erosivos. 12
- Figura 6. Geomorfologia e geologia (Domínio 5.1) do Chapadão de SGO (área marrom), à direita temos a bacia do Paraná e à esquerda o Planalto de Maracaju. 133
- Figura 7. Representação esquemática de um perfil laterítico coberto por canga ferruginosa. 144
- Figura 8. (a) Base do perfil laterítico afetando os depósitos da Formação Marília no estado de SP; (b) Nível de mosqueamento posicionado acima da Fm. Marília. 155
- Figura 9. Extração de blocos de laterita na Índia. 188
- Figura 10. Radargrama GPR mostrando o contato da cobertura detrito-laterítica com o saprólito no Canadá 266
- Figura 11. Seção GPR mostrando a variação da cobertura intemperizada no Canadá. 266
- Figura 12. Fotos mostrando a área, na parte superior a macrolocalização e na inferior localização em detalhe. A área em destaque é a delimitação do chapadão de SGO. 29
- Figura 13. Caracterização e valores de vulnerabilidade à contaminação atribuídos às unidades geológico-ambientais. 31
- Figura 14. Caracterização geológica, onde podemos ver em destaque as áreas de afloramento deste tipo de cobertura na região Centro-Oeste. 32

Figura 15. Mapa geológico da Bacia do Paraná com a localização da área.	35
Figura 16. Mapa geológico da área de São Gabriel do Oeste (escala 1:50.000).	39
Figura 17. Cortes geológicos esquemáticos W-E configurando duas hipóteses (A e B) para explicar o arcabouço estrutural da área.	40
Figura 18. Seção geológica esquemática W-E mostrando uma interpretação da configuração estrutural da área, sem a ocorrência de falhas.	40
Figura 19. Principais produtos cartográficos geológicos existentes na área de São Gabriel do Oeste e respectivas unidades litoestratigráficas mapeadas..	42
Figura 20. Recorte da Carta Corumbá SE.21, destacando a área alvo.	43
Figura 21. Afloramento da Formação Ponta Grossa próxima à área de estudos.	44
Figura 22. Formação Aquidauana na área de São Gabriel do Oeste. Fonte:	45
Figura 23. Formação Estrada Nova na área de São Gabriel do Oeste. Fonte:	46
Figura 24. Formação Pirambóia na área de São Gabriel do Oeste.	47
Figura 25. Formação Botucatu na área de São Gabriel do Oeste.	48
Figura 26. Formação Serra Geral na de São Gabriel do Oeste..	49
Figura 27. Cobertura detrito-laterítica da área de São Gabriel do Oeste.	52
Figura 28. Cobertura detrito-laterítica com cangas lateríticas da área de SGO.	52
Figura 29. Quadro estratigráfico adotado para o SAG.	53
Figura 30. Seção hidrogeológica esquemática W-E com base na configuração estrutural da área de São Gabriel do Oeste.	55
Figura 31. Mapa hidrogeológico da área de São Gabriel do Oeste.	57
Figura 32. Mapa com posição das SEV's realizadas pela ANA na área de estudo.	65
Figura 33. Mapa com posição dos Imageamentos elétricos realizados na área.	69
Figura 34. Foto do equipamento Ramac sendo utilizado no trabalho (antena RTA 50).	70

Figura 35. Foto do local do levantamento com GPR no contato com o Grupo Bauru, que está localizada ao fundo à direita (com a coloração de solo mais clara).	72
Figura 36. Afloramento da Formação Serra Geral, próximo à Furna Preta.	73
Figura 37. Cangas lateríticas com cobertura detrito-laterítica na área da Pedreira.	73
Figura 38. Afloramento da Formação Botucatu (Aquífero Guarani) no local do levantamento.	74
Figura 39. Foto do local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova, com afloramento desta.	75
Figura 40. Foto do local do levantamento com GPR no contato com a Formação Aquidauana, com afloramento da mesma	76
Figura 41. Localização dos levantamentos GPR realizados na área de estudo.	77
Figura 42. Mapa do SIAGAS com poços próximos à área de estudo.	78
Figura 43. Pontos de uso de recursos hídricos outorgados (ou fase de aprovação) pelo IMASUL sobreposta a delimitação da área de estudos.	80
Figura 44. Perfil de Poço Tubular.	83
Figura 45. Local do levantamento com GPR – Seção Bauru-1.	86
Figura 46. Radargrama interpretado da Seção de GPR Bauru-1.	86
Figura 47. Local do levantamento com GPR – Seção Bauru-3.	87
Figura 48. Radargrama interpretado da Seção de GPR Bauru-3.	88
Figura 49. Foto do local do levantamento com GPR Seção Bauru-3 no contato com do Grupo Bauru com a cobertura detrito-laterítica.	88
Figura 50. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Serra Geral, com a existência de cangas lateríticas – Seção Furna-1.	89
Figura 51. Foto do levantamento com GPR no contato com a Fm. Serra Geral, na Furna Preta (Local da seção Furna-1).	90

Figura 52 . Radargrama interpretado da Seção de GPR Furna-1	90
Figura 53. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Serra Geral, com a existência de cangas lateríticas – Seção Furna-2.	91
Figura 54. Radargrama interpretado da Seção de GPR Furna-2	91
Figura 55. Cobertura detrito-laterítica sobreposta às lentes de canga laterítica.	92
Figura 56. Local do levantamento com GPR na Pedreira do Aeroporto, mineração de Cangas lateríticas para cascalho – Seção Aero.	93
Figura 57. Radargrama interpretado da Seção de GPR Aero	94
Figura 58. Foto do levantamento com GPR na Pedreira do Aeroporto, mineração de Cangas lateríticas para cascalho.	94
Figura 59. Local do levantamento com GPR na Pedreira próxima a COOASGO, mineração de Cangas lateríticas para cascalho – Seção Pedreira-1.	95
Figura 60. Radargrama interpretado da Seção de GPR Pedreira-1.	96
Figura 61. Local do levantamento com GPR na Pedreira próxima a COOASGO, mineração de Cangas lateríticas para cascalho – Seção Pedreira-2.	96
Figura 62. Radargrama interpretado da Seção de GPR Pedreira-2.	97
Figura 63. Levantamento com GPR na Pedreira próxima a COOASGO (local da seção Pedreira-1).	97
Figura 64. Local do levantamento com GPR na Fazenda Pato Branco, Cobertura detrito-laterítica com lentes de cangas lateríticas – Seção Pato.	98
Figura 65. Radargrama interpretado da Seção de GPR Pato	98
Figura 66. Levantamento com GPR na Fazenda Pato Branco.	99
Figura 67. Local do levantamento com GPR ao lado do poço do SAAE de SGO – Seção SAAE.	100
Figura 68. Radargrama interpretado da Seção de GPR SAAE	100

	10
Figura 69. Levantamento com GPR no SAAE de SGO.	101
Figura 70. Local do levantamento com GPR na PCH Ponte Alta, Cobertura detrito-laterítica sobre Formação Botucatu (Aquífero Guarani) – Seção PCH.	102
Figura 71. Radargrama interpretado da Seção de GPR - PCH	102
Figura 72. Levantamento com GPR na PCH Ponte Alta.	103
Figura 73. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova com existência de cangas lateríticas – Seção Estrada Nova-1.	104
Figura 74. Radargrama interpretado da Seção de GPR Estrada Nova-1.	104
Figura 75. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova com existência de cangas lateríticas – Seção Estrada Nova-2.	105
Figura 76. Radargrama interpretado da Seção de GPR Estrada Nova-2	105
Figura 77. Foto do local do levant. com GPR no contato com a Fm. Estrada Nova.	106
Figura 78. Foto do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova (Local da seção Estrada Nova-1).	107
Figura 79. Foto do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova (Local da seção Estrada Nova-2).	107
Figura 80. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova sem a existência de cangas lateríticas – Seção Estrada Nova-3 na Faz. Céu Azul.	108
Figura 81. Radargrama interpretado da Seção GPR Estrada Nova-3	109
Figura 82. Foto do local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova-3 na Fazenda Céu Azul.	109
Figura 83. Foto do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova, na Fazenda Céu Azul (Local da seção Estrada Nova-3).	110
Figura 84. Local do levantamento com GPR – Seção Aquidauana.	111
Figura 85. Radargrama interpretado da Seção de GPR Aquidauana.	111

Figura 86. Foto do levantamento com GPR no contato com a Fm. Aquidauana.	112
Figura 87. Mapa de isópacas da Cobertura Detrito-Laterítica	121
Figura 88. Mapa de isópacas da Formação Serra Geral	124
Figura 89. Perfil geológico NNW-SSE mostrando uma interpretação da configuração estrutural da área de estudos, com a concorrência de falha (Linha de cor azul).	127
Figura 90. Mapa potenciométrico do aquífero livre existente na área de estudos	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coordenadas e altitude das SEV's executadas sobre a cobertura detrito-laterítica.	63
Tabela 2. Coordenadas e altitude dos caminhamentos elétricos executados sobre a cobertura detrito-laterítica.	67
Tabela 3. Coordenadas dos perfis GPR realizados.	76
Tabela 4. Localização, vazões e finalidade dos poços outorgados pelo IMASUL que estão na área de estudos.	81
Tabela 5. Tabela resumo com a interpretação geológica das SEV's	114

LISTA DE SÍMBOLOS

Mg	-	Magnésio.....	01
Ca	-	Calcio.....	01
Si	-	Silicio.....	01
Fe	-	Ferro.....	01
Ni	-	Niquel... ..	01
Mn	-	Manganês.....	01
%	-	Porcentagem.....	06
Na	-	Sódio.....	07
K	-	Potássio.....	07
>	-	Maior que.....	10
~	-	Aproximadamente.....	10
Al	-	Alumínio.....	19
Co	-	Cobalto.....	24
W	-	Oeste.....	40
E	-	Leste.....	40
NNW	-	Norte-Noroeste.....	128
SSE	-	Sul-Sudeste.....	128

RESUMO

NEUMANN, O. (2023). Caracterização geofísica da Cobertura Detrito-Laterítica no Chapadão de São Gabriel do Oeste, MS. 2023. 208 páginas. Tese - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

A caracterização geofísica da cobertura detrito-laterítica (TQdl) existente na área do Chapadão de São Gabriel do Oeste-MS, de fundamental importância econômica para a agricultura da região, foi objeto de estudo deste trabalho, 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 TQdl, ainda não individualizada. Para alcançar tais objetivos, usou-se como metodologia a obtenção de dados primários com o GPR, combinados com dados geológicos e geofísicos, já existentes sobre a área, que foram reprocessados e reinterpretados. As informações hidrogeológicas foram obtidas a partir da base de dados do IMASUL. Como resultados finais, são apresentadas: a viabilidade de emprego do GPR na identificação em subsuperfície das cangas lateríticas; a espessura da Cobertura detrito-laterítica, com definição do seu contato com as outras formações subjacentes; a definição da distribuição e da espessura dos basaltos da Fm. Serra Geral na área e a definição do mapa potenciométrico do aquífero representado pela cobertura TQdl. Adicionalmente, obteve-se o perfil geológico NNW-SSE, buscando o melhor entendimento do arcabouço geológico-estrutural da região, o qual sintetiza a interpretação das relações estratigráficas, na área de estudo, entre as rochas do Gr. Bauru, da Fm. Serra Geral, da Fm. Botucatu, da Fm. Estrada Nova e da Fm. Aquidauana.

Palavras-chave: Cobertura TQdl, Aquífero TQdl, Cangas lateríticas, Formação Serra Geral no centro norte de MS.

ABSTRACT

This present research details detritus-lateritic coverage (TQdl) existing in the area of *São Gabriel do Oeste* plateau, *Mato Grosso do Sul* estate in the *Chapadão* area of *São Gabriel do Oeste-MS*, of fundamental economic importance for agriculture in the region, highlighting the associated lateritic cangas, widely used in the primary coating of more than 3000 km of municipal highways. In addition, it seeks to evaluate the effectiveness of the GPR geophysical method in lateritic cangas identification in the subsurface and in the detection of the lithological contacts of this formation with the underlying layers, with the generation of an isopach map. Focusing on the continuity of *Serra Geral* formation in the study area, obtaining the respective isopach map. Complementarily, a preliminary characterization of the aquifer related to the TQdl coverage, not yet individualized, was carried out. To achieve these objectives, the methodology used was to obtain primary data with the GPR, combined with existing geological and geophysical data on the area, which were reprocessed and reinterpreted, mainly from a report by the National Water and Sanitation Agency (2014), Brazilian public entity. The hydrogeological information was obtained from the IMASUL database, the ambient estate entity. As final results, is presented the feasibility of using GPR in the subsurface identification of lateritic cangas, in addition to the thickness definition of detritus-lateritic coverage, with definition of its contact with the other underlying formations; definition of the distribution and thickness of basalts the *Serra Geral* formation in the area and the definition of the potentiometric map of the aquifer represented by the TQdl coverage. The NNW-SSE geological profile was generated, seeking a better understanding of the geological-structural framework of the study area, where the TQdl coverage rests on the *Bauru* Group, about *Serra Geral* formation, on *Botucatu* formation, about *Estrada Nova* formations and over *Aquidauana* formation.

Keywords: TQdl Coverage, TQdl aquifer, Cangas lateritic, *Serra Geral* formation in the north center of MS.

INTRODUÇÃO GERAL

A cobertura detrito-laterítica, de idade cenozóica, que para simplificação denominaremos na sequência deste trabalho 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, pois 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 comercial e financeira 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 procuraremos 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 tipo de 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 detrito-laterítica.

Embora não tão convencional, a utilização da geofísica no planejamento mineralógico dessas 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), que 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.

OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

Com base na importância dessa área, temos como objetivo geral deste trabalho a caracterização geofísica da cobertura detrito-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 detrito-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, temos como objetivos específicos as seguintes definições para a área de estudo do Chapadão de SGO:

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

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 COBERTURAS DETRITO-LATERÍTICAS

O termo laterita foi proposto por Buchanan em 1807, para identificar materiais, que na Índia, eram extraídos da parte inferior dos perfis de solos (úmidos), e que quando expostos ao sol, tornavam-se extremamente duros e eram utilizados como material de construção (tijolos, vigas estruturais, base de rodovias e de estradas de ferro) (UNICAMP, 2021).

Para uma correta contextualização, cabe aqui uma breve descrição do que são essas lateritas. A palavra tem origem no latim, onde “*Later*” significa “tijolo” e “*ittus*” no latim antigo comunica a ideia de rocha, sendo que, na área de formação dessas camadas deve haver um clima caracterizado por altos índices pluviométricos, muito quente com evaporação intensa, o que permite que ocorra o processo denominado laterização (TARDY, 1993).

Essas coberturas são resultado da ação intensa do intemperismo; de maneira geral, elas indicam que esses materiais correspondem a produtos de intensa alteração subaérea da rocha, cujo teor de ferro e/ou alumínio é maior e o de sílica é menor que a rocha parental. Consistem predominantemente de assembleias minerais de goethita, hematita, hidróxidos de alumínio, caulinita e quartzo” (SCHELLMANN, 1981). Essas características, apontadas por Schellmann, indicam que a ocorrência de lateritas está associada a climas quentes e úmidos, em zonas intertropicais da Terra, inclusive nas zonas de rubefação (Figura 1), que são delgadas camadas ferruginosas na superfície de uma rocha ou num depósito de sedimentos, provenientes da oxidação do ferro existente em minerais da rocha.

A rubefação (estágio inicial da laterização) consiste no processo pelo qual íons de ferro são liberados de minerais primários e ao entrar em contato com o oxigênio

são oxidados. Após ocorrer a rubefação, os íons estarão liberados para o processo de laterização (KER *et al.*, 2012).

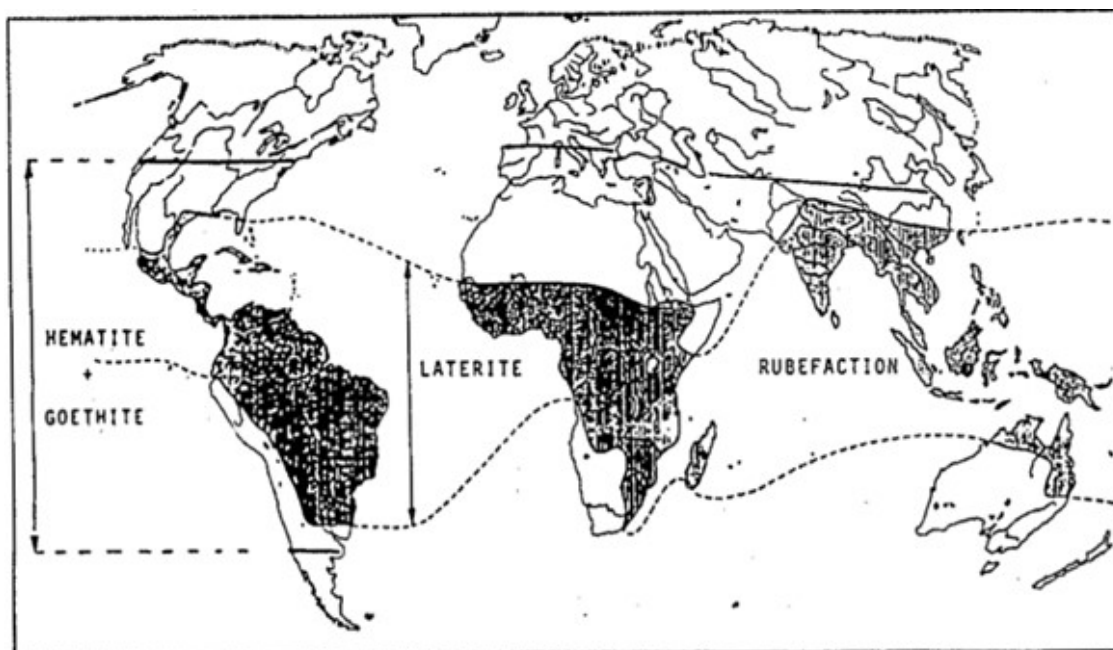


Figura 1. A zona de Rubefação coincide com a área intertropical de formação das lateritas. Fonte: (TARDY, 1993)

Os trópicos, que recobrem cerca de 25% das terras emersas do planeta, são responsáveis por cerca de 65% do fluxo de sílica dissolvida para os oceanos, devido à intensidade dos processos de intemperismo químico nas zonas intertropicais (BUSS *et al.*, 2017; MEYBECK, 1987; STALLARD; EDMOND, 1983).

O processo de laterização é o processo de transformação dos solos, que ocorre quando uma camada ferruginosa se aglomera sobre eles a partir da lixiviação de elementos mais solúveis. A formação dos depósitos lateríticos começam a partir de uma rocha mãe, que passa a ter uma maior quantidade de fissuras e trincas causadas pelo processo de intemperismo físico (variações de temperatura), além das já existentes causadas pelos processos tectônicos, e que, posteriormente, com formação das coberturas vegetais e com a incidência das chuvas, criam condições para a formação dos húmus e de água acidulada (COSTA, 2007).

Após essa etapa, o intemperismo químico passa a atuar e o elenco mineralógico que forma a rocha mãe sofre alterações químicas, fazendo com que os elementos químicos que a compõem fiquem no solo. Logo após, se inicia o processo de lixiviação, com a água que cai sobre a superfície e sofre percolação no solo, levando consigo os elementos químicos mais solúveis (Ca, Mg, Na e K) para áreas mais distantes e deixando na parte superior os íons de sílica e ferro, permitindo assim a formação dos depósitos lateríticos (COSTA, 1991).

Portanto, quando temos uma laterização avançada, o solo passa a ser denominado de laterita. Após uma forte desidratação, originam-se as crostas, as cangas e as concreções limoníticas (ricas em óxidos de ferro) e bauxitas (ricas em óxidos de alumínio) (RUTHERFORD *et al.*, 2001).

Apesar de serem encontradas nos topos de vertentes e escarpas, as lateritas se formam nas áreas onde o lençol freático oscila durante muito tempo, ou seja, normalmente nas posições mais baixas do relevo (ANA, 2014).

No caso do Brasil, com sua maior extensão na faixa tropical (entre a linha do Equador e o trópico de Capricórnio), a composição mineralógica dos depósitos lateríticos se dá por óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio e, predominantemente, a caulinita como argilomineral (ISSMFE, 1985); o ferro presente confere a estes solos uma coloração tipicamente avermelhada, com traços marrons e alaranjados (Figura 2).



Figura 2. Horizonte laterítico em SGO, formado por intemperismo intenso.

A Figura 3 apresenta a cobertura detrito-laterítica existente no Estado do Mato Grosso do Sul.

Esses depósitos lateríticos são aquíferos superficiais livres, armazenam e circulam água pelo solo, nas zonas de saprólitos e nas zonas de cangas, por meio de pequenas cavidades de lixiviação. São aquíferos porosos que sofrem recarga e descarga rápidas (CPRM, 2006). De maneira geral, a capacidade de exploração é local e bastante irregular, dependendo das condições climáticas locais.

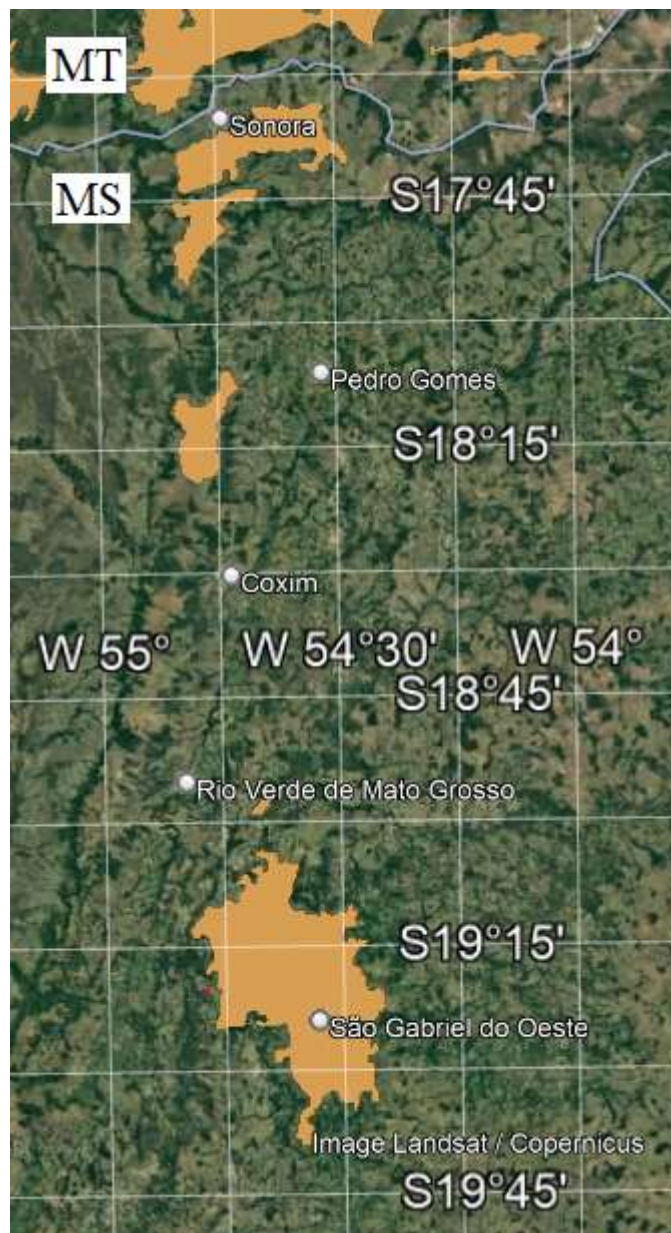


Figura 3. Localização da cobertura detrito-laterítica (em marrom) no Estado do Mato Grosso do Sul (Domínio 5.1). Fonte: Vetores (CPRM, 2006), Imagem (Google Earth, 2022), modificada pelo autor.

Segundo a CPRM (2006), o Domínio 5.1 está contido no macro Domínio 5, o qual está classificado mais genericamente como sendo: Coberturas sedimentares lateríticas, detrito-lateríticas e carbonáticas de idade cenozóica. Enquanto o Subdomínio 5.1 é descrito mais especificamente como sendo a cobertura detrito-laterítica formada por lixiviação química de rochas e solos das mais variadas composições, nossa área de estudos. Ainda segundo esse estudo da CPRM, esse Subdomínio da cobertura detrito-

laterítica tem características próprias, como a grande variabilidade das suas espessuras, grau de consolidação e dureza. Também são variáveis quanto à resistência ao corte, podendo ser bastante moles e friáveis, já que podem se apresentar bastante compactadas e com alta resistência à penetração e ao corte.

Ainda segundo a CPRM (2006), quanto a existência de material arenoso ou argilo-siltoso pouco consolidado, e não ou muito pouco laterizados, eles se desestabilizam facilmente em taludes de corte. Todavia, quando têm predomínio de caulinita, possuem baixa erosividade natural e boa estabilidade em taludes de corte.

Em relação a sua distribuição, essas formações ocorrem de forma irregular, tanto sob a forma de pequenos quanto grandes lajeados ou como blocos e matacões irregularmente distribuídos. Já quanto a sua composição, contêm altas concentrações de ferro (Goetita, hematita) e alumínio, materiais comumente bastante ácidos (CPRM, 2006).

1.2 GEOMORFOLOGIA

A cobertura detrito-laterítica tem influência na geomorfologia dos locais onde ocorrem, quando se apresentam mais consolidadas. Esses depósitos configuram-se como lateritas ricas em vênulas, poros, paleocondutos de raízes e pisólitos, com uma matriz microcristalina de hematita e goethita (> 95%) e traços de quartzo, plagioclásio e microclínio representantes de minerais graníticos (SANTOS; JUSTINA; FERREIRA, 2012). Os autores ainda explicam que, se a cobertura se encontra mais não consolidada, predominam as frações seixo, grânulo e areia (~ 87%), envoltos em uma matriz argilosa (~ 13%). Os grãos com diâmetros maiores que 0,062 mm dos materiais da zona incoesa e do horizonte argiloso exibem uma tendência de enriquecimento de quartzo nas granulações mais finas, exceto nos tipos argilosos mosqueados.

Os perfis incompletos mostram importante influência na interpretação da gênese da paisagem geomorfológica, configurando relevos jovens colinosos e platôs para as exposições de laterita da zona coesa e depressões para as exposições de materiais mais incoesos e do horizonte argiloso (TARDY, 1993). Na Figura 4, podemos verificar a distribuição geomorfológica da região centro-oeste.

Esses materiais lateríticos somente evoluem nas condições tropicais/subtropicais; entretanto, atualmente encontram-se em diferentes regiões da Terra, como no deserto do Saara ou em porções da Sibéria. Dessa forma, as lateritas são ótimos indicadores da deriva das placas tectônicas, pois elas se formaram em áreas tropicais. Posteriormente à deriva das placas tectônicas, teriam se posicionado nessas regiões, sendo, assim, indicadores da evolução da paisagem geomorfológica (TARDY, 1993). Essa possibilidade decorre do fato das lateritas serem, quando desidratadas, extremamente resistentes aos processos erosivos. Nas áreas tropicais, como no Brasil, vastas regiões possuem, em relevos mais elevados, espessos perfis de alteração com

lateritas em seu topo (Figura 5), como é o caso da área de estudos, nestes caso as lateritas protegem as chapadas de processos erosivos.

Os depósitos da área de estudos deste trabalho são considerados maduros, Segundo (COSTA, 1991), esses depósitos restringem-se a apenas algumas regiões no Brasil. Em geral, compõem o relevo mais elevado, sob a forma de platôs ou morros. Eles se apresentam como lateritas evoluídas, com maior complexidade de horizontes, texturas, estruturas, mineralogia, feições geoquímicas e mineralizações associadas. Essas lateritas mostram, em geral, feições típicas de processos policíclicos e epigenéticos.

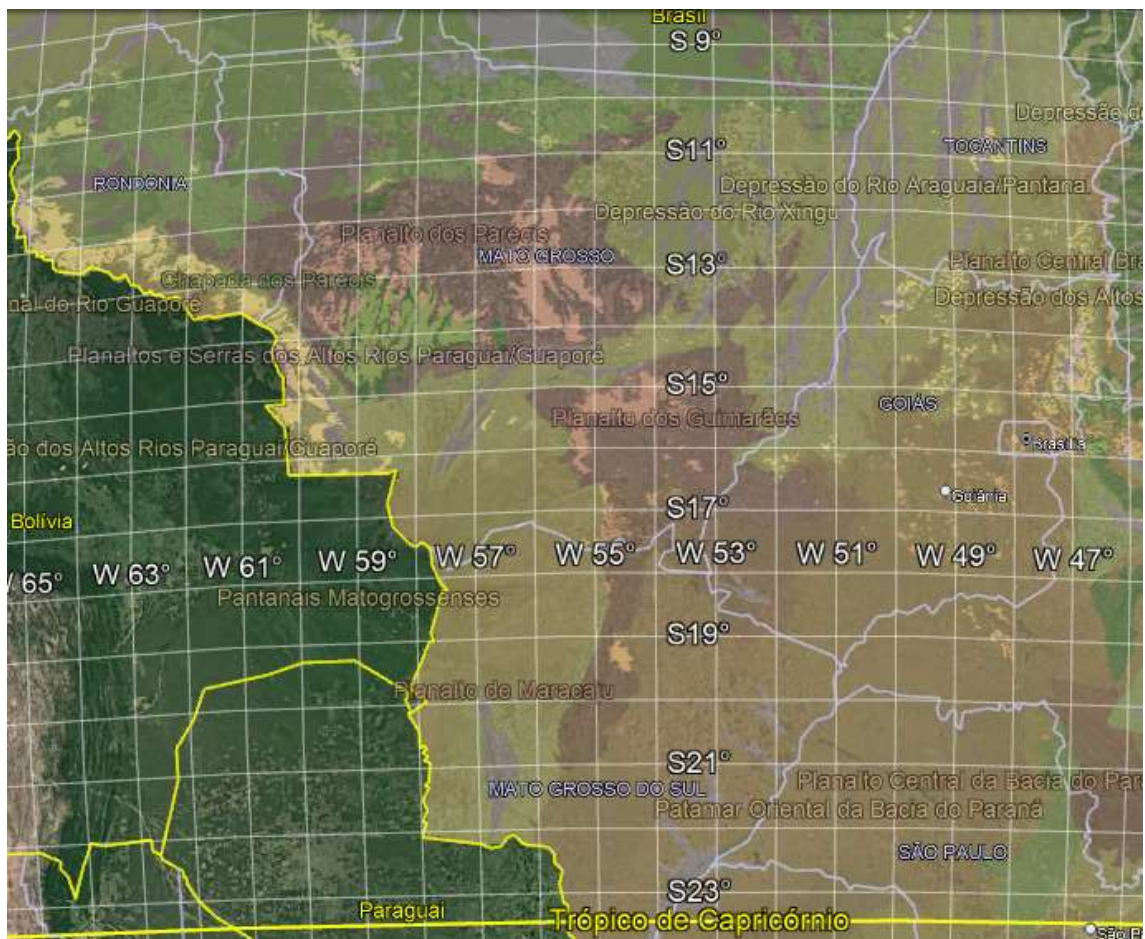


Figura 4. Sobreposição da geomorfologia do centro-oeste com as camadas detrítico-lateríticas – Legenda na própria imagem. Fonte: Vetores (CPRM, 2006), Imagem (Google Earth, 2022).

Na Figura 4, podemos verificar a sobreposição da geomorfologia da região centro-oeste com a localização da cobertura detrito-laterítica existente segundo os mapas da CPRM. Nesta sobreposição, podemos verificar que as coberturas detrito-lateríticas ocorrem em diversos domínios geomorfológicos com predomínio de chapadas e planaltos (Parecis, Guimarães, Maracaju, etc.). Mas elas podem ocorrer em depressões, como é o caso das depressões do alto Rio Paraguai e Javari e outros.



Figura 5. Chapadão do Zagaia (MG), com a ocorrência de lateritas nas bordas da chapada, que as 'protegem' dos processos erosivos. Foto: (UNICAMP, 2021)

O Chapadão de SGO está predominantemente sobre o domínio geomorfológico do Planalto central da Bacia do Rio Paraná e, secundariamente, sobre o domínio do Planalto de Maracaju (Figura 6). Sendo que o Chapadão de SGO é constituído totalmente pela cobertura detrito-laterítica (Domínio 5.1).



Figura 6. Geomorfologia e geologia (Domínio 5.1) do Chapadão de SGO (área marrom), à direita temos a bacia do Paraná e à esquerda o Planalto de Maracaju. Fontes: Vetores (CPRM, 2006), Imagem (Google, 2022).

Devido às suas características de formação, as lateritas são um importante indicador de condições paleotopográficas, paleoclimáticas, paleogeográficas e, mais detalhadamente, das condições pedogenéticas (UNICAMP, 2021).

Quando as condições de formação se desenvolvem por longos períodos, em áreas tropicais úmidas, os perfis de alteração, que recobrem as rochas formadoras

podem ser extremamente espessos, por vezes ultrapassando centenas de metros (TRICART, 1972; SCOTT; PAIN, 2009) e são denominados de perfis de alteração lateríticos ou apenas perfis Lateríticos (BUTT *et al.*, 2009). Estes perfis de alteração normalmente estão associados a paleosuperfícies (BATTIAU-QUENEY, 1996).

Na Figura 7, podemos verificar um exemplo completo de um perfil laterítico coberto por concreções ferruginosas e na Figura 8 são apresentados exemplos da ocorrência desta cobertura detrito-laterítica.

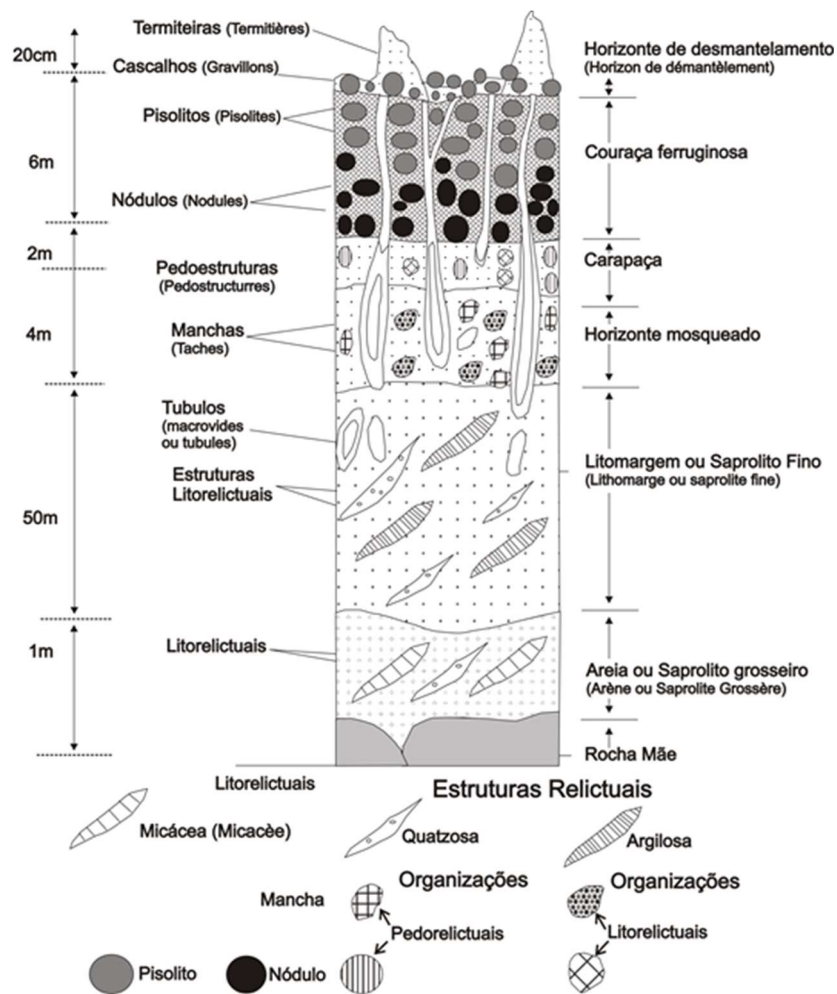


Figura 7. Representação esquemática de um perfil laterítico coberto por canga ferruginosa. Fonte: (TARDY, 1993).

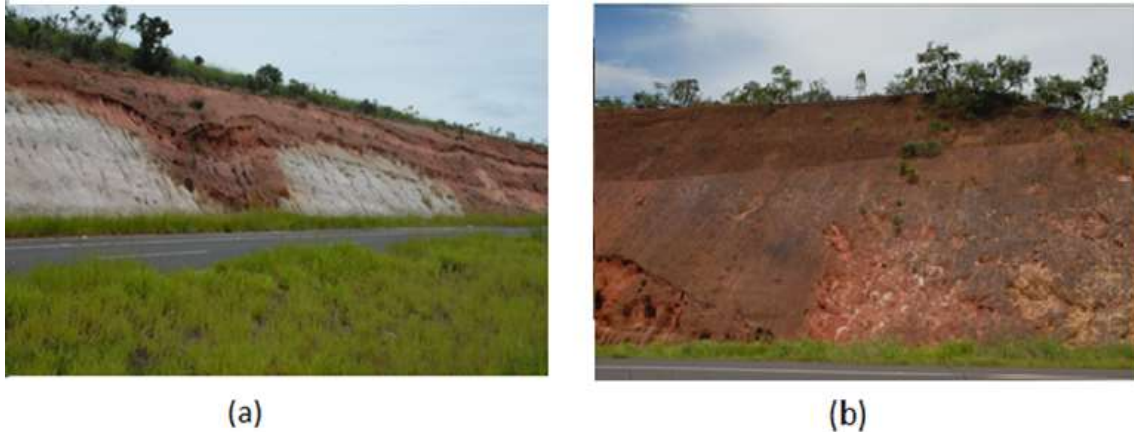


Figura 8. (a) Base do perfil laterítico afetando os depósitos da Formação Marília no estado de SP; (b) Nível de mosqueamento posicionado acima da Fm. Marília. Fonte: (UNICAMP, 2021).

A correlação entre a cobertura detrito-laterítica e a formação da paisagem foi muito estudada na bacia do Igarapé Belmont, nas proximidades de Porto Velho-RO, na escala 1:25.000, inclusive com geofísica (SANTOS; JUSTINA; FERREIRA, 2012). Desse estudo retiramos a seguinte informação:

“Dos 10 tipos de relevo identificados, três têm relação com crostas lateríticas:

i) Denudacional Estrutural Tabular com fraco entalhamento dos vales e pequena dimensão interfluvial, cuja superfície é sustentada por coberturas detrito-lateríticas;

ii) Denudacional Estrutural Tabular com fraco entalhamento dos vales e média dimensão interfluvial, cuja superfície apresenta vertentes íngremes com formato côncavo e geralmente sustentadas por coberturas detrito-lateríticas imaturas;

iii) Denudacional tabular com muito fraco entalhamento dos vales e média dimensão interfluvial, cuja superfície é dissecada e plana, abrigando coberturas detrito-lateríticas em colinas de topo plano (platôs).”

HERRERA *et al.* (2017) utilizaram dados de gamaespectrometria e altimetria para a identificação de crostas lateríticas no sul do Estado de Rondônia e

delimitaram com êxito a presença de crostas lateríticas e latossolos em dois domínios geomorfológicos principais. Os resultados obtidos nesses trabalhos expõem uma clara relação entre platôs e crostas lateríticas, além da relação com altos valores gama-espectrométricos.

Na região oeste do Estado de Goiás, há uma correlação entre as lateritas e a geomorfologia local, com amplas áreas aplainadas e com o domínio de latossolos, cujo embasamento cristalino está coberto por sedimentos detrítico-lateríticos do Terciário-Quaternário com concentração de concreções lateríticas situadas imediatamente abaixo do horizonte. Tais coberturas ocorrem ora na forma de platôs descontínuos, geralmente em níveis de topografia mais elevada, ora em superfícies planas e extensas, formando um verdadeiro pavimento na região (MACHADO; LIMA; VIEIRA, 2011).

1.3 RECURSOS NATURAIS E MINERAIS DA CAMADA TERCIÁRIA E DE SUAS CANGAS LATERÍTICAS

O uso dos solos lateríticos relaciona-se a diversos fatores essenciais para nosso dia a dia que vão desde a agricultura até a construção civil.

Edgar Thurston (THURSTON, 1913) comenta que em 1807, na Índia, Francis Buchanan-Hamilton publicou os primeiros registros a respeito das lateritas de que se tem conhecimento, denominados, segundo ele, de “argila endurecida”. Buchanan relatava o caráter duro e resistente desse tipo de material, da concentração de óxidos e hidróxidos de ferro, do grande número de poros observados (a olho nu), de sua resistência à erosão, da ausência de estratificação e de seu potencial uso para construção.

Por terem esse alto teor de argila, as lateritas são principalmente usadas para a fabricação de blocos de construção, os conhecidos tijolos de pedra (Figura 9), eles eram muito utilizados mundialmente e no interior do Brasil (UNICAMP, 2021).

Além disso, temos como utilização mais comum desses depósitos a pedra brita, calçamento e revestimento.

Segundo COSTA (2007), as crostas têm sido utilizadas na engenharia civil na construção de obras rodoviárias, barragens e até mesmo para a fabricação de concreto devido à grande disponibilidade e baixo custo de extração; essa aplicação depende das características da jazida, sendo as melhores jazidas aquelas que apresentam concreções com núcleos ferruginosos contínuos e resistentes.

Apesar de serem aproveitadas como material para construção civil, as áreas com ocorrência de crostas lateríticas têm limitações para a agricultura devido à baixa fertilidade (ALEVA, 1994; COSTA, 2007). De acordo com (NOGUEIRA, 1985), esse problema está diretamente relacionado ao clima, à vegetação e às características dos perfis. Em condições de boa drenagem, silício, ferro e alumínio são concentrados formando as crostas lateríticas, enquanto Ca, Mg, Na e K são lixiviados, comprometendo a capacidade de troca catiônica, a retenção de água e, portanto, a fertilidade do solo (CHANDRASEKARAN *et al.*, 2010).

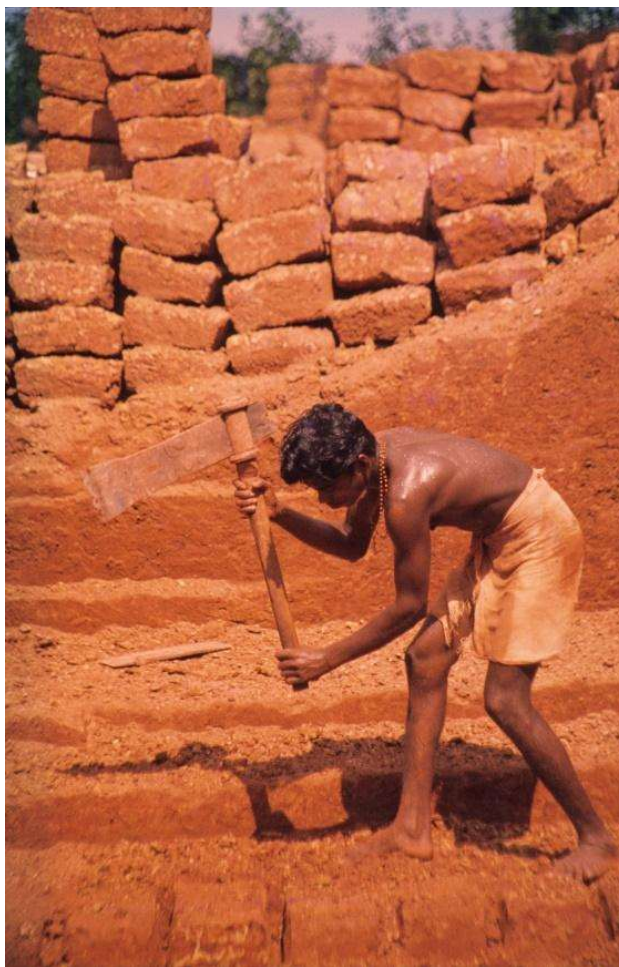


Figura 9. Extração de blocos de laterita na Índia. Foto: Werner Schellmann, 1998.

As formações lateríticas podem conter jazidas minerais, e estas contribuem com cerca de 30% da produção mineral brasileira, excluindo o carvão e o petróleo (COSTA, 2008).

Segundo Costa (COSTA, 1991), temos que:

“Os depósitos lateríticos normalmente são ricos em metais, como Fe e Al e, pobres em Si, K e Mg, se comparados à composição de sua rocha-mãe. As lateritas podem ser compactas, maciças, coesas e incoesas, terrosas ou argilosas, com coloração variando de vermelho, violeta, amarelo, marrom até o branco. Sua composição mineralógica envolve geralmente oxidróxidos de ferro (goethita e hematita), de alumínio (gibbsita e bôhmita), titânio (anatásio) e de manganês (litioforita, todorokita etc); argilo-minerais

(caulinita, kandita); secundariamente fosfatos (crandalita-goyazita, augelita, outros) e resistatos (turmalina, cassiterita, rutilo, quartzo etc).

A textura, estrutura, mineralogia, composição química e coloração das rochas lateríticas variam amplamente em seção vertical, dando origem a uma sucessão característica de horizontes sub-horizontais e compondo os já classicamente conhecidos perfis lateríticos, os depósitos lateríticos podem ser imaturos ou maduros.

Ainda segundo (COSTA, 1991), no Brasil, os depósitos estão situados em sua maioria na faixa tropical, sendo que os requisitos para o intemperismo laterítico vêm ocorrendo desde o Terciário, o que resultou, atualmente, em uma área razoável do território nacional coberto por solos lateríticos. Por esse motivo, essas formações estão ausentes apenas na região Nordeste, de clima semiárido, e na região Sul, de clima subtropical.

E, quando falamos nas mineralizações secundárias, temos no Brasil, além das jazidas de bauxita, ferro, caulinita, manganês e ouro, depósitos de níquel, cromo, fosfatos, estrôncio, titânio, etc - todos estes com alto potencial comercial (AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2023; BNDES, 2000).

Os depósitos lateríticos maduros, em decorrência de seu alto grau de evolução, favorecendo a elevada diferenciação química, são os mais complexos em mineralizações associadas, já os depósitos imaturos são mais propícios a concentrar ouro, urânio, platina, níquel, cobre e cobalto (COSTA, 1991).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) publicou um trabalho (SILVA, 2010) no qual foi estudada a rugosidade natural do terreno, utilizando imagens SAR aerotransportado (alta resolução espacial); observou-se que ocorrem depósitos lateríticos mineralizados no depósito N1 de Carajás-PA, que se apresentam como a maior jazida de minério de ferro do mundo na atualidade, o que demonstra a importância que esse tipo de mineralização pode ter.

No texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Rondônia (QUADROS; RIZZOTTO, 2007), é indicado que dentro da unidade (NQcl) mapeada pelos autores, são possivelmente encontrados os depósitos de cascalho conglomerático e laterítico, areia grossa, argila e água mineral subterrânea.

Segue um breve descritivo adicional sobre os principais minérios encontrados neste tipo de canga laterítica. São eles:

O minério de bauxita, a principal fonte para o alumínio. Bauxita é uma variedade de laterita chamada de laterita bauxítica, por isso não tem fórmula química única. Em depósitos recentes submetidos à clima tropical, compõem-se principalmente de minerais de alumina hidratados, como gibbsita; já em depósitos mais antigos, subtropicais a temperados, os principais minerais são boehmita e diásporo (COSTA, 1991).

As lateritas basálticas foram formadas por extenso intemperismo químico dos basaltos. Eles chegam a uma espessura máxima aproximada de 30 metros e são uma importante fonte de ferro e de alumínio. A percolação de água ácida provoca degradação dos basaltos, precipitando os minerais de ferro e alumínio, primeiramente olivina, plagioclásio, feldspato e augita. Esses minerais foram sucessivamente quebrados e substituídos por uma variedade de minerais: hematita, gibbsita, goethita, anatasio, haloisita e caulinita (COSTA, 1991).

Inicialmente, as lateritas foram a principal fonte de níquel. Depósitos lateríticos ricos em níquel foram extraídos a partir do final do século XIX. A descoberta de depósitos de sulfetos em Ontário, Canadá, durante a primeira parte do século XX mudou o foco de sulfetos para extração de níquel; porém, cerca de 70% dos depósitos de níquel estão contidos em lateritas, que representam atualmente cerca de 40% da produção mundial (ANM, 2022; BNDES, 2000), segundo o estudo do BNDES, temos que:

“Quanto ao minério laterítico, sua ocorrência se dá numa região mais superficial, mais especificamente a saprolítica. Seus depósitos, situados principalmente no Brasil, Cuba, Austrália, Indonésia, Nova Caledônia e Filipinas, possuem teores médios de níquel em torno de 1,95% e teores de óxido de ferro acima de 24%, além da presença de cobalto e magnésio.

A região do pacífico asiático dispõe de extensos depósitos de minério laterítico, com teores de médio a alto. Nesta região, aproximadamente 70% da produção de níquel refinado é oriunda de minérios lateríticos, sendo os 30% restantes originados de minérios sulfetados.

Vários especialistas têm apontado a necessidade de desenvolver as possibilidades de exploração das reservas de minério laterítico, visando o atendimento à demanda futura e a redução dos custos de produção do metal”.

Pequenos depósitos auríferos podem ser encontrados na base estratigráfica dos depósitos lateríticos. No Brasil, mais especificamente na região de Porto Velho, os garimpeiros chamam esse material de Mucururu (CPRM, 1991).

1.4 MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS

Agora que já temos um conhecimento prévio sobre os depósitos terciários, no que concerne à sua distribuição, geologia, geomorfologia, recursos naturais e depósitos minerais, passaremos para um entendimento do estado da arte dos levantamentos geofísicos já realizados no Brasil e a nível mundial, no que concerne à delimitação e caracterização da cobertura detrito-laterítica e seus depósitos detrito-lateríticos.

Com o crescimento do interesse na exploração de recursos minerais dos depósitos lateríticos, impulsionado pelo aumento da demanda e novas tecnologias de processamento (BNDES, 2000; MESQUITA; CARVALHO; OGANDO, 2016), a necessidade de delineamento preciso de recursos e planejamento cuidadoso das suas características e localização torna-se essencial.

O uso tradicional de malhas de poços para delineamento das cangas lateríticas não é suficientemente preciso e não tem um bom custo-benefício; isso ocorre

devido à complexidade dos perfis de intemperismo tropicais, o que torna a extensão e as espessuras das cangas lateríticas bastante discordantes entre si.

A utilização da geofísica na prospecção minerária destas cangas de laterita e sua, conseqüente, geodelimitação, têm um grande potencial para ajudar no entendimento da geologia dos projetos exploratórios, na delimitação dos recursos e de problemas de planejamento minerário, isto devido à sua grande resolução. Como apontado por (MARSH; ERIC; GRAY, 2013), o aumento do banco de dados da geologia do local estudado, bem como sua capacidade de gerar imagens de resolução da textura do leito rochoso e a localização precisa das estruturas em subsuperfície.

Apresenta-se assim uma gama de estudos geofísicos com os mais variados equipamentos e metodologias, utilizados para a caracterização e o mapeamento da cobertura detrito-laterítica com diversos tipos de mineralizações, com muito sucesso; ou seja, os métodos geofísicos modernos empregados em múltiplas escalas podem ser úteis durante a exploração de depósitos de laterita em escala regional, seja na sua localização ou na sua delineação, cubagem e caracterização.

Técnicas de sensoriamento remoto, levantamentos aeromagnéticos, radiométricos, gravimétricos e ópticos fornecem informações sobre a ampla estrutura crustal na qual os depósitos lateríticos podem estar hospedados. Esses métodos são eficazes para mapear as rochas ultramáficas e serpentinizadas, bem como seus produtos já intemperizados. Esses métodos gravitacionais e magnéticos podem ser usados para mapear possíveis zonas de falha (MARSH; ERIC; GRAY, 2013).

Se estivermos analisando em uma escala de depósitos, os métodos magnéticos, gravimétricos, eletromagnéticos, elétricos e o radar de penetração no solo (GPR) são muito úteis para delinear o perfil de intemperismo no qual os depósitos de laterita se formam (HORTON, 2008).

Sempre lembrando que a interpretação desses dados não é exclusiva e, portanto, deve ser sempre acompanhada de informações diretas, como mapeamentos geológicos e perfuração de poços ou trincheiras, ou ainda a utilização de múltiplas técnicas geofísicas, a fim de minimizar a ambiguidade inerente aos métodos indiretos.

Como exemplos diretos da aplicação dos diferentes métodos geofísicos, escolheram-se alguns trabalhos para embasamento teórico e referencial bibliográfico da aplicação da geofísica neste tipo de cobertura detrítico-laterítica.

Um dos exemplos é a utilização do Método de Sensoriamento Remoto Óptico, realizado com imagens multiespectrais, que se provou muito útil para a exploração de coberturas detrítico-lateríticas com mineralizações de Ni-Co na região de Conceição do Araguaia, aqui mesmo no Brasil (SEOANE *et al.*, 2009).

Trabalhos realizados na Serra do Tapa e Vale dos Sonhos, no Brasil, utilizaram levantamentos radiométricos aéreos para localizar rochas ultramáficas em áreas fortemente intemperizadas. Elas contêm depósitos de laterita. Tais depósitos contêm mineralização de níquel laterítico associada a complexos ofiolíticos de idade Pré-Cambriana da Faixa de Dobramentos Araguaia, localizados no Estado do Pará (GOLIGHTLY, 2010).

Os métodos magnéticos e gravitacionais foram utilizados em estudos no nordeste de Cuba e podem ser considerados como um bom exemplo do uso de dados magnéticos na segmentação de minérios lateríticos; nesta área, as camadas lateríticas estão dentro do cinturão de ofiolitos Mayarí-Baracoa (BATISTA-RODRÍGUEZ, 2006).

No Burundi (pequeno país de África, encravado entre Ruanda e a Tanzânia), foram utilizados os métodos elétricos incluindo resistividade elétrica por sondagem elétrica e eletrorresistividade em poços durante a fase exploratória dos

depósitos de laterita, para direcionamento de lavra e caracterização do material (PERIC, M., 1981).

Uma análise com eletrorresistividade dos materiais lateríticos no campus Morro do Cruzeiro, na Cidade de Ouro Preto – MG, foi realizada por (MAGALHÃES, 2021).

Dados eletromagnéticos (EM) aerotransportados têm sido usados para entender melhor os depósitos de laterita na Austrália Ocidental (RUTHERFORD *et al.*, 2001), no estudo da relação entre materiais de regolito, suas propriedades petrofísicas, hidrogeológicas e a mineralização nos depósitos de laterita denominado Cawse.

Em estudos na região de Queensland, na Austrália, os autores descrevem que para alcançar uma compreensão geológica abrangente dos perfis de laterita e para uma correta caracterização destes, os estudos devem ser feitos combinando as técnicas geológicas tradicionais de mapeamento e perfilagem de poços com as sondagens geofísicas com o GPR, além de dados topográficos de alta resolução. Além disso, devem ser consideradas demais informações geológicas advindas de interpretações derivadas de outros conjuntos de dados geofísicos. Como exemplo, ele cita dados magnéticos e gravimétricos que podem levar a uma melhor compreensão da geologia do leito rochoso (HORTON, 2008).

1.4.1 MÉTODO GPR

A partir dos estudos citados, observa-se que praticamente todos os métodos geofísicos podem ser utilizados com sucesso em pelo menos em alguma fase dos estudos da cobertura detrítico-laterítica; nestas mesmas pesquisas bibliográficas, podemos

verificar que o método utilizado com maior frequência e com maior sucesso é o radar de penetração no solo (GPR).

O GPR é uma ferramenta eficaz para entender o perfil de intemperismo onde os depósitos de laterita podem estar presentes. O método é indicado para locais onde a espessura das coberturas variam de extremamente fina até aproximadamente 50 metros, pois em perfis de intemperismo tropical o GPR é sensível ao teor de água, o qual aumenta muito a condutividade do solo e, conseqüentemente, aumenta a atenuação da onda eletromagnética, assim como é sensível ao teor de Ferro, que atenua o sinal do GPR (FRANCKÉ; NOBES, 2000). As variações da porcentagem de água presentes nas coberturas são um fator de controle importante para a reflexão das ondas de radar, uma vez que a água pode retardar ou impedir a passagem das ondas do GPR; já solos não saturados e limonitas, por exemplo, são materiais porosos e com quantidade de umidade baixa, nestes pontos as ondas de radar podem viajar em velocidades mais altas e com menor atenuação.

As ondas de radar propagam-se em velocidades relativamente baixas através da zona de saprólito, onde os minerais argilosos com alto teor de água podem se concentrar, atenuando assim a penetração das ondas. Já as velocidades são substancialmente mais altas através da rocha por causa de um teor de água relativamente baixo.

Estas variações de velocidade e distintas formas e amplitudes de atenuações são ideais para o intérprete dos radargramas poder inferir as diversas litologias e zonas anômalas.

Os autores FRANCKÉ; NOBES, (2000) mostraram a eficácia do GPR durante as fases avançadas de exploração em vários depósitos de laterita. Os estudos

mostraram que a técnica de GPR pode definir claramente o horizonte saprólito em um perfil laterítico, como pode ser visto na Figura 10.

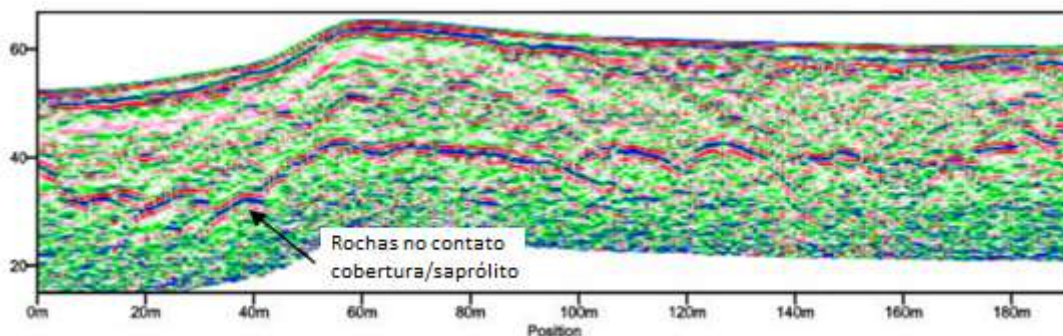


Figura 10. Radargrama GPR mostrando o contato da cobertura detrítico-laterítica com o saprólito no Canadá Fonte: (FRANCKÉ; PARKINGSON, 2000).

A espessura dos horizontes intemperizados em um perfil laterítico é altamente variável, como podemos ver na Figura 11, mas a utilização da técnica de GPR fornece uma imagem contínua do leito rochoso em profundidade, levando a uma resolução muito maior e uma projeção mais completa da cobertura e dos depósitos minerais, sendo uma técnica econômica que pode detectar calhas e pilares que são potencialmente perdidos pelos programas de perfuração exploratória (malha de furos) (FRANCKÉ; NOBES, 2000).

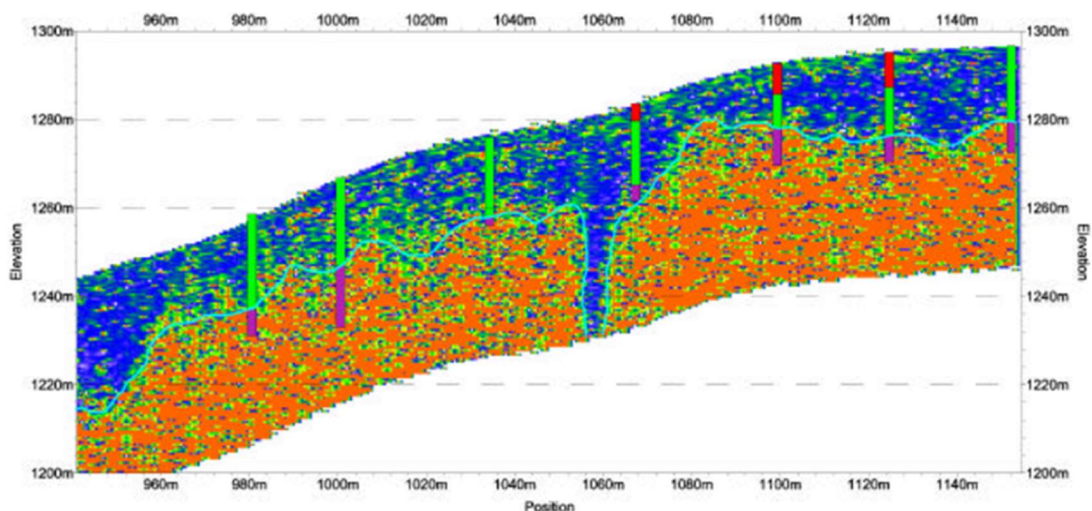


Figura 11. Seção GPR mostrando a variação da cobertura intemperizada no Canadá. Fonte: (FRANCKÉ e PARKINGSON, 2000)

No Brasil, podemos citar uma pesquisa utilizando o GPR na cobertura detrito-laterítica (HERRERA *et al.*, 2017), realizada na Amazônia Brasileira, a qual utilizou integração de dados geofísicos e geoquímicos para a caracterização e o mapeamento de cangas lateríticas. Trabalhos na região da mineração de ouro em Carajás, no estado do Pará, onde os estudos foram realizados utilizando GPR para mapeamento de cavas (GAMA *et al.*, 2019) também são analisados.

Como se pode observar, o método GPR é utilizado para o estudo desta cobertura detrito-laterítica a nível mundial, podemos citar os trabalhos de (FRANCKÉ; PARKINGSON, 2000) e o trabalho de (PARKINSON, 1998), ambos no Canadá e os trabalhos de (QUEEN *et al.*, 1998) nas lateritas de Papua e Nova Guiné.

Entretanto, não se tem nenhum estudo com este método nas coberturas do Estado do Mato Grosso do Sul, ficando assim evidente a necessidade de conhecermos melhor esta cobertura detrito-laterítica e suas cangas lateríticas, bem como estudar a maneira que o GPR irá responder ao ser utilizado nas condições geológicas específicas desta área.

2. ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo é a área denominada regularmente como o chapadão de São Gabriel do Oeste (SGO), com aproximadamente 300km de perímetro e 133.000 hectares de área. Encontra-se, quase em sua totalidade, no município de São Gabriel do Oeste-MS e uma pequena parte no município de Bandeirantes-MS, na região centro-norte do Estado de Mato Grosso do Sul. A sede do município de São Gabriel do Oeste-MS localiza-se às margens da Rodovia BR-163 (Figura 12), distando aproximadamente 140 km da capital Campo Grande (MS).

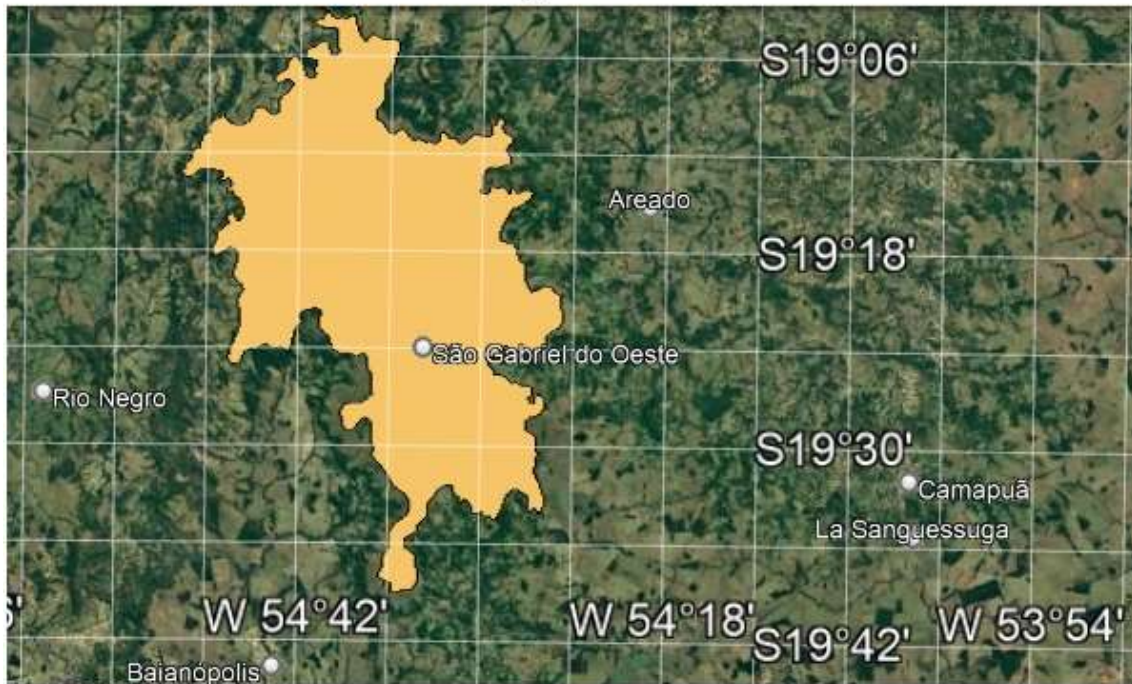
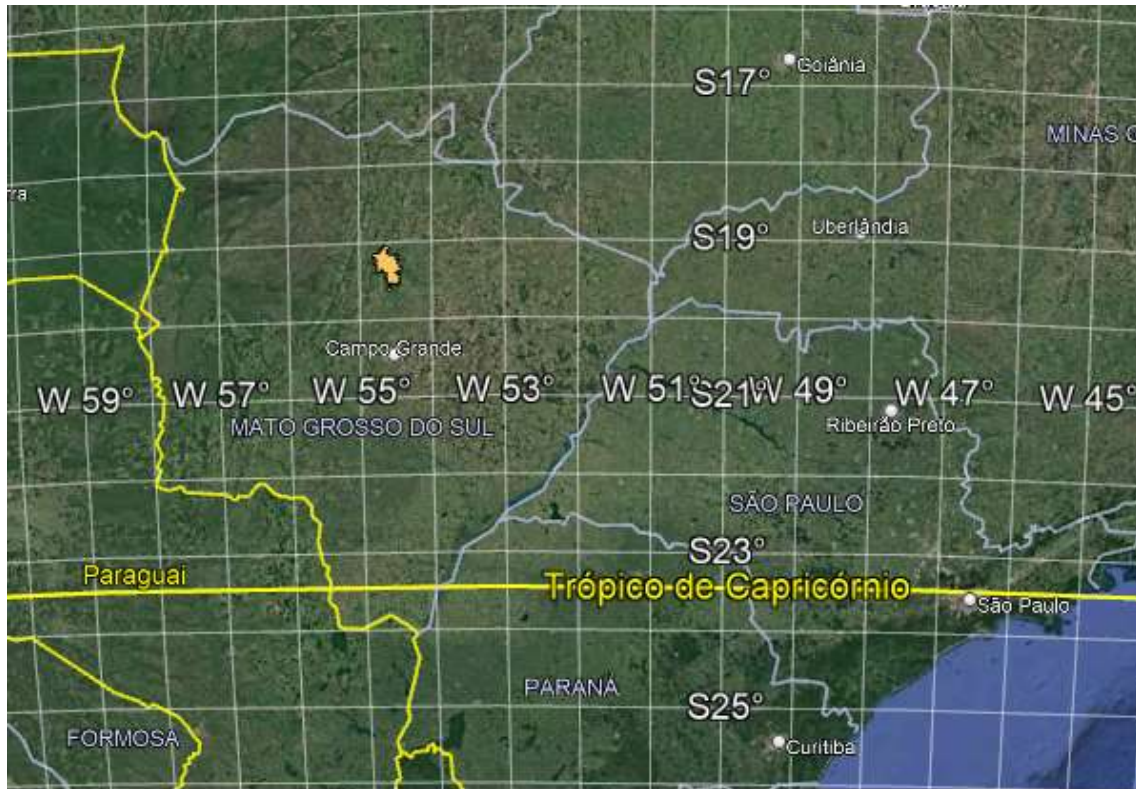


Figura 12. Fotos mostrando a localização da área, na foto superior a macrolocalização e na inferior localização em detalhe. A área em destaque é a delimitação do chapadão de SGO. Fonte: (Google, 2023) modificada pelo autor.

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

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 implantada; porém, a partir da década de 1970, houve uma forte expansão agrícola no município (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GABRIEL DO OESTE, 2022).

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 grande e 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, cadeia produtiva 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 (Figura 12), esta cobertura é o objeto da caracterização geofísica proposta para este trabalho.

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), cuja classificação de vulnerabilidade é apresentada na Figura 13.

Domínio	Sigla da unidade	Caracterização da unidade geológico-ambiental segundo CPRM (2013b)	Vulnerabilidade
DC – domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados	Dca	Ambiente de planícies aluvionares recentes – Material inconsolidado e de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	3,0
	DCfi	Ambiente fluviolacustre – Predomínio de sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilosas, ocasionalmente com presença de turfa.	3,0
	DCm	Ambiente misto (marinho/continental) – Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, argilosos, em geral ricos em matéria orgânica (mangues).	3,0
	DCmc	Ambiente marinho costeiro – Predomínio de sedimentos arenosos.	3,0
	DCta	Ambiente de terraços aluvionares – Material inconsolidado a semiconsolidado, de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	3,0
DCDL – domínio das coberturas cenozoicas detrítico-lateríticas	DCDL	Depósitos detrítico-lateríticos – Provenientes de processos de laterização em rochas de composições diversas, sem a presença de crosta.	3,0
	DCDLi	Horizonte laterítico in situ – Proveniente de processos de laterização em rochas de composições diversas, formando crosta. Exemplo: crostas ferruginosas.	3,0

Figura 13. Caracterização e valores de vulnerabilidade à contaminação atribuídos às unidades geológico-ambientais. Fonte: (CPRM, 2013).

Segundo CPRM (2013), a nossa 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 podemos observar no mapa da Figura 14, temos uma grande presença desta cobertura detrítico-laterítica, não somente na nossa área de estudos, mas em toda região centro oeste do Brasil, caracterizadas pelas suas extensões de grande importância regional.

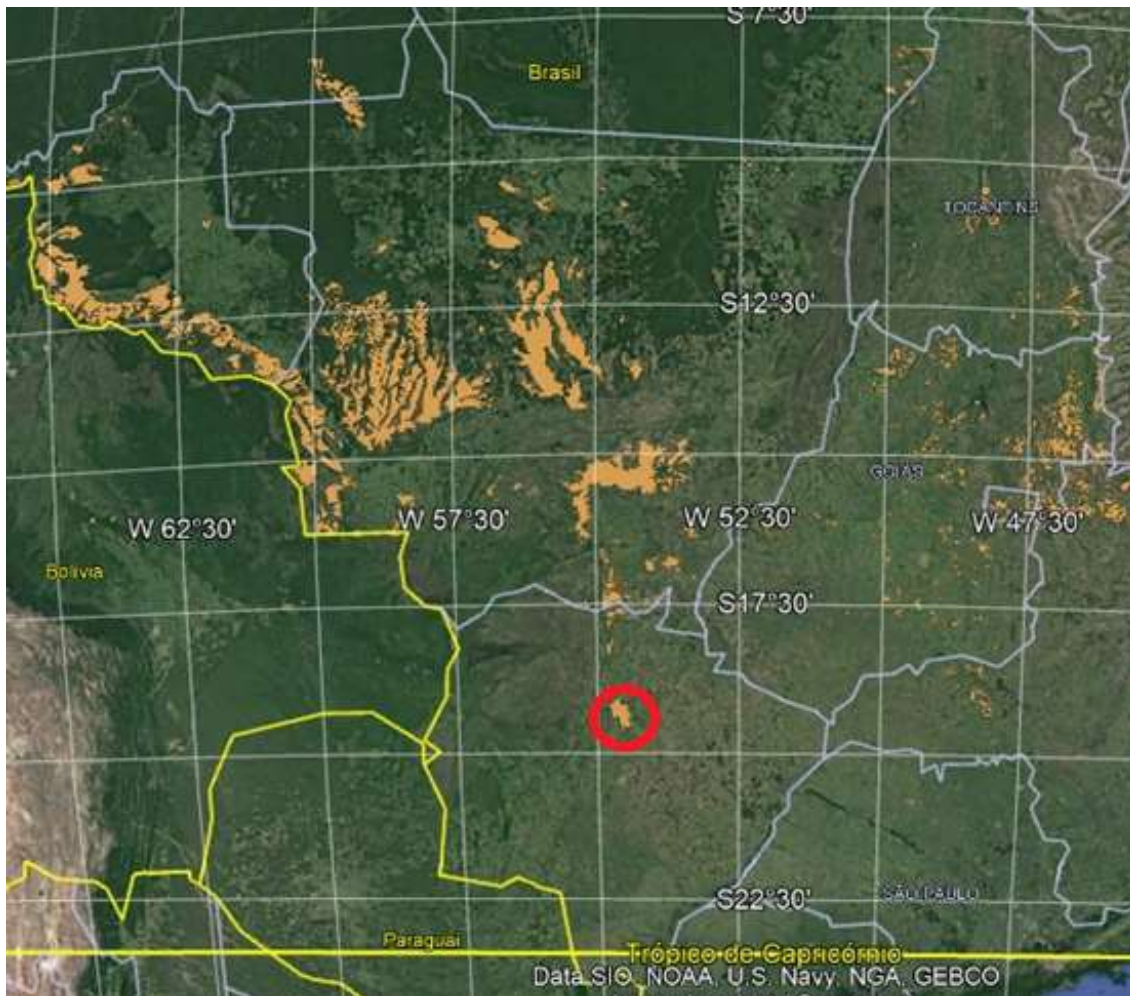


Figura 14. Caracterização geológica, onde podemos ver as áreas de afloramento deste tipo de cobertura na região Centro-Oeste (em Marrom), e a área de estudos deste trabalho (área circulado em vermelho). Fonte: Vetores (CPRM, 2006), Imagem (Google Earth, 2022), modificada pelo autor.

2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.2.1 CONTEXTO REGIONAL

A área de estudos está geologicamente inserida na Bacia do Paraná, a qual é uma estrutura intracratônica flexural (CPRM, 2006), que abrange a região sul-sudeste do estado, prossegue para o interior de outros estados brasileiros como pode ser visto na Figura 15.

De acordo com MILANI e RAMOS (1998), referente ao Estado de Mato Grosso do Sul, as unidades da Bacia do Paraná correspondem às do seu setor noroeste, estas incluem sequências da fase inicial de extensão continental e formação de riftes, seguida de sedimentação relacionada à subsidência termal e ao ajuste isostático posterior. São considerados quatro ciclos de subsidência, correspondentes às supersequências Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana III (Neo-Jurássico) e Bauru (Cretáceo), estes ordenam-se da seguinte forma, conforme (Teixeira, 2001):

(i) fase inicial de preenchimento de rifte e deposição da Supersequência Rio Ivaí;

(ii) fase sinéclise, correspondente à deposição das supersequências Paraná e Gondwana I;

(iii) fase de abertura do oceano Atlântico, e deposição da Supersequência Gondwana III, e

(iv) encerramento da evolução da bacia com a deposição da Supersequência Bauru.

A supersequência Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano) foi gerada durante um ciclo transgressivo e engloba as Formações (CPRM, 2006):

- (a) Alto Garças, constituída de arenitos fluviais, transicionais e costeiros;
- (b) Iapó, composta por diamictitos glaciais representativos do limite de sequência de terceira ordem da Supersequência Rio Ivaí; e,
- (c) Vila Maria, composta de folhelhos que registram a superfície de máxima inundação (Milani, 1997).

Já a supersequência Paraná do Devoniano, resulta de um ciclo transgressivo-regressivo e é composta por (CPRM, 2006):

- Formação Furnas, constituída de arenitos e conglomerados fluviais e transicionais, com abundantes icnofósseis; e
- Formação Ponta Grossa, constituída principalmente por folhelhos e dividida em três membros, sendo que o inferior (marinho), corresponde à superfície de máxima inundação do Devoniano.

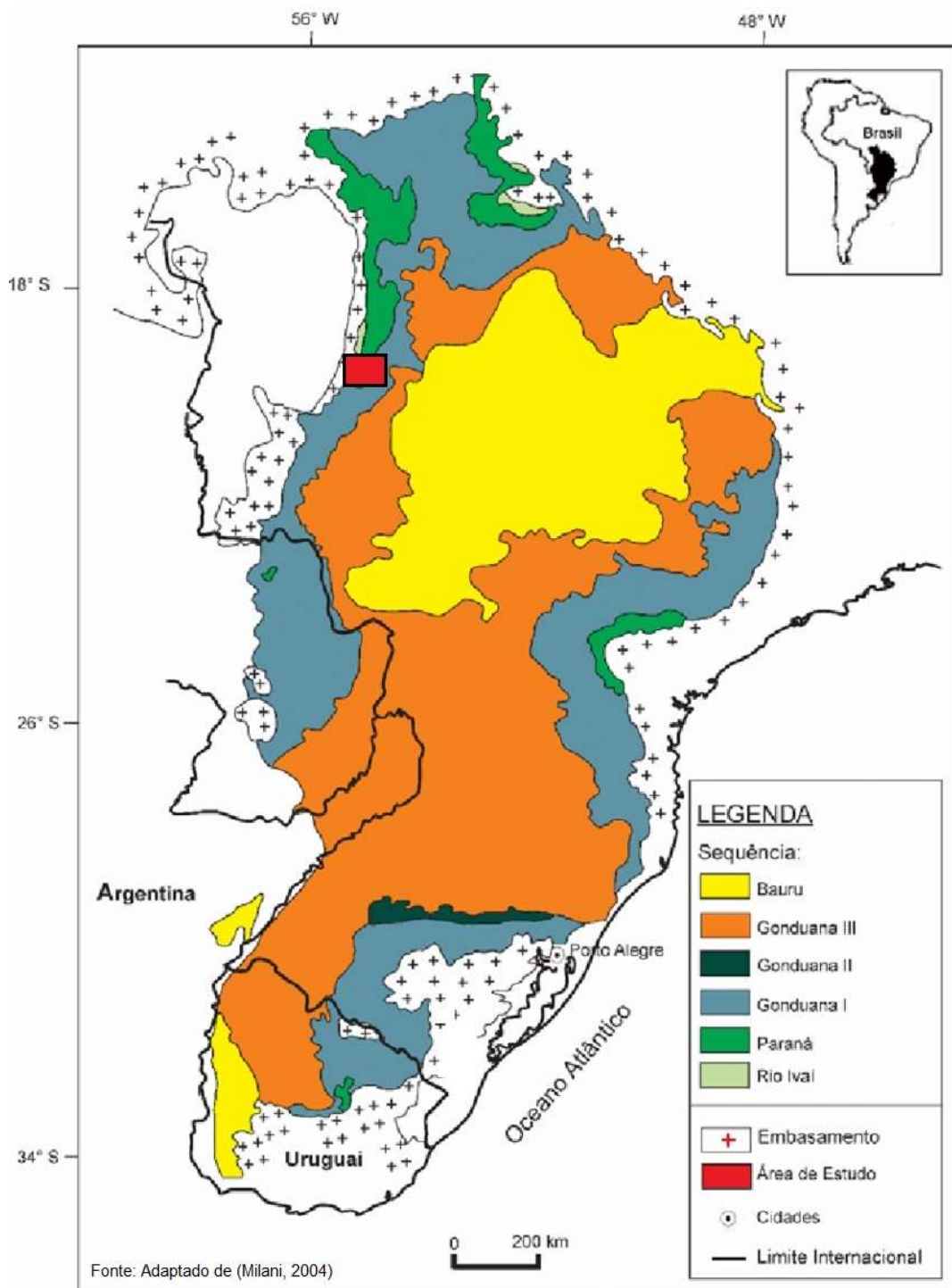


Figura 15. Mapa geológico, simplificado, da Bacia do Paraná com a localização da área.

A supersequência Gondwana I (Carbonífera-Eotriássica), engloba as formações que compõem os Grupos Itararé, Guatá e Passa Dois. Segundo Milani, esta supersequência compreende uma parte basal transgressiva, correspondente ao Grupo Itararé, o qual possui as formações Lagoa Azul, Campo Mourão, Taciba e Aquidauana, o

qual é constituído por depósitos sedimentares glácio-marinhos, e ao Grupo Guatá, composto de sedimentos deltáicos, marinhos e litorâneos da Formação Rio Bonito e de sedimentos marinhos da Formação Palermo (CPRM, 2006). A superfície de inundação máxima se situa na porção intermediária. A porção superior, regressiva, está registrada nos depósitos marinhos e transicionais do Grupo Passa Dois nas formações Irati, Serra Alta, Teresina, Corumbataí e Rio do Rastro.

A Superseqüência Gondwana III corresponde à fase que antecede a abertura do oceano Atlântico. Compreendendo a Formação Botucatu, a qual é constituída de arenitos eólicos de ambiente desértico, seguidos pelo extravasamento de grande volume de lavas basálticas continentais durante o Mesozóico, representados pela Formação Serra Geral. Sobre estas rochas vulcânicas depositaram-se cerca de 300 m de arenitos dos Grupos Caiuá e Bauru, de idade neocretácica (CPRM, 2006). Esta seqüência associa-se a um vulcanismo alcalino que corresponde ao ciclo final da Bacia do Paraná (Schneider et al., 1974; Milani, 1997). Para Fernandes (1992, 1998) e Fernandes e Coimbra (1994, 2000), o conjunto sedimentar constitui uma bacia continental interior independente, separada da Bacia do Paraná, e denominada de Bacia Bauru.

Com relação ao arcabouço estrutural, pode-se verificar que a Bacia do Paraná deixou registros rochosos preservados durante sua evolução temporal, onde pode-se observar cinco seqüências deposicionais como sendo as principais, estas apresentam idades que variam do Ordoviciano ao Cretáceo, correlacionáveis com eventos tectônicos e magmáticos que afetaram a América do Sul durante o Fanerozoico (ANA, 2014).

Segundo Zalán *et al.* (1990), pode-se encontrar na Bacia do Paraná a existência de pequenos *horsts*, *grabens* e domos; para a maioria dos cientistas da área, estas estruturas devem estar relacionadas a corpos ígneos intrusivos em subsuperfície ou

à reativação de zonas de falhas, dentre estes Fúlfaro *et al.* (1980), estes autores já haviam reconhecido estas causas na formação de estruturas locais.

As sequências estritamente continentais (mesozoicas) incluem as deposições triássicas (formações Santa Maria, Guará e Pirambóia) e jurocretáceas (Formação Botucatu).

A partir do Cretáceo Inferior, esta sequência mesozoica foi coberta por derrames de lavas basálticas que marcaram importante período de subsidência e estruturação da bacia. Os depósitos pós-lava do Cretáceo Superior e do Terciário demonstram que a bacia continuou com sua evolução estrutural (ANA, 2014).

Os mapeamentos geológicos (CPRM, 2006) demonstram o alçamento da borda oeste da bacia, conjugado a pequeno basculamento para o interior, refletido no próprio relevo da área. Este relevo se mostra atenuado pela presença dos sedimentos lateríticos e arenitos ferruginosos cenozoicos que cobrem a região da chapada de São Gabriel do Oeste; a origem desta estrutura teria ocorrido pelo soerguimento da borda oeste da bacia e basculamento das camadas paleozoicas e mesozoicas para leste.

No Chapadão de São Gabriel do Oeste, em seu bordo oeste, pode-se verificar a presença de rochas das formações Aquidauana e da Fm. Estrada Nova (paleozóicos) em cotas altimétricas da ordem de 600 metros, e estes não são observados no bordo leste da Chapada (cotas inferiores a 450 metros); vale observar que no bordo oeste não afloram as formações Botucatu e Pirambóia (ANA, 2014).

2.2.2 CONTEXTO LOCAL

Em 2014, foi apresentado pela ANA, um trabalho de grande envergadura realizado na década passada, no qual, por meio de vastos estudos geológicos e geofísicos, propôs-se uma atualização do mapa geológico da região de afloramento do Sistema Aquífero Guarani na área de São Gabriel do Oeste, área na qual está inserida quase que a totalidade da nossa área de estudos, com exceção da parte sul da zona urbana de São Gabriel do Oeste, a qual não foi mapeada nos estudos da ANA.

A ANA confeccionou um mapa geológico atualizado na escala 1:50.000 (grande detalhamento em nível regional) para a área de estudo de São Gabriel do Oeste, que engloba a cobertura detrito-laterítica do Chapadão, área alvo deste trabalho, a qual pode ser vista na Figura 16. Este mapa geológico consiste em uma evolução significativa se comparada aos mapas anteriores, que possuem escalas de pouco detalhe. Vale observar que, neste mapa, já não se apresenta a existência da Fm. Botucatu no lado oeste do Chapadão de São Gabriel.

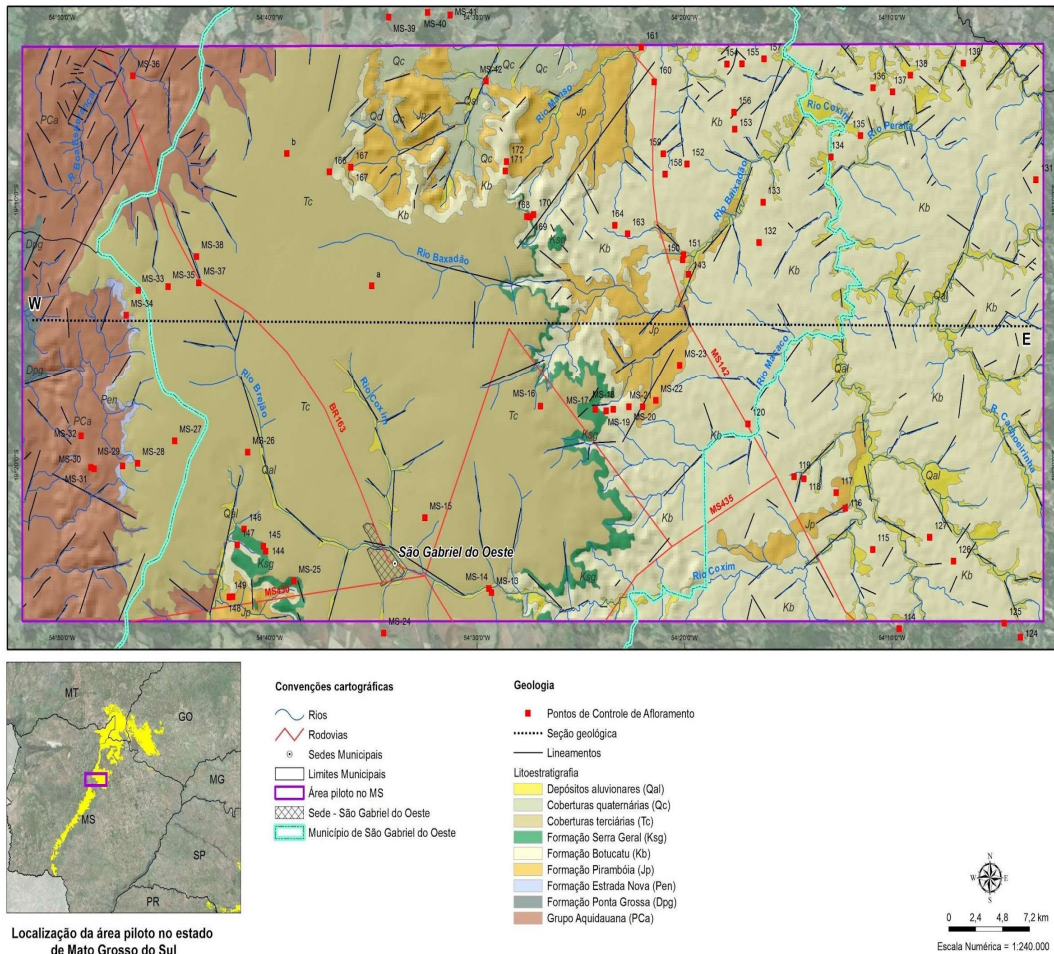


Figura 16. Mapa geológico da área de São Gabriel do Oeste (escala 1:50.000). Fonte ANA (2014).

Com relação à área de estudo, uma possível explicação para a conformação estrutural das unidades litoestratigráficas, pode ser dada ao se considerar a possibilidade de basculamento das camadas associado a falhas normais, de pequeno a médio rejeito, como esquematizado na Figura 17. Nesta visão conceitual, as eventuais falhas de grande porte podem ser apenas inferidas, pois não foram constatadas em campo (ANA, 2014).

Outra interpretação possível para a explicação da configuração estrutural da área é dada pela observação de que a inclinação da estrutura homoclinal na direção do eixo da bacia (Leste) é inferior a 0,4 graus, ou seja, algo em torno de 6,9 m/km, o que seria suficiente para justificar a conformação estrutural das unidades litoestratigráficas

sem a ocorrência de falhas de grande porte (ANA, 2014). Salienta-se que o mergulho dessas camadas é inferior ao mergulho estrutural da bacia, da ordem de 2 graus, como atestado em poços para exploração de hidrocarbonetos (ANA, 2014). Esta configuração estrutural foi adotada para a seção geológica esquemática W-E da área, apresentada na Figura 18.

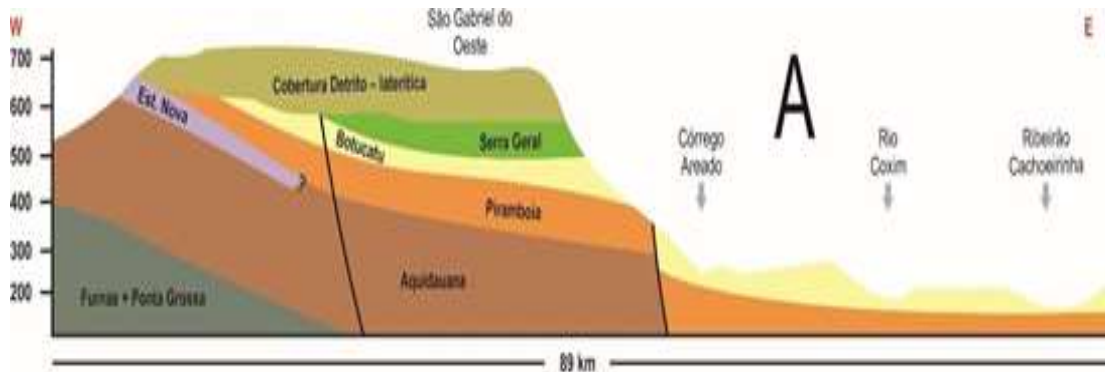


Figura 17. Cortes geológicos esquemáticos W-E, configurando hipótese com ocorrência de falhas para explicar o arcabouço estrutural da área. Fonte: (ANA, 2014)

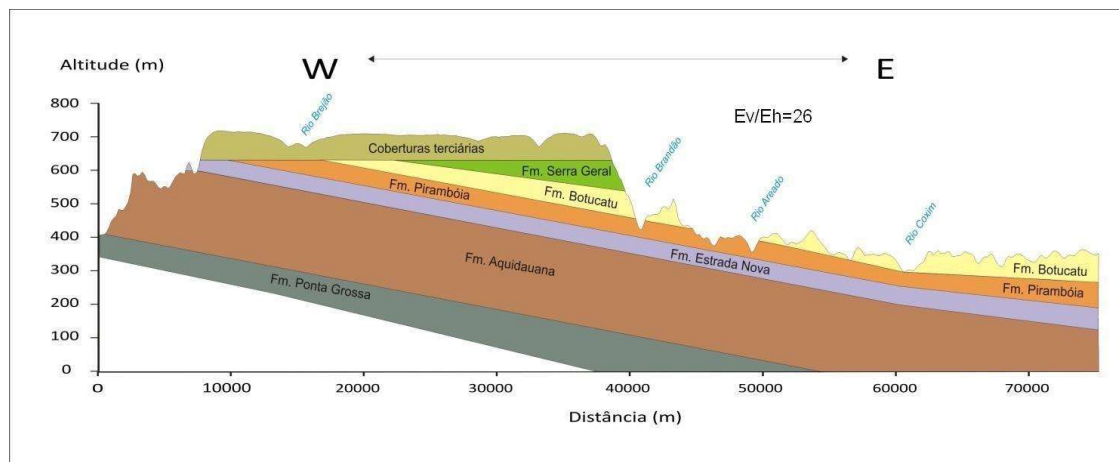


Figura 18. Seção geológica esquemática W-E mostrando uma interpretação da configuração estrutural da área, sem a ocorrência de falhas. Fonte: (ANA, 2014)

Nesta região, as unidades litoestratigráficas de maior importância hidrogeológicas são as formações Botucatu e Pirambóia, pois são estas que compõem o Sistema Aquífero Guarani, estas formações não foram cartografadas separadamente nos mapas geológicos então existentes (Escala 1:1.000.000), conforme mostrado na Figura 19 e na Figura 20. Entretanto, na escala 1:50.000, essas unidades apresentam feições

litológicas características que permitem individualizá-las, ou seja, texturas, cores, estruturas sedimentares e geometrias deposicionais distintas (ANA, 2014).

Com relação aos mapas existentes anteriormente ao trabalho da ANA, podemos citar algumas características de cada um, como segue em ordem cronológica de publicação:

- Mapa Projeto RADAM (Folha Corumbá), 1982, (Escala 1: 1.000.000) – Mapeou a unidade da cobertura detrito-laterítica (TQdl), e as formações: Serra Geral, Botucatu, Aquidauana, Ponta Grossa e Gr. Bauru.
- Mapa Seplan, 1990, (Escala 1: 1.000.000) – Mapeou a unidade da cobertura detrito-laterítica (TQdl), e as formações: Serra Geral, Botucatu, Botucatu/Pirambóia (indivisas), Aquidauana e Ponta Grossa.
- Mapa CPRM – Brasil ao milionésimo, 2001, (Escala 1: 1.000.000) – Mapeou a unidade da cobertura detrito-laterítica, e as formações: Serra Geral, Botucatu/Pirambóia (indivisas), Aquidauana.
- Mapa CPRM, 2006, (Escala 1: 1.000.000) – Mapeou a unidade da cobertura detrito-laterítica (ENdl), e as formações: Serra Geral, Botucatu, Aquidauana, Ponta Grossa, Marília.

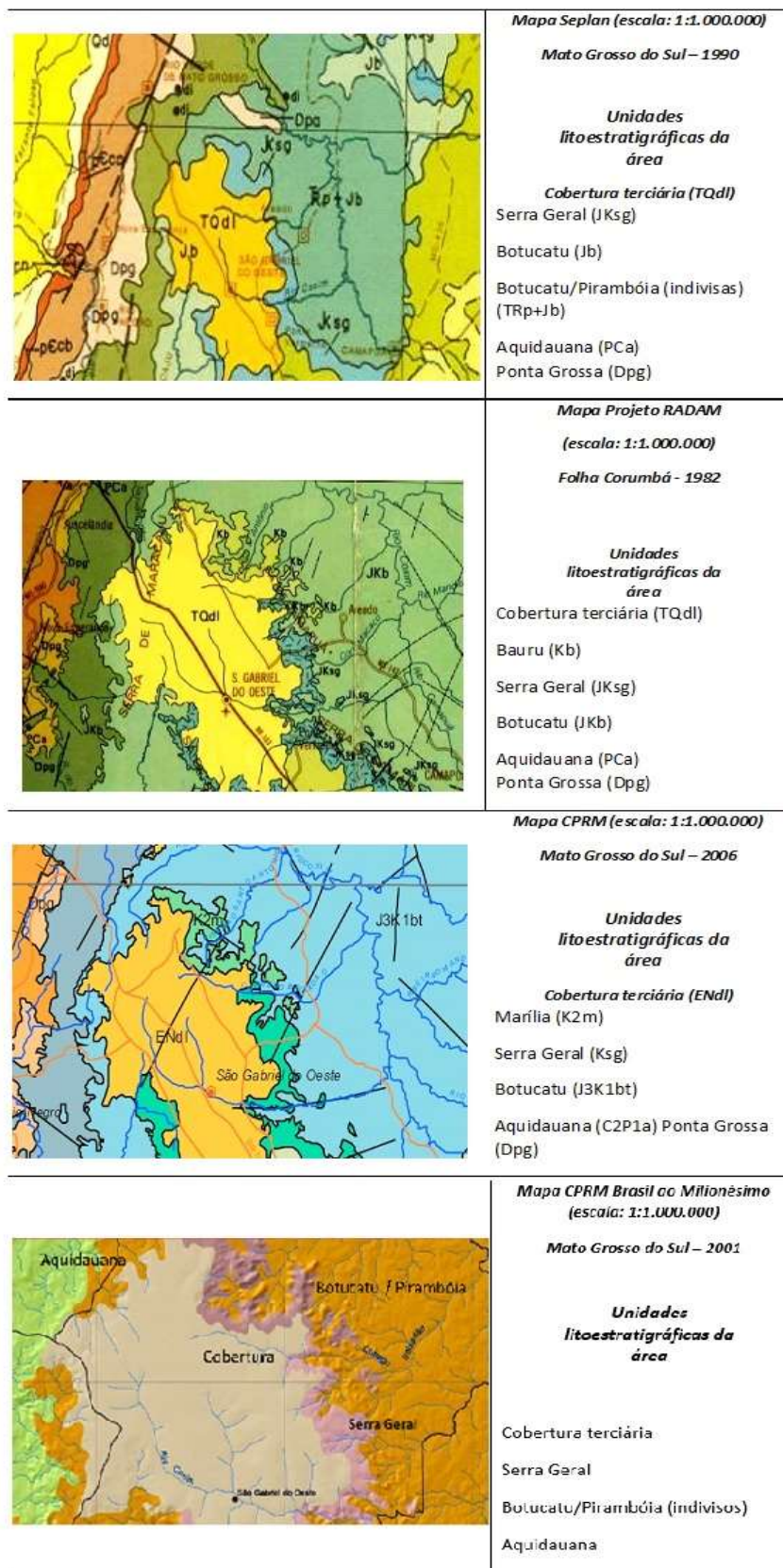


Figura 19. Principais produtos cartográficos geológicos existentes na área de São Gabriel do Oeste e respectivas unidades litoestratigráficas mapeadas. Fonte: ANA (2014).

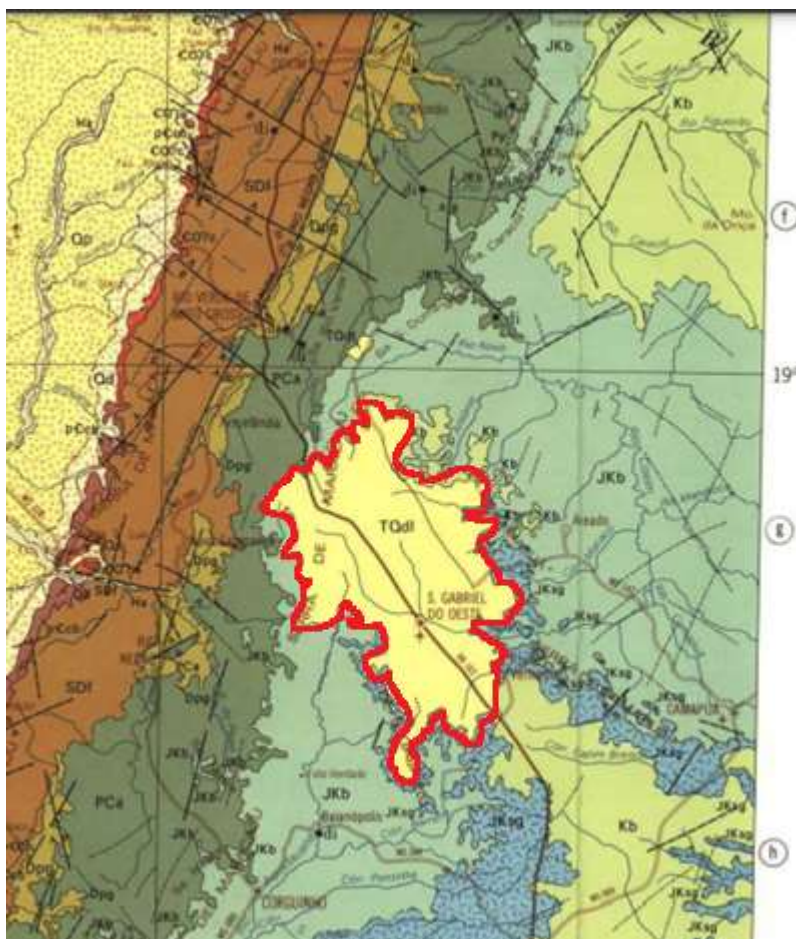


Figura 20. Recorte da Carta Corumbá SE.21, destacando a área alvo. Fonte: (Radam, 1982)

2.2.2.1 Formação Ponta Grossa

Esta formação pertence à Supersequência Paraná (Devoniano), constituída, principalmente, por folhelhos, sendo comum a presença de delgadas camadas de arenitos muito finos intercalados na seção argilosa. Seu afloramento ocorre a oeste do município de São Gabriel do Oeste (Figura 21), em local com altitude da ordem de 400 metros, possui mergulho suave para leste, no interior da Bacia do Paraná (MILANI *et al.*, 2007).



Figura 21. Afloramento da Formação Ponta Grossa próxima à área de estudos. Fonte: (ANA, 2014)

2.2.2.2 Formação Aquidauana

De maneira geral, esta formação é caracterizada por possuir arenitos de granulação variável, lamitos e diamictitos com abundância de material argiloso, cores típicas vermelho tijolo, de origem glacial, fluvial e lacustre (FERREIRA, 2011). Na área de estudo da ANA, assim como ocorre na bacia toda, encontra-se sedimentação ocorrida em condições litorâneas, marinhas rasas e de barras arenosas (Figura 22), bem como sedimentação em ambiente fluviais e litologias de ambientes transicionais, além de depósitos de fluxo gravitacional materializados pela presença de diamictitos arenosos, grossos, que denotam a influência glacial típica da unidade (ANA, 2014).



Figura 22. Formação Aquidauana na área de São Gabriel do Oeste. Fonte: ANA (2014).

2.2.2.3 Formação Estrada Nova

Esta unidade não foi cartografada nos mapas geológicos anteriores. Porém, o mapeamento efetuado por ANA (2014) revelou a presença da Formação Estrada Nova (Permiano Superior) em afloramentos nesta região, com siltitos e arenitos roxos a cinzas, esverdeados, e estruturas dos tipos *hummocky*, *ondulas* e *swaley*, típicas de ambiente marinho, além de forte bioturbação (Figura 23). Esta unidade encontra-se apoiada em discordância sobre a Formação Aquidauana e está restrita a uma faixa de afloramentos na região oeste da área (ANA, 2014).

Foram executados levantamentos geofísicos com GPR em afloramentos em dois pontos distintos, onde ocorre a cobertura detrito-laterítica sobreposta a Fm. Estrada nova, em um ponto com lentes de cangas lateríticas e o outro ponto onde não ocorrem estas cangas.

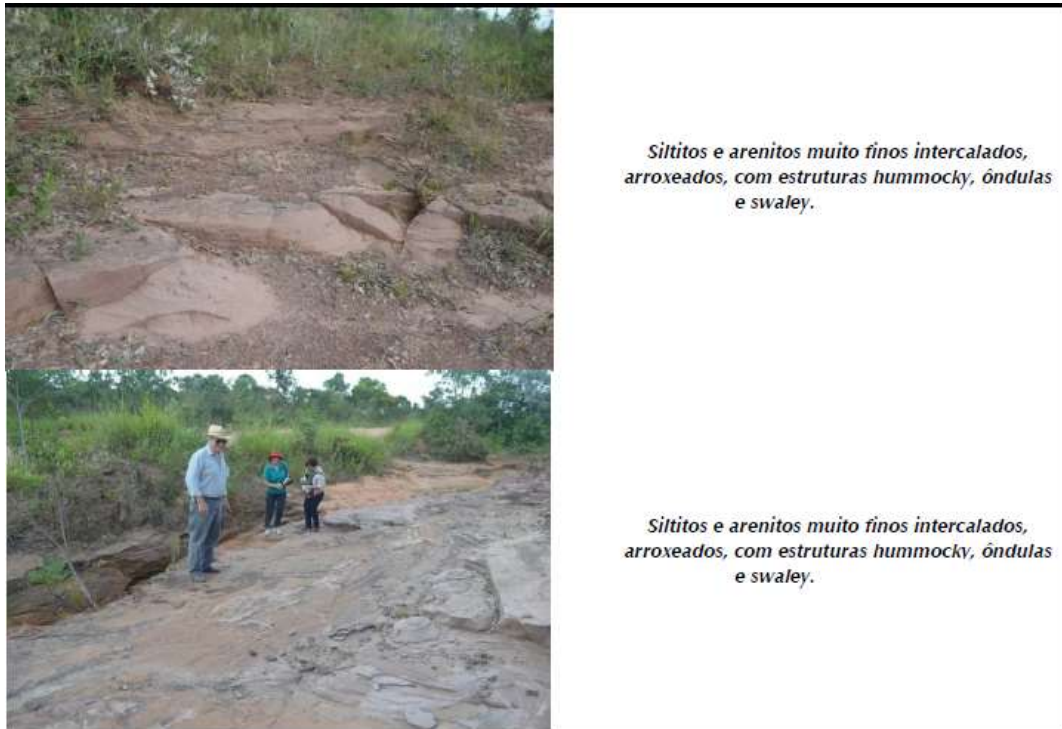


Figura 23. Formação Estrada Nova na área de São Gabriel do Oeste. Fonte: ANA (2014).

2.2.2.4 Formação Pirambóia

Esta formação é constituída por arenitos finos a médios, bem selecionados, possuindo fração argilosa maior na parte inferior que na superior da formação. Predomina a estratificação plano-paralela, destacada pela alternância de lâminas mais ou menos ricas em argila e silte, ou ainda mostra estratificação cruzada de dimensões média a grande do tipo tangencial. Não são raras as marcas de onda ou corrente (ANA, 2014).

Quanto à deposição, ocorreu em rios de canais rasos e planícies arenosas por interação de processos fluviais, além de processos eólicos com formação de dunas, lençóis de areia e interdunas; localmente, apresenta matriz caulínica (Figura 24) (CPRM, 2006). As relações estratigráficas com as unidades adjacentes sugerem, no topo, discordância com a Formação Botucatu, evidenciada pela presença de paleossolos

(silcretes e bioturbações) e de notável mudança textural, quando comparada com a unidade sobreposta. Observa-se um contato discordante com as unidades mais antigas, como Estrada Nova e Aquidauana (ANA, 2014).

O contato basal desta unidade não é visível na região, fato que impossibilita uma estimativa consistente da espessura. Todavia, com base em observações regionais, foi feita uma estimativa mínima de 80 metros para a Formação Pirambóia (ANA, 2014).



Estratificações cruzadas acanaladas em arenitos róseos e esbranquiçados da Formação Pirambóia.



Arenitos avermelhados e esbranquiçados com estratificações horizontais e bioturbação.

Figura 24. Formação Pirambóia na área de São Gabriel do Oeste. Fonte: ANA (2014).

2.2.2.5 Formação Botucatu

Os sedimentos da Formação Botucatu representam depósitos eólicos originados pela migração e preservação de grandes dunas, depositados em clima árido. Esta unidade é constituída principalmente por arenitos quartzosos de granulação fina a média, de coloração vermelha, rósea ou amarelo clara, bem selecionados, maduros (arredondados e com boa esfericidade), apenas localmente feldspáticos, muitas vezes com marcante bimodalidade de grãos (ANA, 2014) (Figura 25).

A estrutura sedimentar característica é a estratificação cruzada tangencial de grande porte e, subordinadamente, cruzadas de médio porte, podendo ocorrer ainda estratificações horizontais e sub-horizontais (MILANI *et al.*, 2007).



Arenitos finos e médios, bem selecionados e com estratificações cruzadas de grande porte da Fm. Botucatu.



Cobertura areno-conglomerática apoiada sobre os arenitos com estratificações cruzadas de grande porte da Fm. Botucatu. Paleocorrentes para W.



Grandes sets de arenitos com estratificações cruzadas de grande porte e marcada bimodalidade de grãos.



Camadas de arenitos eólicos da Formação Botucatu.

Figura 25. Formação Botucatu na área de São Gabriel do Oeste. Fonte: ANA (2014)

Nos levantamentos de campo realizados pela ANA, não foi possível observar os contatos basal e de topo da unidade em uma mesma faixa contínua de afloramentos, impedindo uma estimativa consistente da espessura. Entretanto, com base em observações regionais, foi feita uma estimativa mínima de 50 metros para a Formação Botucatu na região, pois mesmo as SEV's não conseguem distingui-la da Fm. Pirambóia. As relações estratigráficas desta unidade com as unidades contíguas mostram, no topo, contemporaneidade com os derrames basálticos, corroborada pelos intertrapes da Formação Serra Geral, e possíveis relações de discordância, na base, com a Formação Pirambóia, (ANA, 2014).

2.2.2.6 Formação Serra Geral

Esta Formação compreende um conjunto de derrames de rochas basálticas do Cretáceo Inferior Figura 26. Os derrames ocorrem em uma faixa restrita a bordo leste do chapadão do São Gabriel do Oeste. Não tendo sido identificados nas regiões noroeste e oeste do mesmo.



Pedreira de basaltos de São Gabriel do Oeste.



Pedreira de basaltos onde também aparece a cobertura terciária em contato.

Figura 26. Formação Serra Geral na de São Gabriel do Oeste. Fonte: ANA (2014).

Os basaltos apresentam cores cinza esverdeadas a pretas, textura afanítica a microporfirítica e estruturas maciça a fraturada. No topo dos derrames é comum a

ocorrência de vesículas e amígdalas preenchidas por sílica, calcita e zeólitas (CPRM, 2006).

Segundo LASTORIA (2002), esta formação está assentada sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu e capeada pelos arenitos continentais flúvio-lacustres do Grupo Bauru, com contato superior discordante e erosivo e contato inferior concordante e interdigitado, devido à contemporaneidade das duas formações.

Na região nordeste da área de estudos, ocorre a presença de arenitos silicificados (intertrapes), intercalando-se com os derrames de basaltos, na região, os basaltos apresentam espessuras médias de 15 a 20 metros. Todavia, espessuras variáveis ocorrem e alcançam até 50 metros (ANA, 2014).

A verificação da existência desta formação na área é um dos objetivos principais deste trabalho, pois existe uma grande variabilidade de informações sobre como se dá a sua ocorrência neste local, se de forma contínua (Fm. Serra Geral) ou se seriam diques e/ou sills de diabásio isoladas.

2.2.2.7 Cobertura detrítico-laterítica

A cobertura detrítico-lateríticas marca uma superfície de aplainamento e laterização, supostamente terciária/quadernária, de grande parte da região centro-oeste brasileira. As principais áreas de ocorrência estão localizadas nos municípios de Sonora e São Gabriel do Oeste, totalizando aproximadamente 1.700 km² (CPRM, 2006), sendo 1.330 km² o que representam 48% da extensão do município de São Gabriel do Oeste, o que justifica a sua importância para um bom entendimento da geologia e hidrogeologia da área.

Temos as seguintes distinções: para a cobertura detrítico-lateríticas, onde é distinta pelos sedimentos areno-siltosos e conglomeráticos, cones de dejeção coalescentes, aluviões e eluviões (TQd) (CPRM, 2006). E as coberturas do Paleógeno diferenciam-se por meio das argilas de cores variadas, concreções limoníticas, lateritos ferruginosos (Td11). As de cobertura do Néogeno dão origem aos solos argilo-arenosos com concreções ferruginosas e blocos de laterita (Td12). Próximos às drenagens, encontram-se os aluviões holocênicos formados por areia fina a média (Ha) (ZEE, 2003). As Figuras 27 e 28 mostram as ocorrências desta cobertura na área de São Gabriel do Oeste.

Segundo estudos realizados pela Agência Nacional de águas e Saneamento podemos caracterizá-la da seguinte maneira:

“A cobertura detrítico-laterítica terciária é constituída por dois litotipos principais. O primeiro litotipo é constituído por uma cobertura detrítico-laterítica formada por areias avermelhadas, brancas, amarelas e ocres, intercaladas tanto com níveis conglomeráticos quanto com outros corpos de arenitos laterizados e ferruginosos, além de cascalheiras e argilas. A componente arenosa é predominante, principalmente quando há contribuição dos arenitos paleozoicos e mesozoicos circundantes, mas também é possível a presença de argilas derivadas do intemperismo dos basaltos da Formação Serra Geral. Localmente, esses sedimentos apresentam cimentação ferruginosa.

O segundo litotipo é constituído de cobertura detrítico-laterítica autóctone com carapaças ferruginosas e, em geral, com matriz composta por hematita, goethita e caulinita. Em zonas porosas e friáveis notam-se indícios de circulação vertical de água e remobilização de ferro.

Esta cobertura recobre sedimentos das formações Aquidauana, Estrada Nova, Serra Geral e Botucatu, e apresenta espessuras médias da ordem de 20 a 30 metros, mas pode alcançar até mais de 50 metros em alguns locais da área.

” ANA (2014)



Detalhe da cobertura detrítica sobre a Formação Aquidauna.



Couraça laterítica apoiada sobre arenitos e siltitos da cobertura detrítica.



Cobertura arenosa fina a média, quartzo – feldspática, inconsolidadas, desenvolvida sobre os arenitos da Fm. Botucatu.



Pedreira na área do chapadão de São Gabriel do Oeste, onde aflora a cobertura laterítica sobre basaltos.

Figura 27. Cobertura detrítico-laterítica terciária da área de São Gabriel do Oeste. Fonte: ANA (2014).



Figura 28. Cobertura detrítico-laterítica terciária com cangas lateríticas da área de São Gabriel do Oeste.

2.2.2.8 Depósitos fluviais atuais

São sedimentos coluviais que preenchem as calhas dos rios e suas planícies de inundação; caracterizam-se por serem inconsolidados (cascalhos, areias grossas a finas). Na região, estão associados às encostas da área do chapadão (areias com presença de seixos de arenitos e de basaltos). Associados ao Rio Coxim, estão os depósitos fluviais atuais mais importantes.

A coluna estratigráfica (Figura 29) da região foi elaborada com base no Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG) e no trabalho de Soares *et al.* (2008), e também está contida e compilada no relatório da ANA (ANA, 2014).

<i>IDADES</i>	<i>UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS</i>		<i>UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS</i>
Tércio-Quartenário	GO, MT, MS, MG, SP, PR E SC	RS	Aquíferos e Depósitos Tércio-Quartenários e Atuais
	Formação Cachoeirinha Coberturas Diversas	Coberturas Diversas	
Cretáceo	Grupo Bauru		Sistema Aquífero Bauru-Caiuá - SABC
	Formação Serra Geral		Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)
Jurássico	Formação Botucatu		Sistema Aquífero Guarani (SAG)
Triássico	Formação Pirambóia	Formação Guará Formação Caturrita Formação Santa Maria	

Permiano Superior	Formação Corumbataí*	Formação Sanga do Cabral	Aquífero Sanga do Cabral (ASC)
	Formação Teresina*	Formação Estrada Nova* Formação Rio do Rasto*	Aquífero Passa Dois (APD)
	Grupo Tubarão		Sistema Aquífero Tubarão (SAT)
Carbonífero Superior	Grupo Aquidauana		Sistema Aquífero Aquidauana (SAA)
Devoniano	Formação Ponta Grossa		Aquitarde Ponta Grossa (APG)
* As Formações Rio do Rasto, Corumbataí, Estrada Nova e Teresina estão reunidas no Grupo Passa Dois, que será designado como uma unidade, a princípio, indivisível no Mapa Hidrogeológico produzido no âmbito deste Estudo.			

Figura 29. Quadro estratigráfico adotado para o SAG. Fonte: ANA (2014)

2.2.3 HIDROGEOLOGIA

Atualmente, temos o mais atual e detalhado mapeamento da área de estudos: o mapa hidrogeológico na escala 1:50.000 confeccionado pela ANA, que

engloba quase que totalmente a área de São Gabriel do Oeste, composto por diversos temas.

Com base no mapa geológico e no mapa hidrogeológico atualizados, com o novo mapeamento das unidades litoestratigráficas, obteve-se a superfície potenciométrica a partir do nível de água determinado pelas Sondagens Elétricas Verticais (SEVs). Esse estudo foi realizado durante o levantamento geofísico contratado pela ANA para os estudos na região.

Vale observar que este mapa potenciométrico utilizou os dados de SEV's profundas. Estas detectaram o Nível d'água (NA) do Aquífero Guarani na Macrorregião, incluindo áreas fora do Chapadão de São Gabriel do Oeste, o que é de grande valia para um entendimento hidrogeológico macro da região. Porém, é preciso considerar que o enfoque principal está voltado ao principal aquífero regional (Guarani) e não ao NA da camada cenozóica, ou seja, o aquífero livre da camada foco deste trabalho.

Os estudos hidrogeológicos na área mostram que o SAG é composto por duas unidades hidroestratigráficas diferentes, sendo estas os Aquíferos Botucatu e Pirambóia. Segundo vasta bibliografia realizada no Aquífero Guarani a nível interestadual (DAEE, 2005; Paula e Silva, 1988; Paula e Silva *et al.*, 2008), tem-se que essas unidades, possuem características hidrodinâmicas distintas que refletem os diferentes ambientes deposicionais de seus sedimentos e a sua história evolutiva (ANA, 2014).

Entretanto, estes estudos ainda não permitem tratar estas duas unidades separadamente. Assim, elas são tratadas como uma só unidade (meio hidráulico único), o qual é denominado como Sistema Aquífero Guarani.

Segundo a ANA, a potencimetria da zona livre do aquífero mostra fluxos subterrâneos locais e fluxos regionais, com a seguinte descrição em seu relatório.

“Estes fluxos locais são governados pelas microbacias associadas que descarregam a água subterrânea para a rede de drenagem superficial. Os fluxos regionais são governados pela bacia do Rio Coxim e apresentam duas direções principais: uma no sentido de sudoeste para nordeste, com zona de descarga associada aos afluentes da margem esquerda, e outra com sentido de sudeste para noroeste, com zona de descarga associada aos afluentes da margem direita do Rio Coxim (ANA, 2014)”

A seção hidrogeológica esquemática da Figura 30 mostra as unidades litoestratigráficas na área de São Gabriel do Oeste e o comportamento da superfície potenciométrica na área.

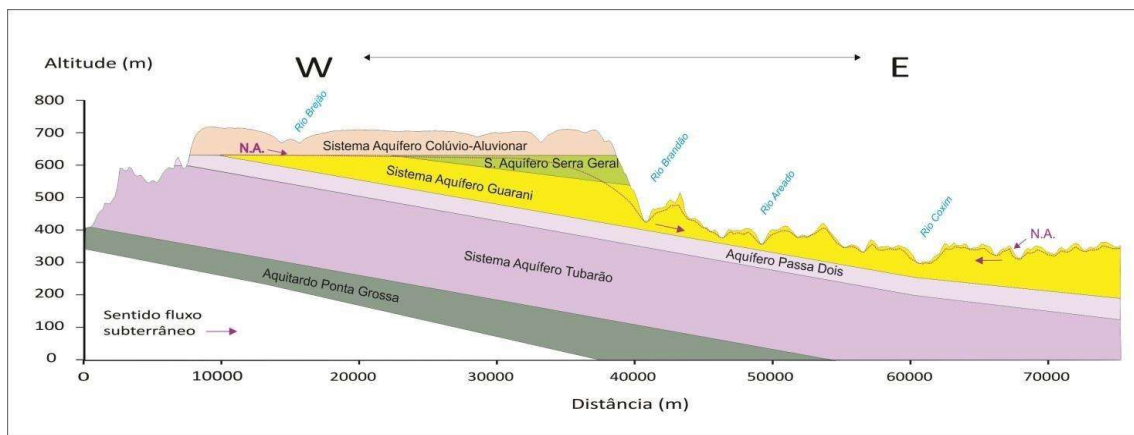


Figura 30. Seção hidrogeológica esquemática W-E com base na configuração estrutural da área de São Gabriel do Oeste. Fonte: ANA (2014).

A potenciometria do SAG na área São Gabriel do Oeste define uma grande zona de recarga direta por chuvas e descarga para a rede fluvial, na porção da área onde os sedimentos das formações Botucatu e Pirambóia (formando o Sistema Aquífero Guarani) estão expostos à superfície, tendo seu escoamento subterrâneo controlado pelas microbacias. Ali, há zonas de recarga direta controladas pelas chuvas (situadas acima do nível de base dos rios), e as zonas de descarga do SAG (situadas nas imediações, e ao longo dos cursos de água superficiais) (ANA, 2014).

Segundo esse estudo, nesta região de afloramento, o SAG é classificado como sendo um aquífero livre, no qual o limite superior de saturação está sob pressão atmosférica e os sedimentos permeáveis componentes do aquífero estão sobre camada impermeável, representada pela Formação Estrada Nova ou rochas intrusivas de caráter básico. O fluxo subterrâneo regional tende as cotas topográficas mais baixas da área, junto ao talvegue do Rio Coxim, sendo que este é proveniente de dois setores distintos: o oeste associado à rede de drenagem dos afluentes da margem esquerda, e o leste associado à rede de drenagem dos afluentes da margem direita do Rio Coxim (ANA, 2014). Este rio é o principal canal de escoamento das águas do Aquífero Guarani para o Rio Paraguai, passando antes pelo Pantanal Sul Mato-Grossense. Na chapada, a geometria do aquífero condiciona uma linha de “não fluxo” correspondente aos limites presumidos do SAG em subsuperfície (Figura 31). Neste local a barreira impermeável que impede o fluxo à oeste se deve à Formação Estrada Nova. Vale observar que este mapa não cobre toda a área do Chapadão de São Gabriel, sendo complementada como um produto desta pesquisa.

Segundo os estudos, referente aos fluxos temos que:

“Há que se mencionar ainda a existência de um fluxo regional no sentido leste, a partir da chapada de São Gabriel do Oeste, associado às águas mais profundas do SAG, que não interage com os cursos de água superficiais e se dirige à calha do Rio Paraná por sob a cobertura de rochas basálticas da Formação Serra Geral e arenosas do Grupo Bauru, que vai alimentar a zona de confinamento do aquífero.

Os estudos atuais corroboram as conclusões apresentadas pelo Projeto PSAG (OEAb, 2009), que demonstraram a existência de um divisor de águas do SAG sob o capeamento basáltico arenítico do Grupo Bauru e da Formação Serra Geral, na porção oriental da área piloto de São Gabriel do Oeste. Em linhas gerais, o PSAG concluiu que toda a borda oeste do SAG funciona como um sistema

praticamente isolado, com áreas de recarga e descarga associadas às faixas de afloramentos que condicionam a existência de um divisor de águas subterrâneas.

Nesse domínio está localizada outra importante zona de recarga do SAG, associada a terrenos elevados localizados entre os Estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, que também apresenta a característica de fluxo radial. Nesse caso, o fluxo se dirige à zona de afloramentos (Bacia do Rio Taquari-Coxim) e à zona central da Bacia Sedimentar do Paraná. Associado a essa zona de descarga local do SAG, há um divisor de águas subterrâneas paralelo ao divisor de águas superficiais que existe entre as Bacias dos Rios Paraná e Paraguai (ANA, 2014) ”.

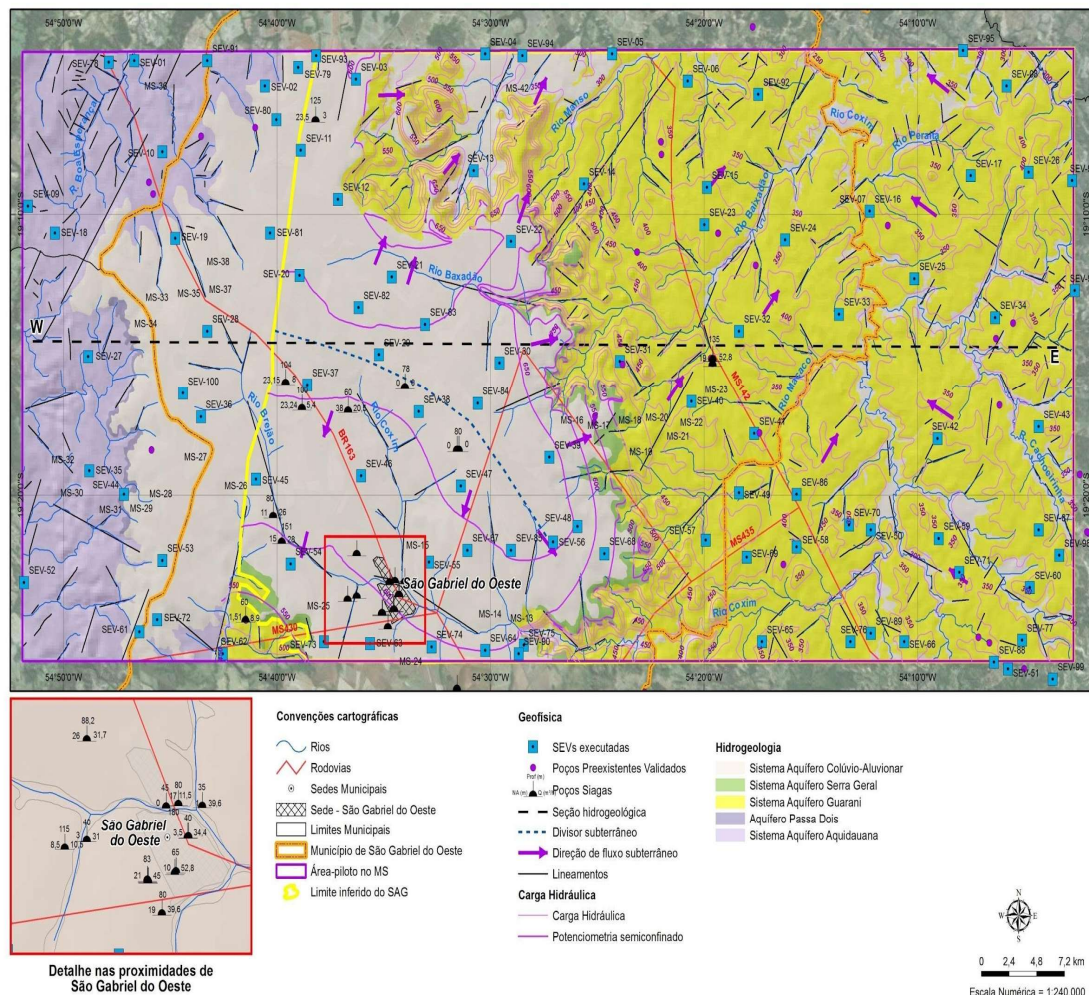


Figura 31. Mapa hidrogeológico da área de São Gabriel do Oeste. Fonte: ANA (2014)

Nas áreas onde o SAG está abaixo da cobertura detrítico-laterítica ou da formação Serra Geral (basaltos), ele é considerado um aquífero confinado ou mesmo um clássico confinado drenante (ANA, 2014). Este confinamento se deve à existência de uma camada impermeável, podendo ser a Formação Corumbataí ou ainda corpos de diabásio (intrusivos), e de uma capa superior com baixa permeabilidade, não totalmente confinante, representada pela cobertura detrítico-laterítica, conforme pode ser visto na Figura 30.

Já a cobertura detrítico-laterítica é caracterizada como sendo um aquífero livre, o qual possui porosidade intergranular, compreendido pelos sedimentos da cobertura detrítico-laterítica acima do Aquífero Guarani (LASTORIA et al., 2011). Logo estas coberturas fazem parte do Sistema Aquífero Guarani (PERH, 2010), estas coberturas, no Estado do Mato Grosso do Sul, se apresentam de forma descontínua, geralmente, encontram-se nos relevos de alta altitude (Chapadões) e possuem características de topo plano (MME, 1982).

Embora a cobertura detrítico-laterítica seja muito explorada para o abastecimento de água no município de São Gabriel do Oeste, cidade a qual é 100% abastecida de água subterrânea, mesmo assim não existem estudos hidrogeológicos deste aquífero.

Tanto que esta camada ainda não está caracterizada como uma unidade hidrogeológica, inclusive para órgão estadual de gestão de recursos hídricos (IMASUL), esta unidade cenozóica é considerado como parte do Sistema Aquífero Guarani para fins de liberação de outorgas e licenças, como indicado no seu sistema SIRIEMA, o qual segue o PERH 2010, o qual considera toda esta área como sendo SAG.

Porém com esta pesquisa busca-se angariar mais informações geológicas e hidrogeológicas (inclusive um mapa potenciométrico desta camada) a fim de ajudar na caracterização deste aquífero livre existente na camada cenozoica, propondo assim que este seja caracterizado como um sistema hidráulico isolado do SAG, caracterizando-se como uma unidade hidrogeológica distinta ao SAG.

Outros trabalhos já foram realizados anteriormente na área de estudos, como os citados a seguir, entre outros: (CENTURIÃO; SILVA; GABAS, 2020; FERRARO; GABAS; LASTORIA, 2015; MIRANDA *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2014), principalmente pelos pesquisadores da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, no seu Laboratório de Águas Subterrâneas e Áreas Contaminadas – LASAC/UFMS, descrevem as características que colocam este aquífero livre como uma unidade hidráulica isolada, suscitando assim a possibilidade deste ser um novo aquífero.

Quanto à hidroquímica da área, as águas do SAG são predominantemente caracterizadas como ácidas. Verifica-se que as águas subterrâneas do SAG aflorante são bicarbonatadas sódicas, tanto a leste quanto a oeste do Chapadão de São Gabriel do Oeste, diferentemente das águas bicarbonatadas cálcicas magnesianas do aquífero livre da camada cenozóica no Chapadão (ANA, 2014), e em geral, as águas deste se apresentam com baixíssimos valores de sais dissolvidos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi estruturado em cinco partes. Inicia-se com a Introdução Geral e os Objetivos. Após, há os cinco capítulos que compõem o corpo principal do trabalho.

O primeiro capítulo contém uma revisão bibliográfica dos principais métodos geofísicos que foram utilizados neste estudo e um descritivo sobre a cobertura detrito-laterítica; o segundo capítulo faz uma descrição geral da área de estudos; o terceiro capítulo contém os materiais e métodos utilizados na pesquisa; o quarto capítulo apresenta os resultados obtidos; e o quinto capítulo mostra as conclusões sobre tais resultados.

3.1 LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS E GEOFÍSICOS DE CAMPO

Para orientar os trabalhos geofísicos desta pesquisa, foram utilizados dados geofísicos brutos cedidos pela ANA. Porém, estes foram processados e interpretados com enfoque nos objetivos propostos nessa 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.

As interpretações dos dados geofísicos foram realizadas levando em consideração os conhecimentos geológicos pré-existentes e utilizando as informações provenientes dos poços existentes na área.

Para a interpretação destes dados se considerou os arenitos das formações Botucatu e Fm. Pirambóia como sendo uma só litologia, pois são 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.

3.1.1 METODOLOGIA GEOFÍSICA POR ELETORRESISTIVIDADE

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 trabalho 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.

3.1.1.1 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, para fornecer os contrastes de resistividade. Este programa utiliza uma abordagem de regressão estilo Inman de ajuste de curva de mínimos quadrados não lineares e, assim, conseguimos obter resultados estáveis para as inversões.

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 possua o menor erro (ANA, 2014).

Nos levantamentos de campo para coleta de dados das SEV's, a ANA 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, quarenta e três (43) estão sobre a área de estudos, cuja localização encontra-se na Tabela 1. Na Figura 32, podemos observar a distribuição das SEV's executadas na área de estudo.

Tabela 1. Coordenadas e altitude das SEV's executadas na área de estudo por ANA (2014). Fonte: ANA (2014) modificada pelo autor.

SEV's	Longitude	Latitude	Altitude (m)
SEV-02	-54,676	-19,091	674
SEV-03	-54,605	-19,087	659
SEV-11	-54,648	-19,129	693
SEV-12	-54,619	-19,158	704
SEV-19	-54,755	-19,172	654
SEV-20	-54,649	-19,203	698
SEV-21	-54,577	-19,204	686
SEV-22	-54,484	-19,183	717
SEV-28	-54,721	-19,236	713
SEV-29	-54,587	-19,25	702
SEV-30	-54,493	-19,256	717
SEV-36	-54,726	-19,287	702
SEV-37	-54,643	-19,268	706
SEV-38	-54,556	-19,284	695
SEV-39	-54,454	-19,311	726
SEV-44	-54,786	-19,333	626
SEV-45	-54,683	-19,324	665
SEV-46	-54,586	-19,335	661
SEV-47	-54,523	-19,328	716
SEV-48	-54,432	-19,352	674
SEV-53	-54,756	-19,372	663
SEV-54	-54,656	-19,374	643
SEV-55	-54,548	-19,373	637
SEV-56	-54,451	-19,361	691
SEV-61	-54,774	-19,414	634
SEV-63	-54,594	-19,421	666
SEV-64	-54,503	-19,424	637
SEV-67	-54,518	-19,366	708

SEV-68	-54,411	-19,368	665
SEV-72	-54,762	-19,394	665
SEV-73	-54,63	-19,42	655
SEV-74	-54,546	-19,423	625
SEV-75	-54,474	-19,422	622
SEV-79	-54,65	-19,079	686
SEV-80	-54,667	-19,111	694
SEV-81	-54,672	-19,178	674
SEV-82	-54,603	-19,222	695
SEV-83	-54,551	-19,232	687
SEV-84	-54,51	-19,279	734
SEV-85	-54,484	-19,366	688
SEV-90	-54,478	-19,427	628
SEV-93	-54,636	-19,073	653
SEV-100	-54,74	-19,273	714

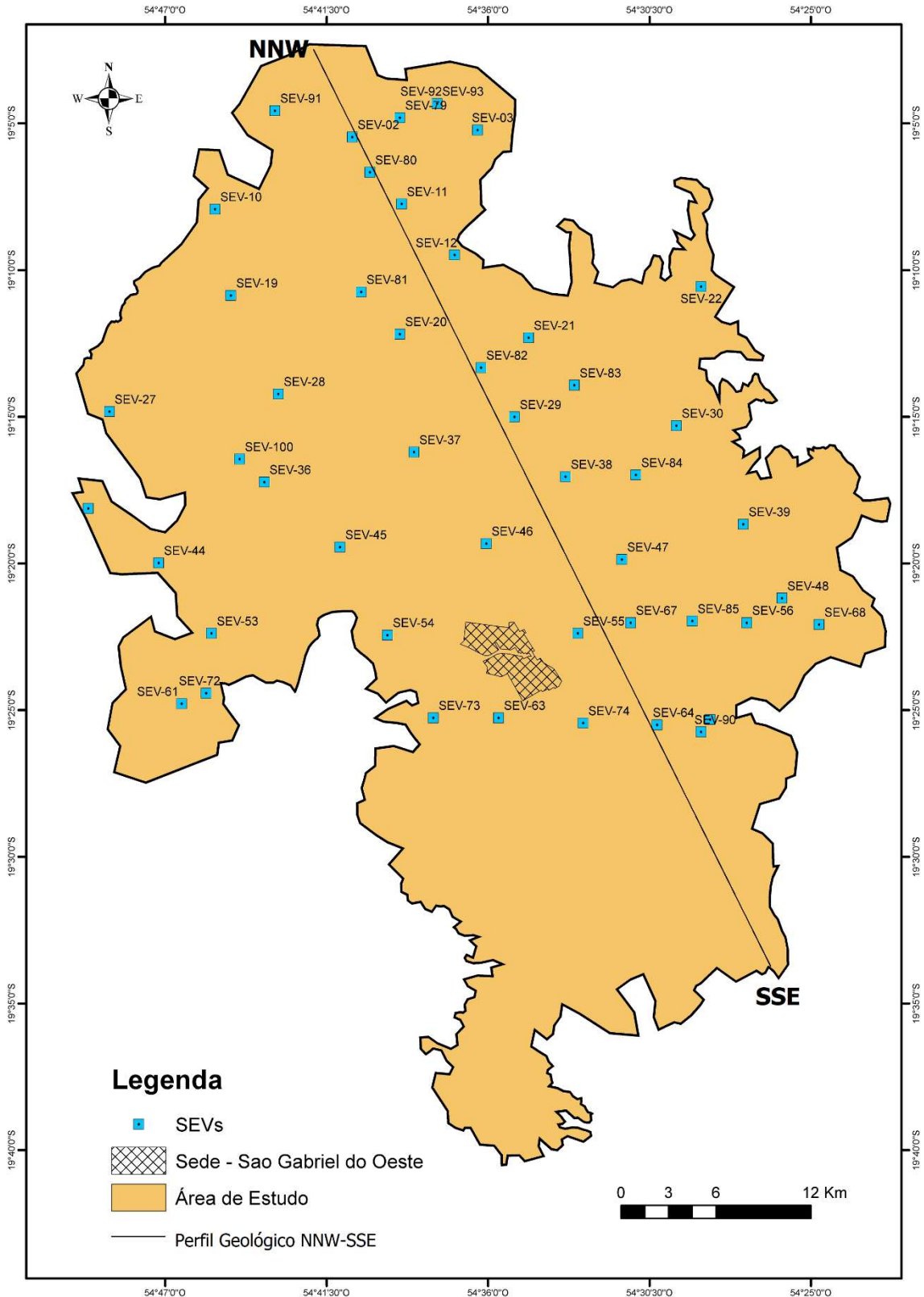


Figura 32. Mapa com posição das SEV's realizadas pela ANA na área de estudo.

3.1.1.2 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 esta variação na direção horizontal ao longo da seção a ser executada.

Neste trabalho, foi utilizado um espaçamento entre eletrodos de 20 metros, o que permitiu a construção de seções de 1.680 metros cada. Esta abertura, utilizando os cabos de 840 metros de abertura única, pode 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, mas 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 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, vinte e oito (28) destes estão sobre a nossa área de estudos (Tabela 2).

Tabela 2. Coordenadas e altitude dos caminhamentos elétricos executados na área de estudo por ANA (2014).

Imageamentos Elétricos 2D	Longitude	Latitude	Altitude (m)
IE-03 início	-54,646	-19,09	680,187
IE-03 fim	-54,652	-19,077	669,501
IE-11 início	-54,702	-19,139	698,653
IE-11 fim	-54,698	-19,153	696,457
IE-12 início	-54,613	-19,164	695,416
IE-12 fim	-54,625	-19,154	704,098
IE-13 início	-54,574	-19,198	675,482
IE-13 fim	-54,57	-19,184	682,779
IE-14 início	-54,485	-19,184	707,264
IE-14 fim	-54,479	-19,198	668,116
IE-19 início	-54,758	-19,166	608,219
IE-19 fim	-54,753	-19,18	643,05
IE-20 início	-54,713	-19,194	699,495
IE-20 fim	-54,714	-19,179	686,104
IE-21 início	-54,622	-19,194	675,664
IE-21 fim	-54,616	-19,182	694
IE-22 início	-54,512	-19,182	702,148
IE-22 fim	-54,525	-19,191	687,104
IE-27 início	-54,817	-19,224	647,075
IE-27 fim	-54,809	-19,211	680,422
IE-28 início	-54,763	-19,267	694,395
IE-28 fim	-54,75	-19,245	713,501
IE-29 início	-54,633	-19,247	708,185
IE-29 fim	-54,62	-19,238	705,153

IE-30 início	-54,54	-19,245	710,843
IE-30 fim	-54,527	-19,264	719,359
IE-31 início	-54,491	-19,246	707,387
IE-31 fim	-54,495	-19,261	712,173
IE-36 início	-54,784	-19,286	665,466
IE-36 fim	-54,772	-19,276	680,727
IE-37 início	-54,69	-19,282	643,176
IE-37 fim	-54,703	-19,291	684,391
IE-38 início	-54,599	-19,28	635,838
IE-38 fim	-54,613	-19,285	669,358
IE-39 início	-54,503	-19,308	735,692
IE-39 fim	-54,503	-19,293	731,463
IE-40 início	-54,416	-19,287	657,523
IE-40 fim	-54,404	-19,277	630,361
IE-45 início	-54,736	-19,328	697,539
IE-45 fim	-54,751	-19,333	698,559
IE-46 início	-54,656	-19,356	625,512
IE-46 fim	-54,64	-19,36	645,186
IE-47 início	-54,551	-19,349	663,579
IE-47 fim	-54,535	-19,346	684,977
IE-48 início	-54,45	-19,344	704,092
IE-48 fim	-54,465	-19,339	696,67
IE-51 início	-54,756	-19,388	683,225
IE-51 fim	-54,767	-19,399	664,632
IE-53 início	-54,76	-19,362	662,37
IE-53 fim	-54,755	-19,376	663,78
IE-55 início	-54,623	-19,406	637,268
IE-55 fim	-54,619	-19,392	628,972
IE-56 início	-54,516	-19,381	673,241
IE-56 fim	-54,519	-19,367	692,001
IE-57 início	-54,404	-19,376	650,777
IE-57 fim	-54,415	-19,365	684,474

Fonte: ANA (2014) modificada pelo autor

Na Figura 33, podemos ver em mapa a posição dos imageamentos elétricos executados sobre a área de estudo.

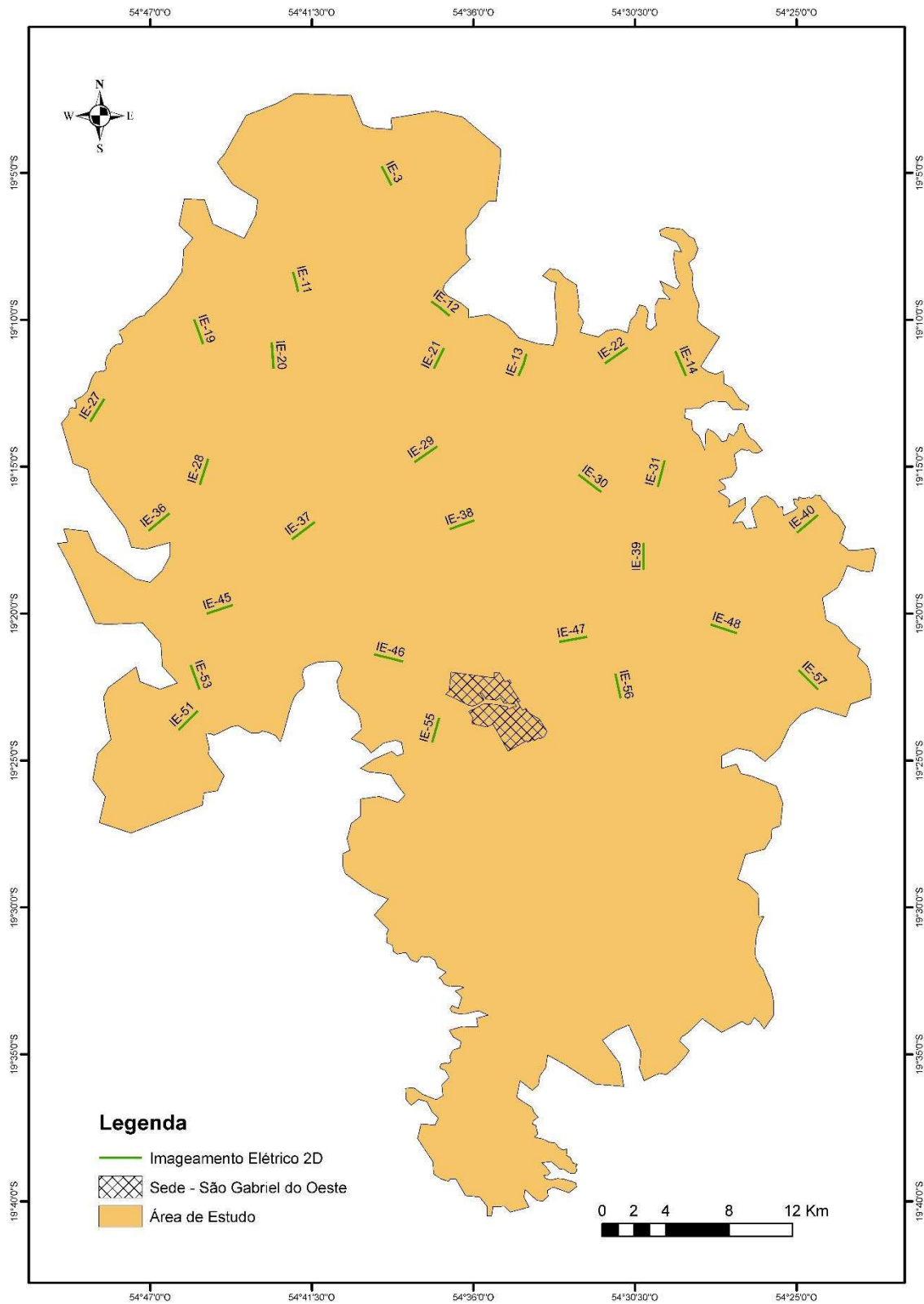


Figura 33. Mapa com posição dos Imageamentos elétricos realizados na área. Fonte: ANA (2014).

3.1.2 *Ground Penetrating Radar (GPR)*

Neste trabalho foi utilizado o equipamento de GPR modelo RAMAC da fabricante Sueca MALA inc., equipado com antenas não blindadas de 50 MHz (Figura 34), antenas que oferecem a melhor relação profundidade de penetração e resolução exigidos para esta pesquisa.



Figura 34. Foto do equipamento Ramac sendo utilizado neste trabalho (antena RTA 50).

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.

Com relação ao contato com o Grupo Bauru, o ponto escolhido se deu com base nos mapas geológicos e em informações de campo (Figura 35). Sendo que, este contato não está bem definido nos mapas geológicos existentes, mapas sem uma escala adequada e de pouca precisão.



Figura 35. Foto do local do levantamento com GPR no contato com o Grupo Bauru, que está localizada ao fundo à direita (com a coloração de solo mais clara).

No que tange a realização dos levantamentos no contato com a Fm. Serra Geral, realizou-se estes levantamentos GPR em vários pontos da área do Chapadão de SGO onde ocorre este contato com a cobertura detrito-laterítica (Furna Preta, Fazenda Pato Branco, Aeroporto, Pedreira e no SAAE), sendo que em alguns pontos existe a presença de cangas lateríticas e em outros não temos a presença destas lentes.

Na Figura 36, pode-se observar um afloramento da Formação Serra Geral, próximo à região denominada de Furna Preta. Na Figura 37, observa-se o local da pedreira onde ocorre a presença de lentes de cangas lateríticas dentro da cobertura detrito-laterítica, ainda nesta figura podemos verificar o desnível entre as seções GPR realizadas no local, sendo que a seção denominada Pedreira-1 foi realizada no pé deste talude e a seção Pedreira-2 na crista do mesmo.

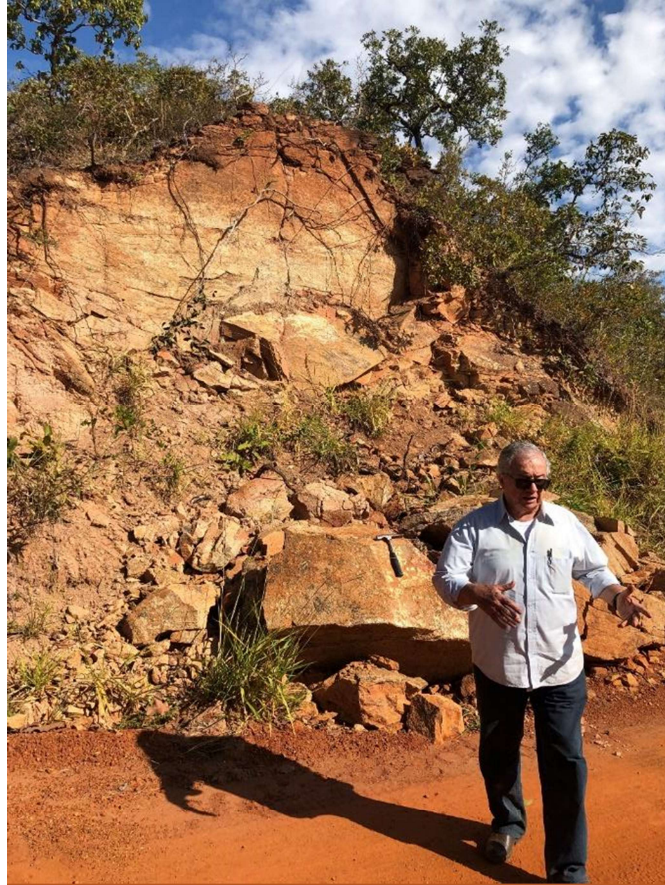


Figura 36. Afloramento da Formação Serra Geral, próximo à Furna Preta.



Figura 37. Cangas lateríticas com cobertura detrito-laterítica na área da Pedreira.

Para estudarmos o contato da cobertura detrítico-laterítica com o Aquífero Guarani (Formação Botucatu), foram realizados levantamentos próximos a PCH Ponte Alta, onde ocorre afloramento do Aquífero Guarani (Figura 38) e coberturas detrítico-lateríticas sobre esta formação.

Neste ponto da área de estudos, como ocorre o afloramento do Aquífero Guarani com a presença da Fm. Botucatu, não ocorre a presença da Formação Serra Geral, a qual aparece na região sobreposta a este aquífero.



Figura 38. Afloramento da Formação Botucatu (Aquífero Guarani) no local do levantamento.

Foram realizados levantamentos GPR em dois pontos da área do Chapadão de SGO onde ocorre o contato da cobertura detrítico-laterítica com a Fm. Estrada Nova, um ponto está localizado na Fazenda Céu Azul e o outro nas margens da estrada que liga SGO à cidade de Rio Negro (Figura 39). Neste último ponto, há a presença de cangas lateríticas. Na Fazenda Céu Azul não se verifica a presença destas lentes.

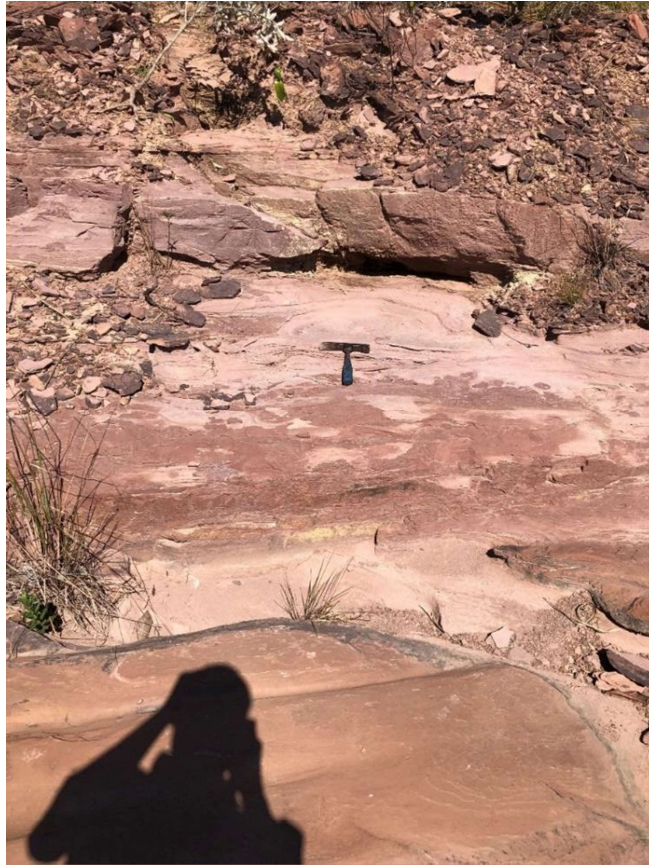


Figura 39. Foto do local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova, com afloramento desta.

Por fim, foi realizado um levantamento GPR no contato das coberturas cenozoicas com a Fm. Aquidauana, como se pode ver na Figura 40, onde há neste local o afloramento desta formação.



Figura 40. Foto do local do levantamento com GPR no contato com a Formação Aquidauana, com afloramento desta.

Na Tabela 3, podemos verificar as coordenadas do início e fim de cada perfil GPR realizado nesta pesquisa e na Figura 41 há o mapa com a posição dos levantamentos executados com o GPR.

Tabela 3. Coordenadas dos perfis GPR realizados.

Perfil GPR	Latitude Inicial	Longitude Inicial	Latitude Final	Longitude Final
Aquidauana	-19°20'6.542724"	-54°48'24.029995"	-19°20'4.662191"	-54°48'17.470146"
SAAE	-19°24'3.024479"	-54°34'33.849525"	-19°23'59.331498"	-54°34'36.216255"
PCH	-19°24'37.853744"	-54°29'25.468942"	-19°24'8.804438"	-54°29'28.302215"
Aero	-19°26'18.473521"	-54°34'20.446223"	-19°26'16.458950"	-54°34'35.468444"
Bauru-1	-19°33'6.373312"	-54°26'3.405947"	-19°32'55.923665"	-54°26'24.746494"
Bauru-3	-19°32'26.955771"	-54°27'24.373587"	-19°32'23.570304"	-54°27'51.171283"
Pedreira-1	-19°30'32.717300"	-54°33'32.341747"	-19°30'28.906240"	-54°33'29.675410"
Pedreira-2	-19°30'36.000924"	-54°33'31.754399"	-19°30'31.460512"	-54°33'34.451875"
Estrada Nova-1	-19°20'5.212916"	-54°47'37.839862"	-19°20'1.998797"	-54°47'13.372560"
Estrada Nova-2	-19°20'1.965560"	-54°47'13.420829"	-19°20'0.278474"	-54°47'1.198725"
Estrada Nova-3	-19°14'20.003464"	-54°46'57.156341"	-19°14'13.016581"	-54°46'47.980583"
Pato	-19°17'25.529741"	-54°31'56.268934"	-19°17'26.448392"	-54°31'48.723142"
Furna-1	-19°8'57.543963"	-54°28'37.044433"	-19°9'0.467297"	-54°28'35.515159"
Furna-2	-19°9'0.094619"	-54°28'37.002306"	-19°9'1.969463"	-54°28'33.996401"

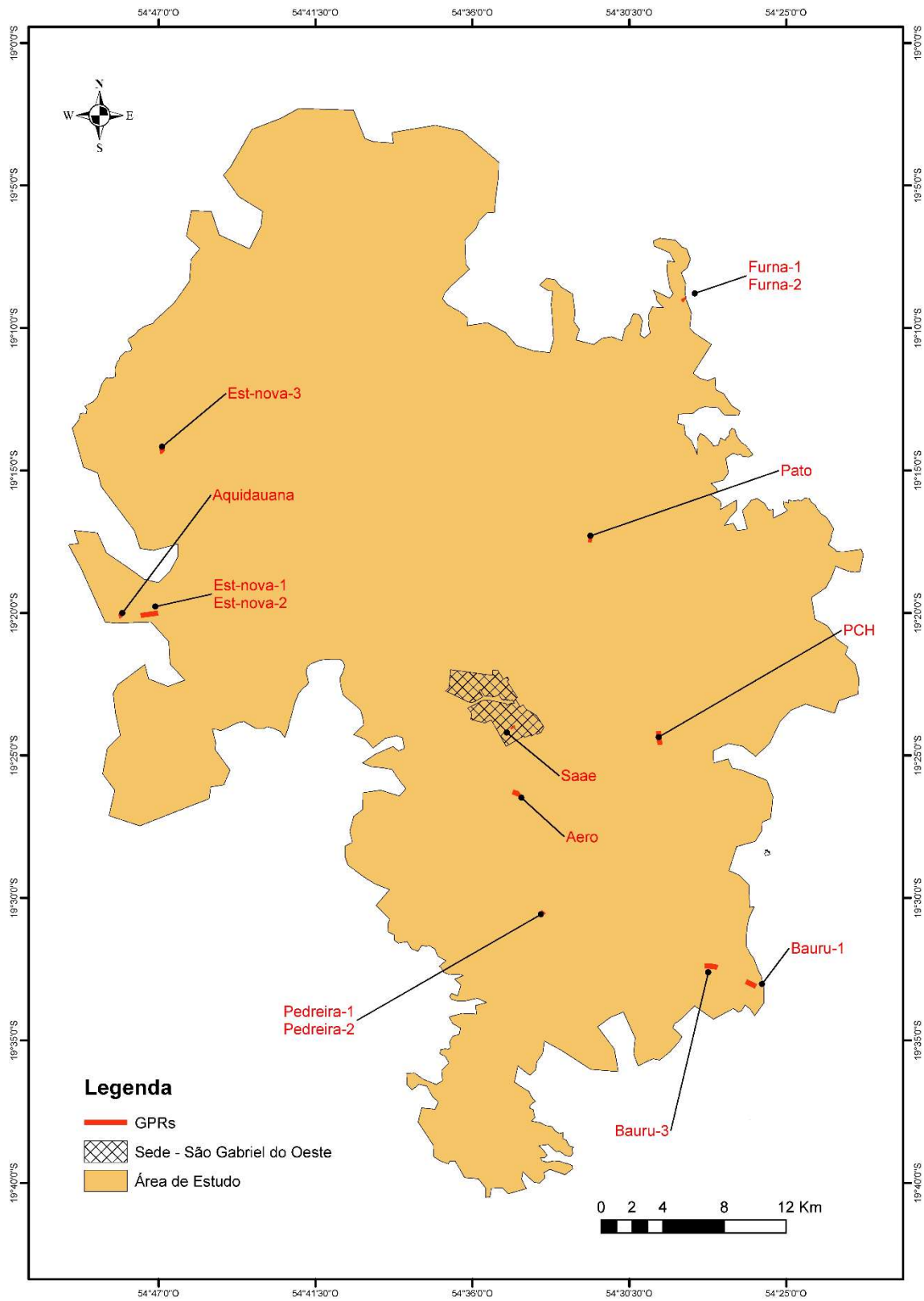


Figura 41. Localização dos levantamentos GPR realizados na área de estudo.

3.2 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 CPRM, e o SIRIEMA, sistema de informações ambientais do órgão responsável a nível estadual pela gestão dos recursos hídricos, o IMASUL.

Na tela de pesquisa do SIAGAS, podem-se filtrar os poços por coordenadas, estados ou municípios ou mesmo bacias hidrográficas. Neste filtro, estão os dois poços próximos a nossa área de estudo. Escolhendo-se o ponto a ser pesquisado, obtém-se este em mapa interativo, como pode ser visto na Figura 42.

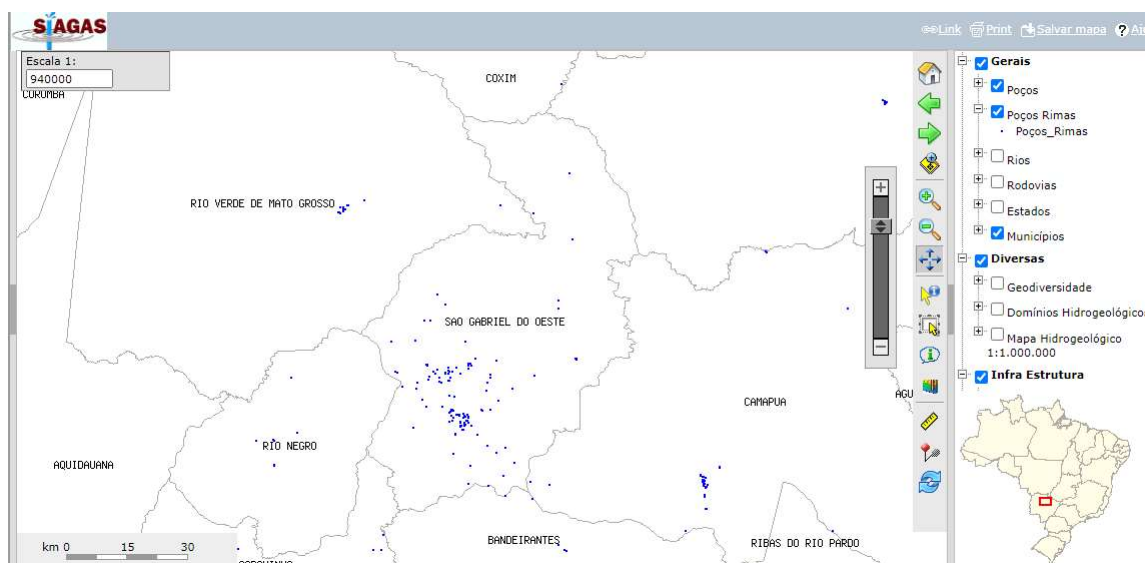


Figura 42. Mapa do SIAGAS com poços próximos à área de estudo. Fonte: CPRM, 2022.

Na Figura 42, mapa do SIAGAS, tem-se uma visão geral dos poços no município e na região, não somente os poços ligados ao RIMAS, mas sim todos existentes na base de dados.

Já em âmbito estadual temos a base de dados do IMASUL (Sistema 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.

Na Figura 43, vê-se a localização dos 65 poços outorgados pelo IMASUL, com seus perfis geológicos e todas as demais informações cadastrais. Na Tabela 4, apresentam-se os dados de localização, vazão, e finalidade de cada poço outorgado.

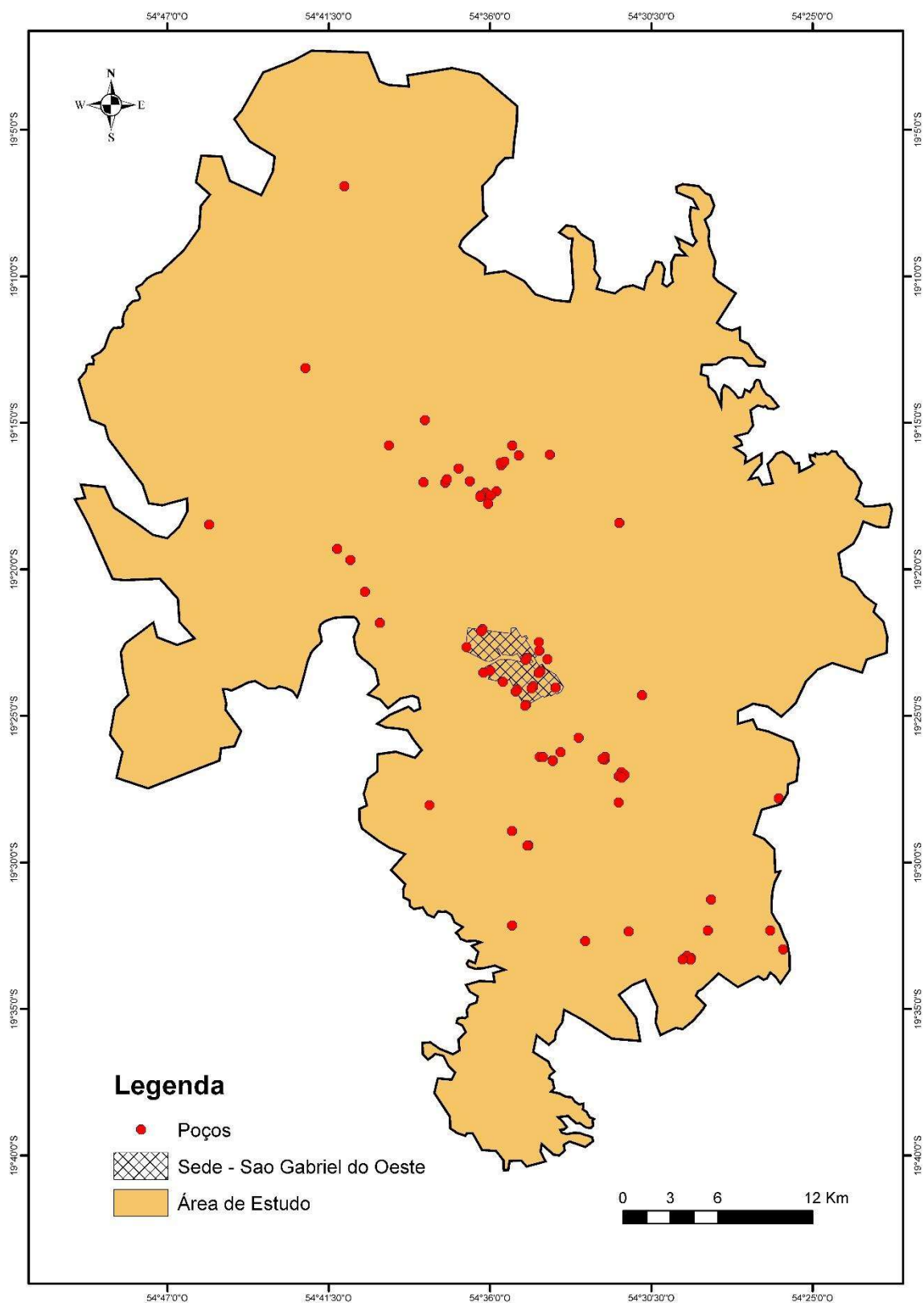


Figura 43. Pontos de uso de recursos hídricos outorgados (ou fase de aprovação) pelo IMASUL sobreposta a delimitação da área de estudos.

Tabela 4. Localização, vazões e finalidade dos poços outorgados pelo IMASUL e que estão na área de estudos.

Ponto	Finalidade	V(m3/h)	Latitude	Longitude
DURH006917	Indústria	100	-19° 26' 53.6"	-54° 31' 29.5"
DURH010214	Des. Animal	5	-19° 16' 32"	-54° 37' 3"
DURH010651	Des. Animal	18	-19° 33' 15.8"	-54° 29' 9.1"
DURH010652	Des. Animal	14	-19° 33' 11.72"	-54° 29' 16.60"
DURH009643	Des. Animal	18	-19° 19' 39"	-54° 40' 44"
DURH008815	Indústria	132	-19° 27' 0.79"	-54° 31' 24.94"
DURH009639	Des. Animal	18	-19° 22' 45"	-54° 34' 18"
DURH010858	Des. Animal	10	-19° 26' 13"	-54° 33' 34"
DURH001721	Des. Animal	8	-19° 29' 24"	-54° 34' 40"
DURH003331	Outras	7	-19° 23' 57.68"	-54° 34' 30.26"
DURH016668	Des. Animal	7	-19° 17' 44.14"	-54° 36' 2.99"
DURH010794	Des. Animal	10	-19° 16' 5"	-54° 35' 0"
DURH004744	Outras	3	-19° 24' 0.81"	-54° 33' 44.65"
DURH006726	Des. Animal	18	-19° 13' 6.04"	-54° 42' 15.75"
DURH007012	Des. Animal	3	-19° 22' 27.18"	-54° 34' 18.60"
DURH014762	Indústria	40	-19° 26' 27.48"	-54° 32' 3.98"
DURH014763	Indústria	27	-19° 26' 22.32"	-54° 32' 3.72"
DURH014765	Indústria	6	-19° 26' 26.57"	-54° 32' 8.32"
DURH013383	Outras	7	-19° 15' 44.4"	-54° 39' 25.4"
DURH013384	Con. Humano	12	-19° 14' 52.91"	-54° 38' 11.52"
DURH007382	Des. Animal	6	-19° 32' 18"	-54° 28' 33"
DURH017882	Des. Animal	12	-19° 26' 21.90"	-54° 34' 17.12"
DURH014364	Des. Animal	9	-19° 16' 3.73"	-54° 33' 56.30"
DURH014230	Des. Animal	12	-19° 24' 16.27"	-54° 30' 47.58"
DURH001933	Des. Animal	8	-19° 29' 23.8"	-54° 34' 42.1"
DURH001458	Abast. Público	74	-19° 24' 2.00"	-54° 34' 33.90"
DURH001456	Abast. Público	87	-19° 23' 30.60"	-54° 34' 18.70"
DURH001460	Abast. Público	83	-19° 23' 3.20"	-54° 34' 46.00"
DURH001461	Abast. Público	72	-19° 24' 8.30"	-54° 35' 6.00"
DURH001464	Abast. Público	16	-19° 16' 58.00"	-54° 36' 40.10"
DURH001468	Abast. Público	84	-19° 22' 4.80"	-54° 36' 16.90"
DURH009733	Abast. Público	5	-19° 23' 2.70"	-54° 34' 1.00"
DURH011041	Des. Animal	12	-19° 26' 29.26"	-54° 33' 50.67"
DURH014234	Des. Animal	12	-19° 26' 30.66"	-54° 33' 50.60"
DURH010857	Des. Animal	12	-19° 32' 7.67"	-54° 35' 13.42"
DURH005851	Des. Animal	24	-19° 28' 1.17"	-54° 38' 2.33"
DURH012863	Des. Animal	10	-19° 32' 39.62"	-54° 32' 43.77"
DURH010268	Abast. Público	102	-19° 23' 48.70"	-54° 35' 32.50"
DURH001466	Abast. Público	104	-19° 24' 37.4"	-54° 34' 46.6"
DURH004963	Des. Animal	10	-19° 27' 47.22"	-54° 26' 7.72"
DURH009379	Des. Animal	10	-19° 17' 0.80"	-54° 37' 30.40"
DURH016562	Des. Animal	8	-19° 16' 25.52"	-54° 35' 35.89"
DURH013590	Des. Animal	8	-19° 17' 0.01"	-54° 38' 14.18"
DURH004968	Des. Animal	9	-19° 19' 16.47"	-54° 41' 10.91"
DURH006406	Des. Animal	14	-19° 16' 53.75"	-54° 37' 26.76"
DURH020442	Des. Animal	11	-19° 28' 54.37"	-54° 35' 13.76"
DURH006725	Des. Animal	8	-19° 18' 23.26"	-54° 31' 34.21"
DURH016665	Des. Animal	5	-19° 16' 20.20"	-54° 35' 37.08"
DURH016692	Des. Animal	7	-19° 17' 29.64"	-54° 36' 19.04"

DURH004973	Des. Animal	6	-19° 22' 37.42"	-54° 36' 46.49"
DURH009644	Des. Animal	8	-19° 16' 17.41"	-54° 35' 29.05"
DURH019287	Des. Animal	10	-19° 32' 56.53"	-54° 25' 58.81"
DURH019310	Des. Animal	7	-19° 25' 43.14"	-54° 32' 57.58"
DURH014521	Des. Animal	10	-19° 32' 18.09"	-54° 26' 25.26"
DURH012052	Des. Animal	14	-19° 20' 44.37"	-54° 40' 14.20"
DURH017186	Des. Animal	7	-19° 15' 44.99"	-54° 35' 13.03"
DURH016540	Indústria	96	-19° 27' 5.07"	-54° 31' 29.01"
DURH011422	Des. Animal	12	-19° 31' 14.39"	-54° 28' 26.06"
DURH020994	Des. Animal	60	-19° 33' 17.45"	-54° 29' 8.92"
DURH006031	Des. Animal	10	-19° 21' 47.94"	-54° 39' 43.77"
DURH006034	Des. Animal	5	-19° 32' 19.78"	-54° 31' 14.41"
DURH015078	Outras	16	-19° 33' 17.37"	-54° 29' 24.67"
DURH016700	Des. Animal	3	-19° 27' 55.26"	-54° 31' 35.82"

Pensando no enfoque desta pesquisa, podemos destacar os seguintes dados, que serão de extrema valia para a construção dos mapas temáticos que caracterizam a nossa 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, conseguimos definir quais poços estão utilizando a água da cobertura detrito-laterítica.

Na Figura 44, temos a principal informação deste banco de dados, que é o Perfil do Poço Tubular, que nos traz todo perfil geológico que foi encontrado durante a perfuração do mesmo. A partir da análise dos perfis dos poços e dos dados geofísicos, faz-se a interpretação da espessura e da distribuição da camada detrito-laterítica na área de estudo.

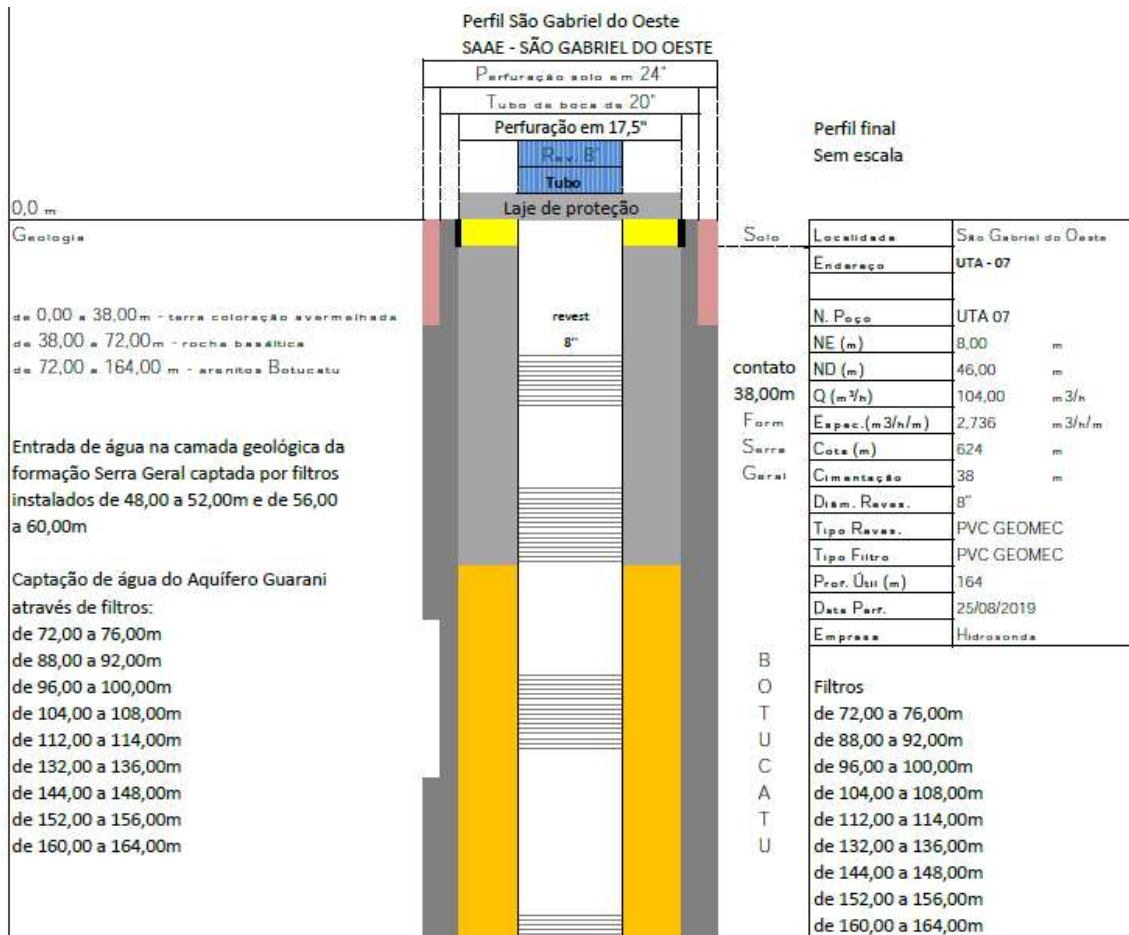


Figura 44. Perfil de Poço Tubular. Fonte: (IMASUL, 2022)

Estas informações nos permitem conhecer as espessuras e as características das formações geológicas ali presentes, bem como suas posições estratigráficas. Com isto, podemos definir quais extratos geológicos e aquíferos foram encontrados. Assim, tais informações permitem a confecção de mapas temáticos relativos à geologia e hidrogeologia da área. Ao juntarmos informações de diversos poços existentes na área, além de outras fontes de dados, podemos gerar informações como extensão das formações geológicas na área e espessuras mínimas, máximas e médias destas.

Do total de 151 poços cadastrados no IMASUL, 65 estão outorgados e 86 são de uso insignificante; todavia, nesta pesquisa, os dados destes poços de usos insignificantes não foram levados em consideração, devido à pequena quantidade e qualidade dos dados que estes podem fornecer.

4. RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados dos levantamentos geofísicos, sendo que em relação ao método GPR, estes serão mostrados de forma integral. Os levantamentos de Sondagens Elétricas Verticais e os Caminhamentos Elétricos serão apresentados de forma resumida, devido à grande quantidade de dados. Os dados completos encontram-se nos Anexos.

4.1 DADOS DO GPR

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

Os resultados foram organizados pelo contato geológico entre a cobertura detrito-laterítica e as formações observadas na área de estudo das mais novas para as mais antigas.

4.1.1 Cobertura detrito-laterítica e Grupo Bauru

Na seção Bauru-1 (Figura 45 e Figura 46), não foi identificada a presença da cobertura detrito-laterítica, somente o Grupo Bauru, a qual se apresenta com profundidade superior a 40 metros em toda a sua extensão. Esta camada, mesmo não possuindo uma qualidade agrícola muito boa, diferentemente da cobertura detrito-laterítica que têm uma quantidade de argila maior, já consegue servir de suporte para o

plantio de culturas na área. Esta diferença na quantidade de argila pode ser notada visualmente na Figura 35 da página 72, onde os solos do Grupo Bauru são vistos com uma coloração bem mais clara que os solos da cobertura detrito-laterítica (demarcação em vermelho).



Figura 45. Local do levantamento com GPR – Seção Bauru-1. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

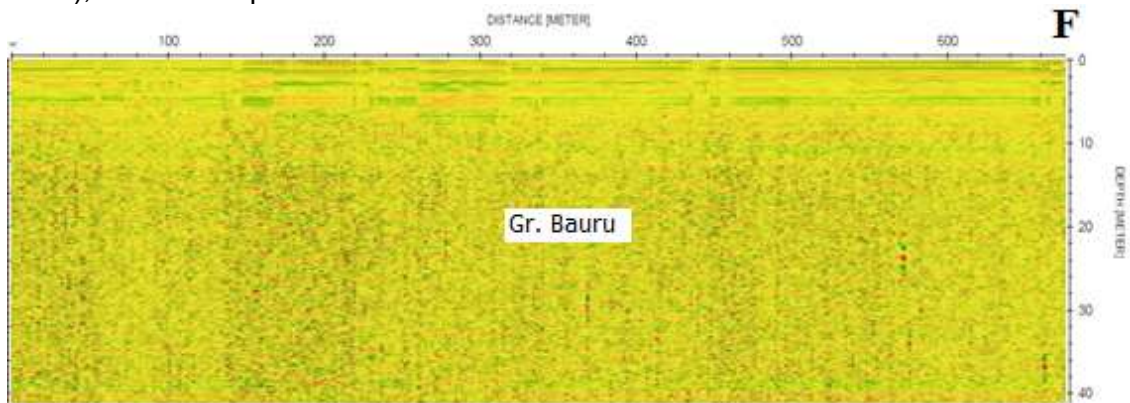


Figura 46. Radargrama interpretado da Seção de GPR Bauru-1.

Nesta seção, Bauru-3 (Figura 48), foi detectado o contato do Grupo Bauru com a cobertura detrito-laterítica; as espessuras desta camada foram diminuindo de mais

de 40 metros até chegar a zero, deste ponto em diante se observa somente a presença da cobertura detrito-laterítica.

Devido à quantidade de argila e a umidade existentes na camada de cobertura detrito-laterítica e pelo contato entre as camadas não ser abrupto em profundidade, o GPR não conseguiu uma maior penetração, conseguindo detectar o contato até aproximadamente 20 metros de profundidade, após isso o contato foi inferido pela inclinação observada na parte superior.



Figura 47. Local do levantamento com GPR – Seção Bauru-3. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

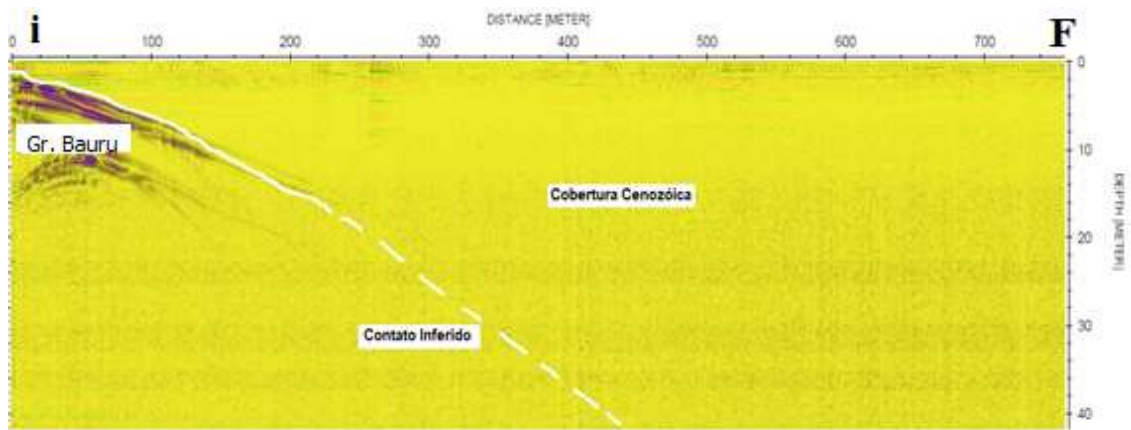


Figura 48. Radargrama interpretado da Seção de GPR Bauru-3



Figura 49. Foto do local do levantamento com GPR Seção Bauru-3 no contato com o Grupo Bauru com a cobertura detrito-laterítica.

O sinal GPR apresentou um grande contraste ao encontrar o contato entre estas camadas até a distância de 250 metros, o que facilitou bastante a exata definição

deste contato. Porém, após esta distância o sinal ficou fraco e foi preciso inferir a continuidade deste.

4.1.2 Cobertura detrito-laterítica e Formação Serra Geral

O contato entre a Cobertura detrito-laterítica (com cangas lateríticas) e a Formação Serra Geral pode ser observado na Figura 50, cujo afloramento não ocorre no local de realização do perfil Furna -1 (Figura 52), mas em área próxima (Figura 36 da página 73). Este contato é o mais frequente na área de estudo. O sinal GPR apresenta um grande contraste ao encontrar o contato entre estas camadas, o que facilita bastante a definição deste contato.



Figura 50. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Serra Geral, com a existência de cangas lateríticas – Seção Furna-1. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

Na seção Furna-1, não se observa a cobertura detrítico-laterítica aflorante no exato ponto da seção (Figura 51). Ela é existente na vizinhança e foi retirada pela prefeitura para utilização da camada de cangas lateríticas existentes logo abaixo.

O afloramento de cangas lateríticas pode ser observado na Figura 55, cujo desnível entre as seções de GPR Furna-1 e Furna-2 pode ser observado. Ele ocorre devido à retirada da camada de cobertura terciária sem cangas lateríticas ali existente.



Figura 51. Foto do levantamento com GPR no contato com a Fm. Serra Geral, na Furna Preta (Local da seção Furna-1).

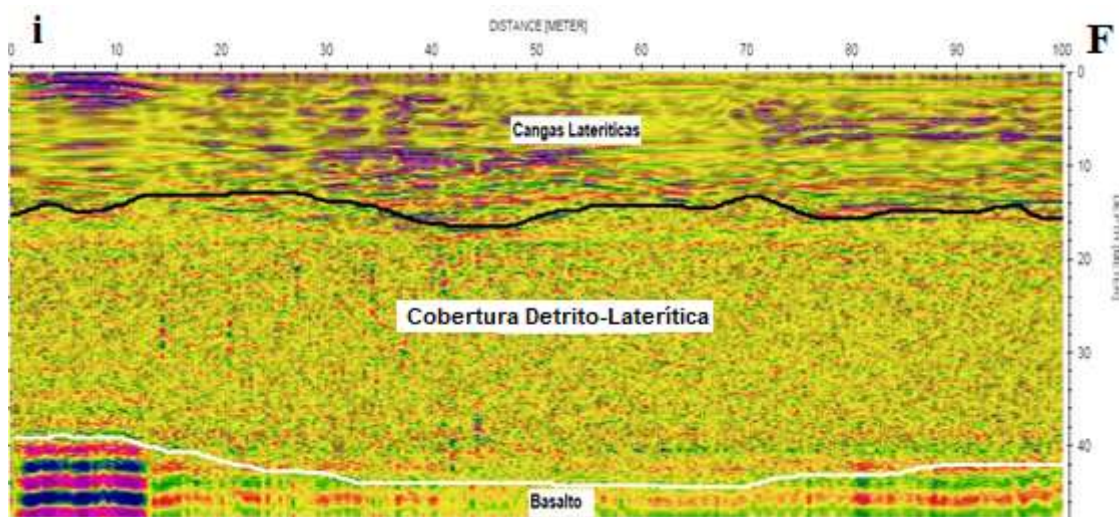


Figura 52. Radargrama interpretado da Seção de GPR Furna-1

Na seção Furna-1 (Figura 52), verifica-se a presença de uma camada de aproximadamente 15 metros de espessura da lente de cangas lateríticas, seguida de uma camada de cobertura detrito-laterítica com aproximadamente 27 metros de espessura e, logo após, os basaltos da Fm. Serra Geral.



Figura 53. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Serra Geral, com a existência de cangas lateríticas – Seção Furna-2. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

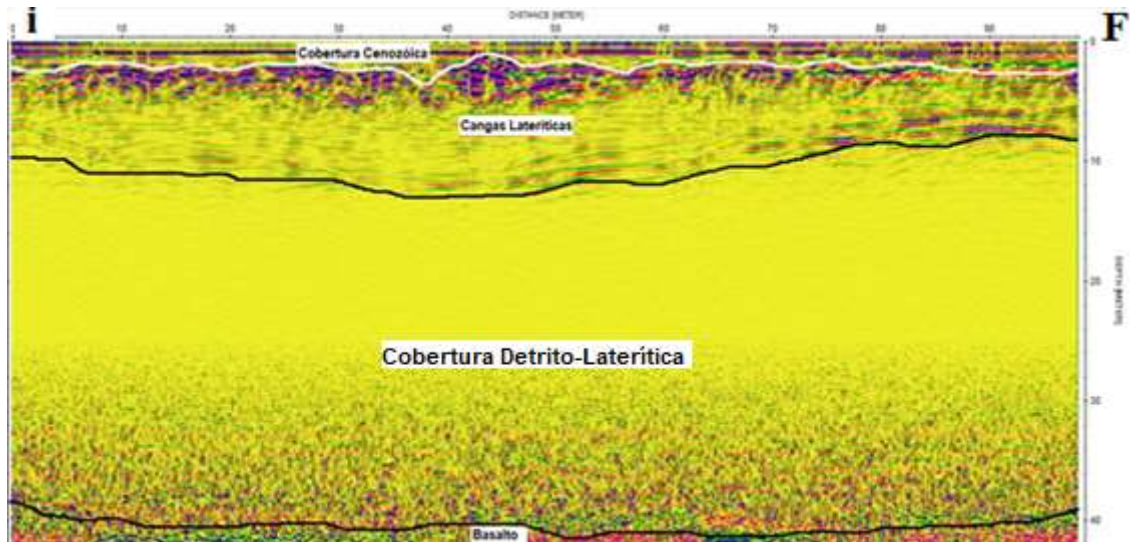


Figura 54. Radargrama interpretado da Seção de GPR Furna-2

A ocorrência da Cobertura detrito-laterítica, em espessura de aproximadamente 4 metros, sem as cangas lateríticas (Figura 52), apresenta solo favorável para plantio (Figura 56). Após esta fina camada de solo, temos um perfil praticamente igual ao da seção Furna-1, com a presença de uma camada de cangas lateríticas com aproximadamente 8 metros de espessura, seguida de uma camada de cobertura detrito-laterítica com aproximadamente 27 metros de espessura, e logo após os basaltos da Fm. Serra Geral.



Figura 55. Cobertura detrito-laterítica sobreposta as lentes de canga laterítica.

Na Figura 55, verifica-se o desnível entre as seções GPR, sendo que a seção GPR (Furna-1) foi realizada no pé deste talude e a seção GPR (Furna-2) foi realizada na crista deste mesmo talude.

A seguir, podemos ver os levantamentos realizados na pedreira próxima ao aeroporto de SGO. Conforme podemos ver na Figura 56, Figura 57 e Figura 58.



Figura 56. Local do levantamento com GPR na Pedreira do Aeroporto, mineração de Cangas lateríticas para cascalho – Seção Aero. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

Na Seção Aero (Figura 57), ocorre a cobertura da camada cenozóica com presença de lentes de cangas lateríticas com espessura variando de 6 a 10 metros, seguida pela cobertura detrito-laterítica sem as cangas lateríticas, com espessura aproximada de 36 metros. Em seguida, há o contato com os basaltos da Fm. Serra Geral. A existência no local das lentes de cangas lateríticas não impediu o plantio agrícola (como pode ser visto nas plantações existentes no local), já que estas são lentes isoladas, como pode ser visto no plano de corte da pedreira.

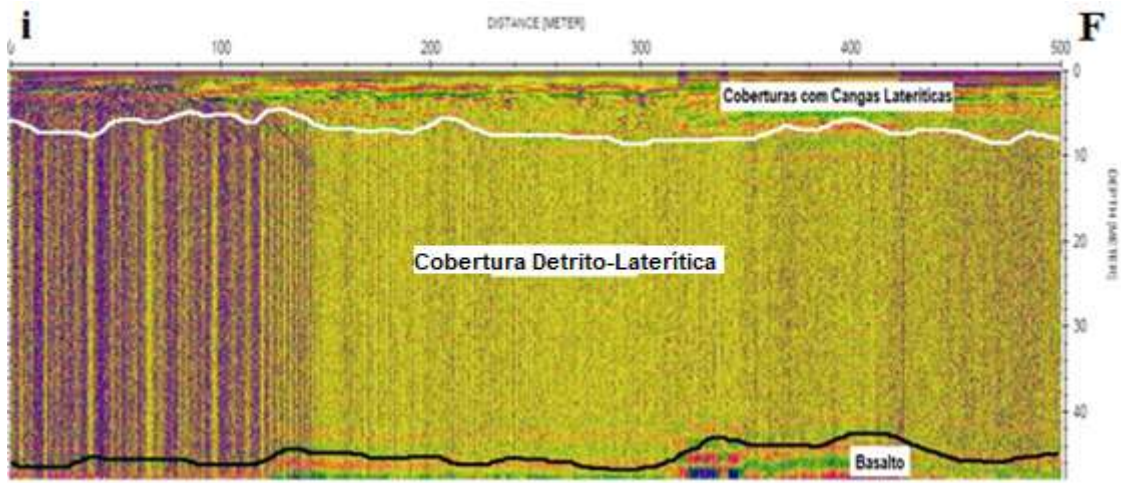


Figura 57. Radargrama interpretado da Seção de GPR Aero



Figura 58. Foto do levantamento com GPR na Pedreira do Aeroporto, mineração de Cangas lateríticas para cascalho.

A presença de cangas lateríticas em maior espessura é observada no entorno da UPL-1 (Unidade de produção de leitões) da Empresa COOASGO (Figura 59), local onde existe uma pedreira de exploração deste material (Figura 63).



Figura 59. Local do levantamento com GPR na Pedreira próxima a COOASGO, mineração de Cangas lateríticas para cascalho – Seção Pedreira-1. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

Na seção Pedreira-1 (Figura 60), verifica-se a presença de uma camada de aproximadamente 10 metros de espessura de cangas lateríticas; abaixo desta, observa-se uma camada de cobertura detrito-laterítica sem cangas lateríticas, com aproximadamente 24 metros de espessura, e logo após os basaltos da Fm. Serra Geral. Esta seção foi realizada dentro da cava da pedreira abandonada, ou seja, a capa mais rasa da cobertura detrito-laterítica foi retirada para exploração das cangas lateríticas (Figura 61).

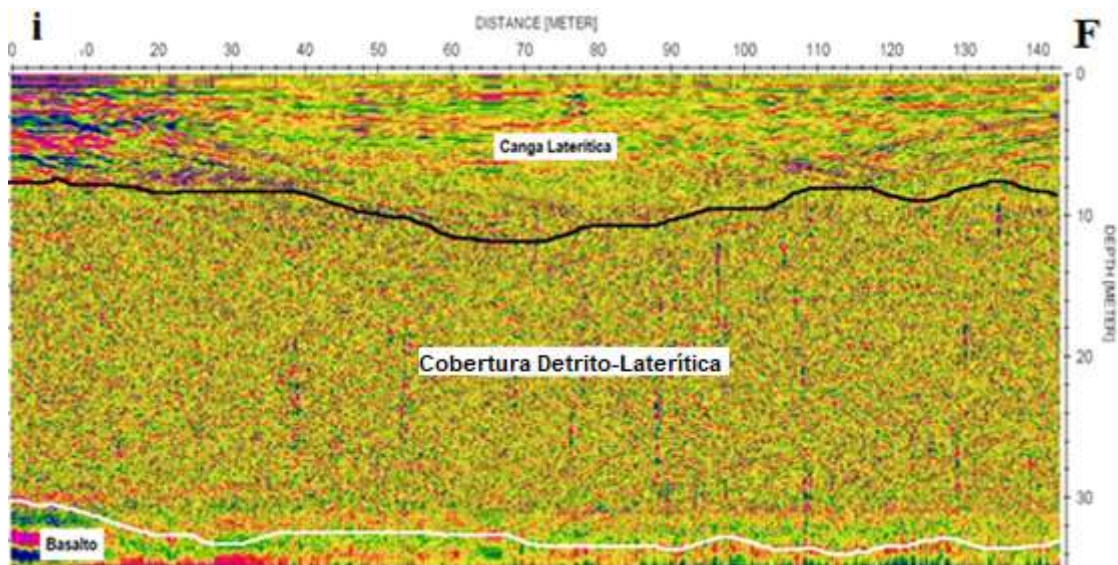


Figura 60. Radargrama interpretado da Seção de GPR Pedreira-1



Figura 61. Local do levantamento com GPR na Pedreira próxima a COOASGO, mineração de Cangas lateríticas para cascalho – Seção Pedreira-2 Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

Uma camada de aproximadamente 10 metros de coberturas detrito-lateríticas com a presença de algumas lentes de cangas lateríticas é observada na seção Pedreira-2 (Figura 62), local onde ocorre a presença de solo propício para o plantio (Figura 61). Neste local, a camada mais rasa de solo não foi removida. Abaixo, observa-

se uma camada de cobertura detrito-laterítica sem cangas lateríticas, com aproximadamente 24 metros de espessura, e logo após temos os basaltos da Fm. Serra Geral.

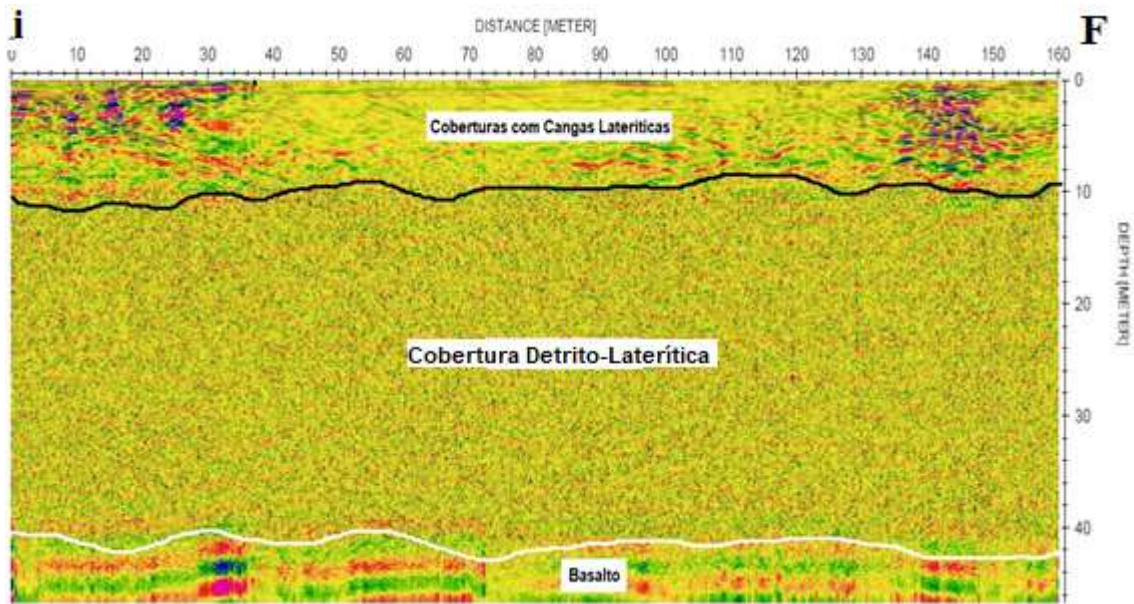


Figura 62. Radargrama interpretado da Seção de GPR Pedreira-2



Figura 63. Levantamento com GPR na Pedreira próxima a COOASGO (local da seção Pedreira-1).

Na Figura 64 podemos visualizar o levantamento realizado próximo a Fazenda Pato Branco.



Figura 64. Local do levantamento com GPR na Fazenda Pato Branco, Cobertura detrito-laterítica com lentes de cangas lateríticas – Seção Pato. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

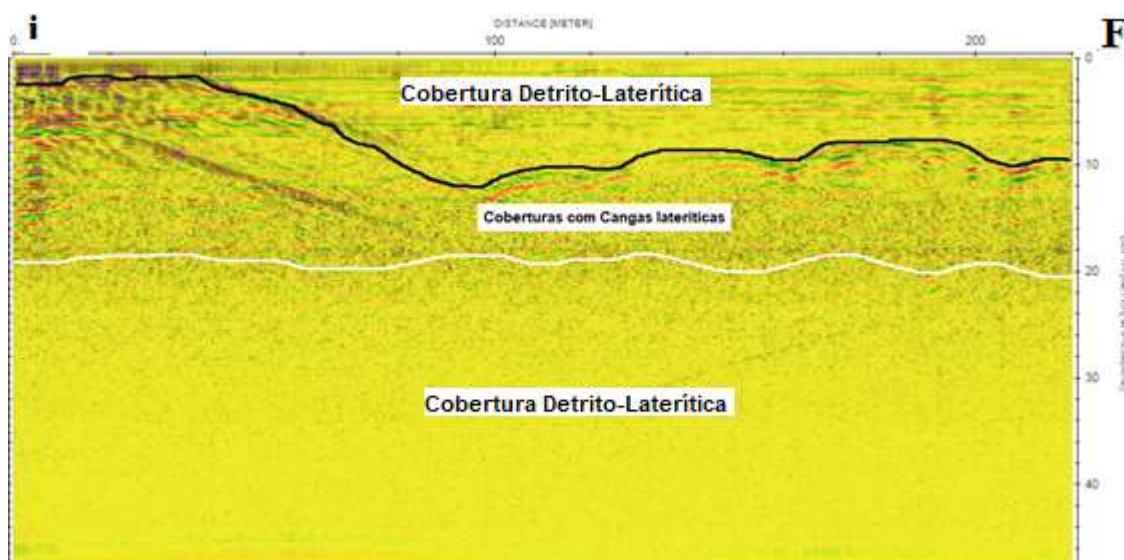


Figura 65. Radargrama interpretado da Seção de GPR Pato

Nesta seção, GPR Pato (Figura 65) podemos verificar a presença de uma camada de coberturas detrito-lateríticas com espessuras variando entre 3 e 11 metros, este

solo é aproveitável para plantio, como pode ser visto na Figura 66. Abaixo observa-se uma camada de cobertura detrito-laterítica com cangas lateríticas, com aproximadamente 10 metros de espessura, e logo após voltamos a ter a cobertura detrito-laterítica até uma profundidade de 48 metros. Abaixo desta profundidade o sinal de GPR não teve energia suficiente para penetrar, não sendo possível neste local a definição exata do contato com os basaltos da Fm. Serra Geral.



Figura 66. Levantamento com GPR na Fazenda Pato Branco.

Na Figura 67 e na Figura 69, podemos verificar o local do levantamento realizado ao lado do poço do SAAE de SGO, onde ocorre a cobertura detrito-laterítica sobre a formação Serra Geral, conforme podemos ver da Figura 68.

Nesta seção GPR SAAE, pode-se verificar a presença de uma camada de coberturas detrito-lateríticas com espessura de aproximadamente 30 metros, e logo abaixo desta temos os basaltos da Fm. Serra Geral.



Figura 67. Local do levantamento com GPR ao lado do poço do SAAE de SGO – Seção SAAE. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

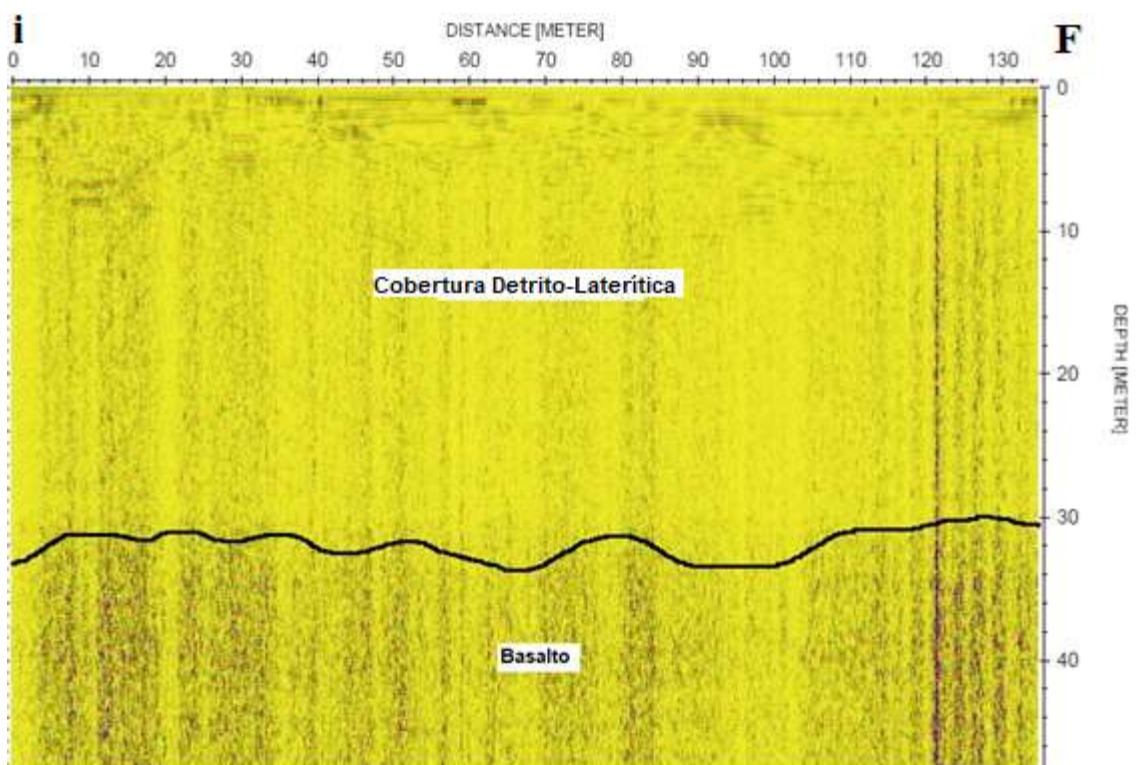


Figura 68. Radargrama interpretado da Seção de GPR SAAE



Figura 69. Levantamento com GPR no SAAE de SGO.

4.1.3 Cobertura detrito-laterítica e Aquífero Guarani

As Figuras 70 e 72 mostram o local do levantamento no contato do Aquífero Guarani com a cobertura detrito-laterítica. No começo da seção GPR (Figura 71), não temos a 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. Na Figura 70, 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 e no início da linha GPR onde o Aquífero Guarani aflora, os agricultores preferem nem plantar.

O sinal GPR apresenta um grande contraste ao encontrar o contato entre estas camadas, o que facilita bastante a definição deste contato.



Figura 70. 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.

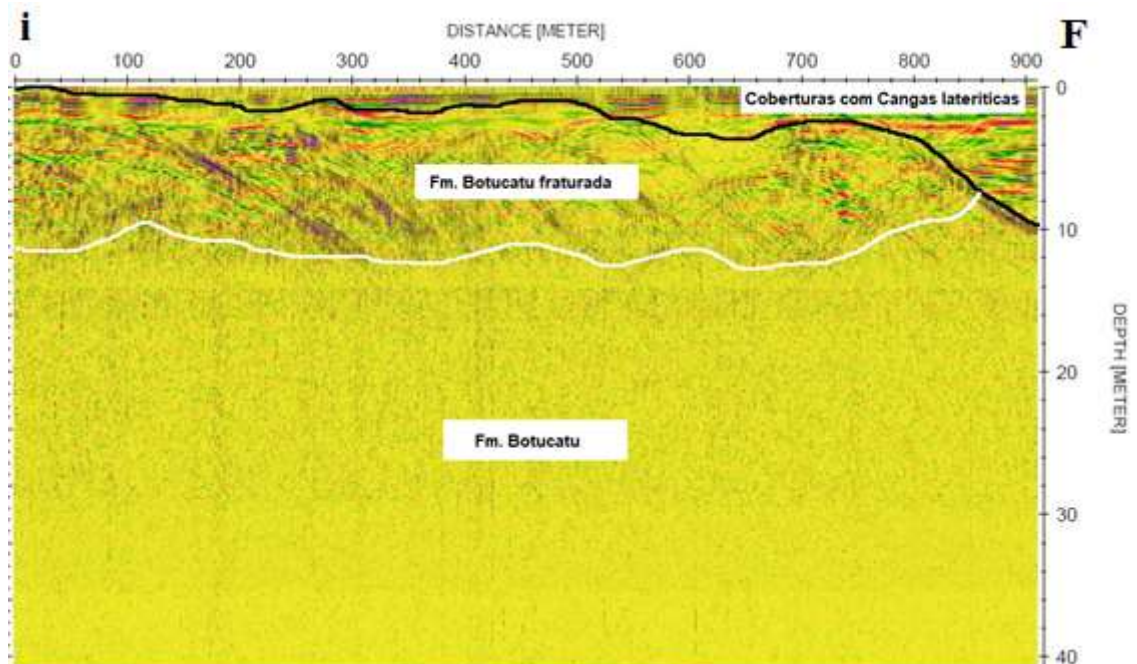


Figura 71. Radargrama interpretado da Seção de GPR - PCH



Figura 72. Levantamento com GPR na PCH Ponte Alta.

4.1.4 Cobertura detrito-laterítica e Formação Estrada Nova

A localização do levantamento para determinação do contato entre a cobertura detrito-laterítica com a Formação Estrada Nova é apresentada da Figura 73.

Neste ponto da área de estudo, observa-se o contato entre a cobertura detrito-laterítica e com siltitos e arenitos da Formação Estrada Nova, pacote rochoso ausente no mapa geológico da CPRM (2006), porém identificado em ANA (2014).



Figura 73. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova com existência de cangas lateríticas – Seção Estrada Nova-1. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

No início da seção Estrada Nova-1, temos a presença da cobertura detrítico-laterítica com cangas lateríticas, com aproximadamente 4 metros de espessura (Figura 74), evidenciada na qualidade do solo agrícola no local correspondente ao início da seção, com a gradativa diminuição desta espessura de solo, conforme surge o afloramento da Fm. Estrada Nova, a qualidade do solo agrícola vai diminuindo (coloração mais clara vista na Figura 75).

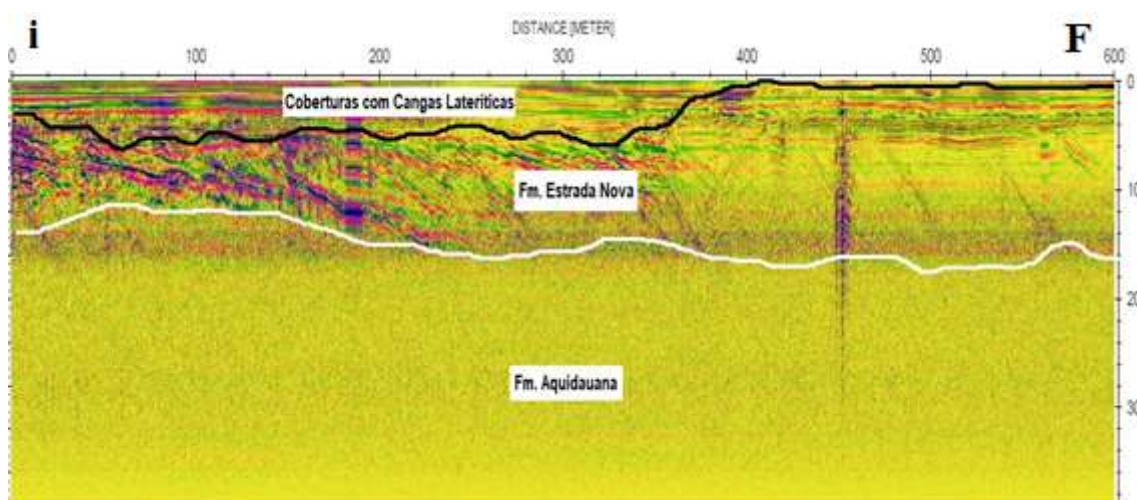


Figura 74. Radargrama interpretado da Seção de GPR Estrada Nova-1.

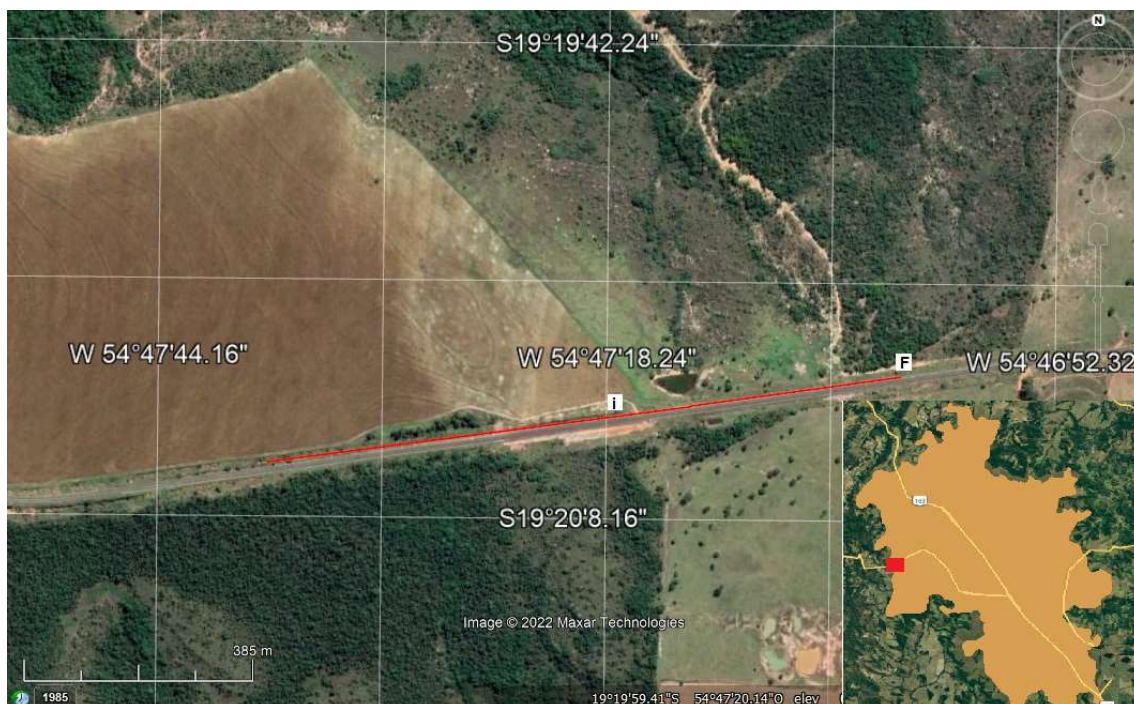


Figura 75. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova com existência de cangas lateríticas – Seção Estrada Nova-2. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.

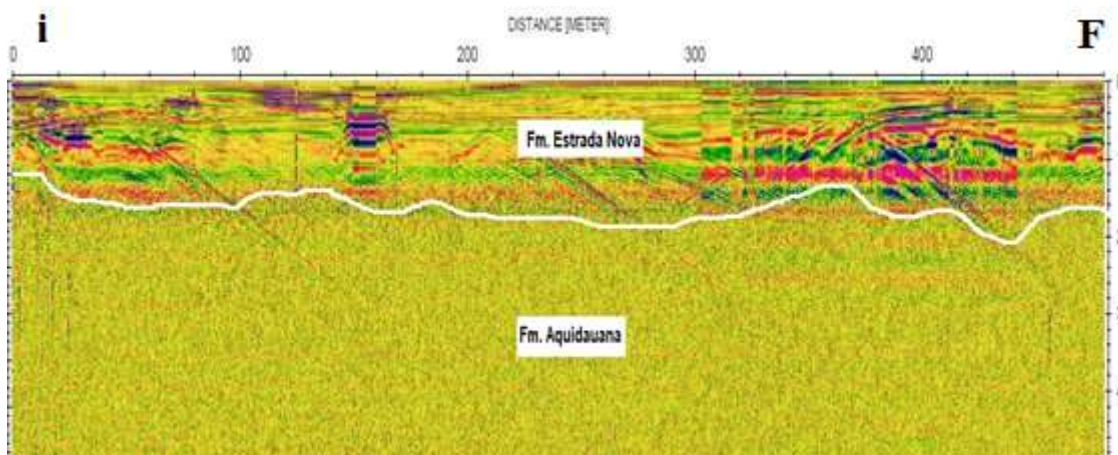


Figura 76. Radargrama interpretado da Seção de GPR Estrada Nova-2

Esta seção Estrada Nova-2 (Figura 76) é a continuidade da seção Estrada Nova-1, onde não se observa a presença da cobertura detrito-laterítica. Neste ponto, o afloramento da Fm. Estrada Nova é visto de maneira bem mais evidente (Figura 77). Ali já não existe a possibilidade de plantio, como pode ser visto na Figura 75.



Figura 77. Foto do local do levantamento com GPR no contato com a Fm. Estrada Nova.

Podemos observar na Figura 78 e na Figura 79 fotos em detalhe do local onde foram realizadas estas duas seções, ao longo da estrada que liga SGO a cidade de Rochedo.



Figura 78. Foto do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova (Local da seção Estrada Nova-1).



Figura 79. Foto do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova (Local da seção Estrada Nova-2).

Na Figura 80, Figura 81 e na Figura 82 vê-se o mapa com o local do levantamento e fotos do mesmo local, onde pode-se observar muito claramente o afloramento da Fm. Estrada Nova.



Figura 80. Local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova sem a existência de cangas lateríticas – Seção Estrada Nova-3 na Fazenda Céu Azul. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.



Figura 81. Foto do local do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova-3 na Fazenda Céu Azul.



Figura 82. Foto do levantamento com GPR no contato com a Formação Estrada Nova, na Fazenda Céu Azul (Local da seção Estrada Nova-3).

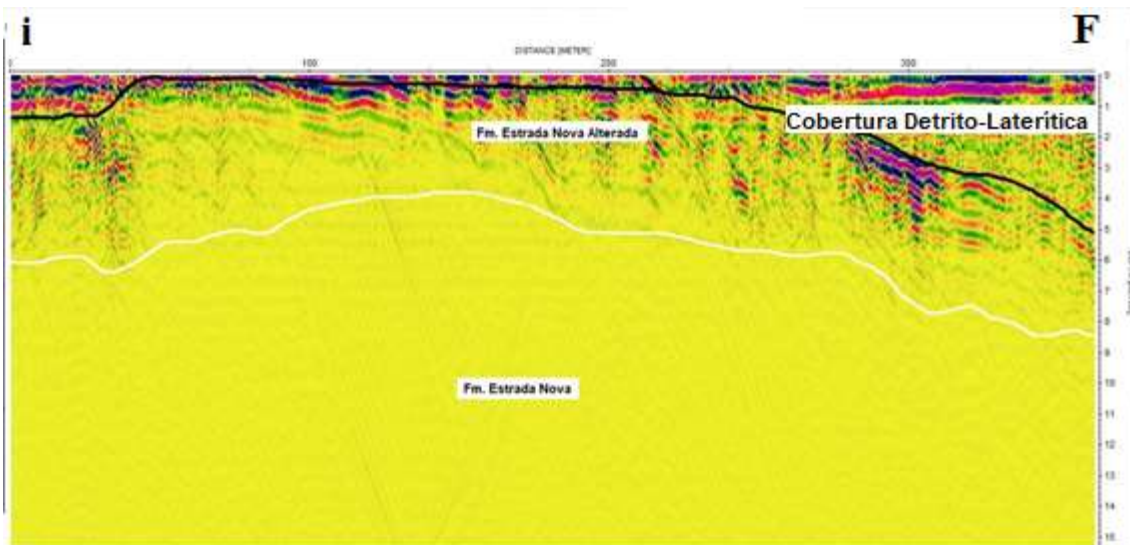


Figura 83. Radargrama interpretado da Seção GPR Estrada Nova-3

Nesta seção Estrada Nova-3 (Figura 83), em seu início não há cobertura detrito-laterítica, a qual vai aumentando sua espessura e no final da seção já aparece com aproximadamente 5 metros; cujo espessamento das coberturas possibilita o plantio de culturas na área (Figura 80). Verifica-se que as plantações só ocorrem quando a espessura da camada terciária possibilita uma boa qualidade agrícola; neste caso, a partir de 2 metros de espessura foi realizada plantação no local.

O sinal GPR apresenta um grande contraste ao encontrar o contato entre estas camadas, o que facilita bastante a definição deste contato.

4.1.5 Cobertura detrito-laterítica e Formação Aquidauana

As Figuras 84 e 85 apresentam a localização dos levantamentos para a determinação do contato entre a cobertura detrito-laterítica e a Formação Aquidauana.

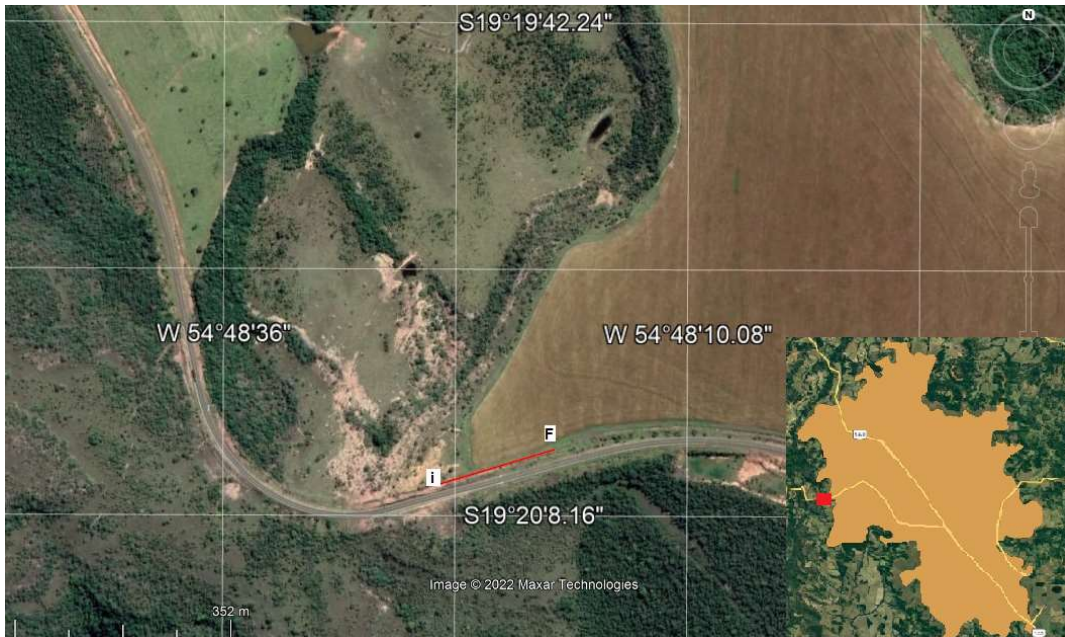


Figura 84. Local do levantamento com GPR – Seção Aquidauana. Fonte: (Google Earth, 2022), modificado pelo autor.



Figura 85. Foto do levantamento com GPR no contato com a Formação Aquidauana.

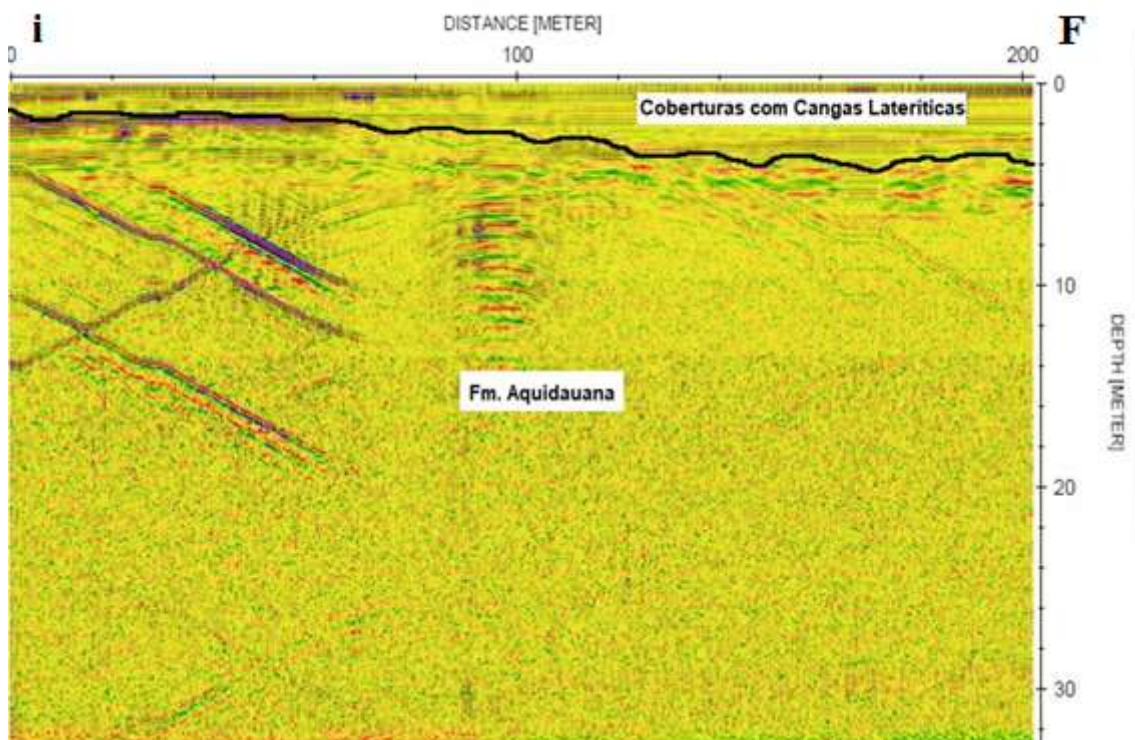


Figura 86. Radargrama interpretado da Seção de GPR Aquidauana.

No início da seção (Figura 86), há uma fina camada da cobertura detrito-laterítica, a qual vai aumentando sua espessura e no final da seção já aparece com aproximadamente 4 metros; este espessamento das coberturas fica evidenciado na qualidade do solo agrícola, onde seu aumento de espessura reflete visivelmente na viabilidade da existência das plantações na área.

Na Figura 84 verifica-se que as plantações ao lado da linha GPR só existem nos dois terços finais da linha, ou seja, onde existe pelo menos uma espessura aproximada de 2,5 metros de solo fértil.

4.2 Dados Geométricos

As interpretações das SEVs e dos CE foram apoiadas no modelo geométrico definido, em informações de geologia de superfície e em dados de poços profundos.

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, são os 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 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).

Na Tabela 5, verifica-se um quadro resumo com a interpretação geológica de cada SEV, constando a litologia inferida, sua espessura, profundidade de topo e base e a resistividade elétrica de cada formação geológica.

Tabela 5. Tabela resumo com a interpretação geológica das SEV's

SEV -2				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	35	35	2000
Formação Aquidauana	35	260	225	1400
Formação Ponta Grossa	260	Indefinida	Indefinida	4000
SEV -3				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	37	37	2000
Formação Aquidauana	37	293	256	1000
Formação Ponta Grossa	293	Indefinida	Indefinida	4500
SEV -11				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica laterítica	0	54	54	2500
Formação Aquidauana	54	250	196	1500
Formação Ponta Grossa	250	Indefinida	Indefinida	4600
SEV -12				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	7	7	900
Formação Serra Geral	7	88	81	5000
Aquífero Guarani	88	258	170	700
Formação Aquidauana	258	Indefinida	Indefinida	7000
SEV -19				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. 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
SEV -20				

Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	12	12	800
Formação Serra Geral	12	43	31	6000
Aquífero Guarani	43	273	230	600
Formação Aquidauana	230	Indefinida	Indefinida	4000
SEV -21				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	7	7	680
Formação Serra Geral	7	37	30	4500
Aquífero Guarani	37	200	163	500
Formação Aquidauana	200	Indefinida	Indefinida	3000
SEV -22				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	10	10	300
Formação Serra Geral	10	39	29	5000
Aquífero Guarani	39	312	273	300
Formação Aquidauana	312	Indefinida	Indefinida	2500
SEV -28				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	30	30	600
Formação Serra Geral	30	85	55	6000
Formação Estrada Nova	85	145	60	1100
Formação Aquidauana	145	Indefinida	Indefinida	3500
SEV -29				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	32	32	850
Formação Serra Geral	32	85	53	4800
Aquífero Guarani	85	130	45	600
Formação Aquidauana	130	Indefinida	Indefinida	3000
SEV -30				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	12	12	800
Formação Serra Geral	12	30	18	4000
Aquífero Guarani	30	220	190	700
Formação Aquidauana	220	Indefinida	Indefinida	4000
SEV -36				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	28	28	450
Formação Serra Geral	28	80	52	6100
Formação Estrada Nova	80	148	68	1000
Formação Aquidauana	148	Indefinida	Indefinida	3800
SEV -37				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	42	42	900
Formação Serra Geral	42	80	38	6500
Aquífero Guarani	80	290	210	680
Formação Aquidauana	290	Indefinida	Indefinida	3500
SEV -38				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	12	12	450
Formação Serra Geral	12	28	16	4000
Aquífero Guarani	28	250	232	680
Formação Aquidauana	250	Indefinida	Indefinida	3500
SEV -39				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	15	15	300

Formação Serra Geral	15	90	75	6000
Aquífero Guarani	90	375	285	450
Formação Aquidauana	375	Indefinida	Indefinida	3300
SEV -44				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Formação Estrada Nova	0	15	15	1700
Formação Aquidauana (Saturada)	15	245	230	800
Formação Ponta Grossa	245	Indefinida	Indefinida	2000
SEV -45				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	80	80	1000
Formação Serra Geral	80	110	30	6500
Formação Estrada Nova	110	150	40	1800
Formação Aquidauana	150	Indefinida	Indefinida	2500
SEV -46				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	12	12	500
Formação Serra Geral	12	30	18	2500
Aquífero Guarani	30	240	210	100
Formação Aquidauana	240	Indefinida	Indefinida	3000
SEV -47				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	38	38	600
Formação Serra Geral	38	55	17	2500
Aquífero Guarani	55	240	185	60
Formação Aquidauana	240	Indefinida	Indefinida	2000
SEV -48				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	5	5	800
Formação Serra Geral	5	35	30	2500
Aquífero Guarani	35	220	185	60
Formação Aquidauana	220	Indefinida	Indefinida	2000
SEV -53				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	35	35	700
Formação Serra Geral	35	60	25	9000
Formação Aquidauana	60	380	320	2500
Formação Ponta Grossa	380	Indefinida	Indefinida	4000
SEV -54				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	15	15	400
Formação Serra Geral	15	31	16	2000
Aquífero Guarani	31	131	100	200
Formação Aquidauana	131	Indefinida	Indefinida	2000
SEV -55				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	42	42	800
Formação Serra Geral	42	80	38	1800
Aquífero Guarani	80	320	240	100
Formação Aquidauana	320	Indefinida	Indefinida	5000
SEV -56				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	25	25	300
Formação Serra Geral	25	67	42	3700
Aquífero Guarani	67	300	233	300

Formação Aquidauana	300	Indefinida	Indefinida	2000
SEV -61				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica Laterita	0	6	6	5000
Formação Aquidauana	6	330	324	3500
Formação Ponta Grossa	330	Indefinida	Indefinida	6000
SEV -63				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	40	40	300
Formação Serra Geral	40	83	43	3700
Aquífero Guarani	83	320	237	300
Formação Aquidauana	320	Indefinida	Indefinida	2000
SEV -64				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	26	26	700
Formação Serra Geral	26	41	15	3000
Aquífero Guarani	41	360	319	150
Formação Aquidauana	360	Indefinida	Indefinida	2500
SEV -67				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	20	20	600
Formação Serra Geral	25	40	15	3500
Aquífero Guarani	40	275	235	60
Formação Aquidauana	275	Indefinida	Indefinida	2500
SEV -68				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	8	8	1000
Formação Serra Geral	8	30	22	6500
Aquífero Guarani	30	270	240	100
Formação Aquidauana	270	Indefinida	Indefinida	2500
SEV -72				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	20	20	1000
Formação Serra Geral	20	45	25	4000
Formação Aquidauana	45	360	315	300
Formação Ponta Grossa	360	Indefinida	Indefinida	6000
SEV -73				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	45	45	550
Formação Serra Geral	45	125	80	6400
Aquífero Guarani	125	Indefinida	Indefinida	350
SEV -74				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	23	23	400
Aquífero Guarani	23	200	177	200
Formação Aquidauana	200	Indefinida	Indefinida	2000
SEV -75				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	4	4	1300
Formação Serra Geral	4	16	12	6000
Aquífero Guarani	16	230	214	250
Formação Aquidauana	230	Indefinida	Indefinida	3000
SEV -79				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	37	37	1800
Formação Aquidauana	37	250	213	900

Formação Ponta Grossa	250	Indefinida	Indefinida	4500
SEV -80				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	50	50	2800
Formação Aquidauana	50	265	215	1300
Formação Ponta Grossa	265	Indefinida	Indefinida	5000
SEV -81				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	35	35	1000
Formação Serra Geral	35	100	65	6000
Formação Aquidauana	100	Indefinida	Indefinida	400
SEV -82				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	10	10	480
Formação Serra Geral	10	42	32	4200
Aquífero Guarani	42	264	222	300
Formação Aquidauana	264	Indefinida	Indefinida	2900
SEV -83				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	9	9	350
Formação Serra Geral	9	40	31	4000
Aquífero Guarani	40	300	260	200
Formação Aquidauana	300	Indefinida	Indefinida	2000
SEV -84				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	7	7	500
Formação Serra Geral	7	30	23	3500
Aquífero Guarani	30	230	200	400
Formação Aquidauana	230	Indefinida	Indefinida	4000
SEV -85				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	5	5	300
Formação Serra Geral	5	15	10	3000
Aquífero Guarani	15	180	165	150
Formação Aquidauana	180	Indefinida	Indefinida	2000
SEV -90				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	1	1	2000
Formação Serra Geral	1	178	177	8000
Aquífero Guarani	178	380	202	1000
Formação Aquidauana	380	Indefinida	Indefinida	5000
SEV -93				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	15	15	700
Formação Aquidauana	15	130	115	500
Formação Ponta Grossa	130	Indefinida	Indefinida	2500
SEV -100				
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Res. média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	33	33	400
Formação Serra Geral	33	110	77	5900
Formação Estrada Nova	110	120	10	1200
Formação Aquidauana	120	Indefinida	Indefinida	2500

Os Imageamentos elétricos (Anexos) permitem a visualização da variação lateral destas formações obtidas nas SEV's, sendo que o resultado da interpretação dos mesmos ficou bastante coerente com o resultado das SEV's e dos poços próximos que serviram de calibração para os levantamentos indiretos.

4.3 Caracterização, Espessuras e Profundidades

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 geoeletricas 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 (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 87) e da Formação Serra Geral (Figura 88).

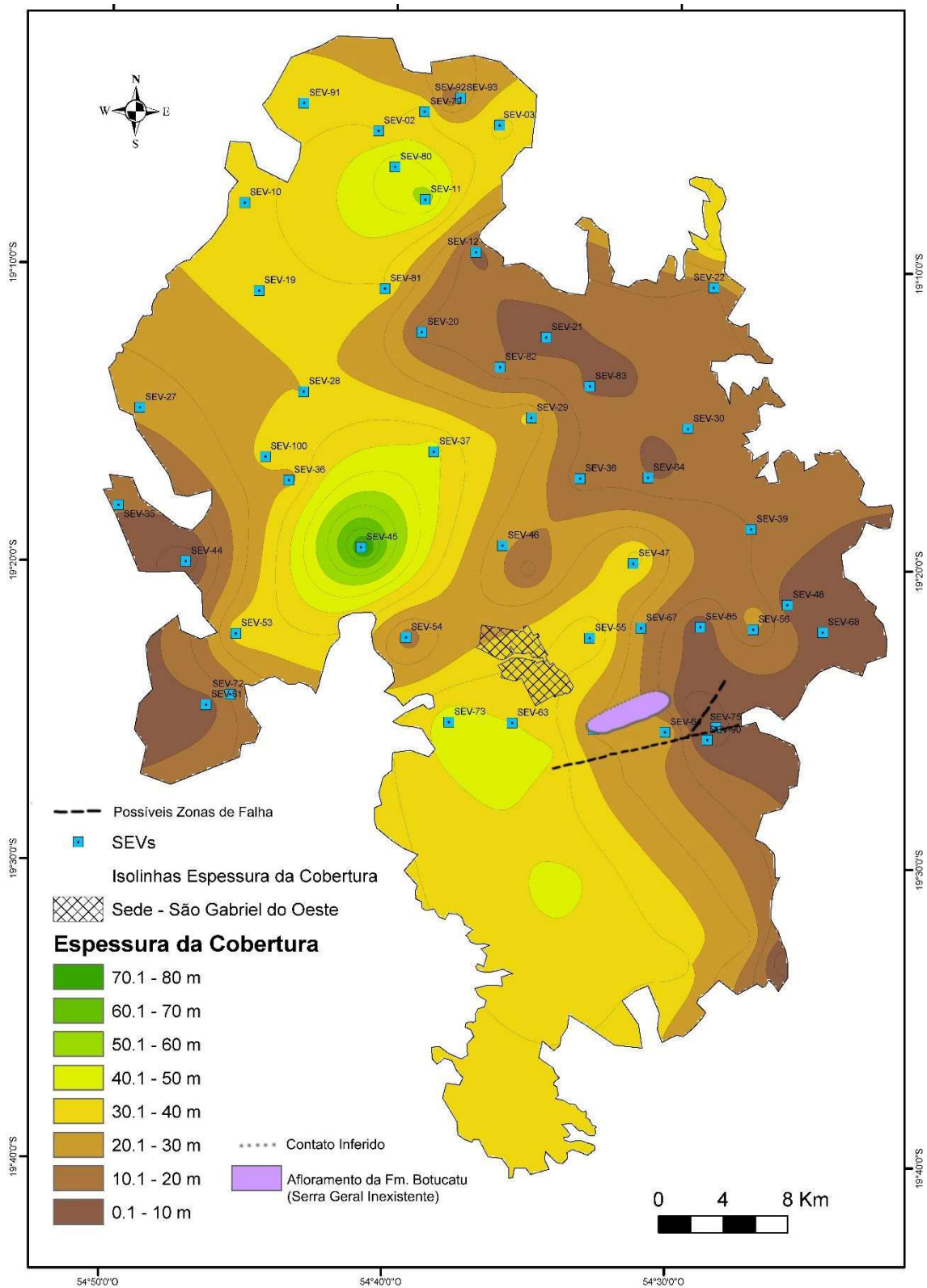


Figura 87. Mapa de isópacas da Cobertura Detrito-Laterítica

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 87).

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 detrito-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 88).

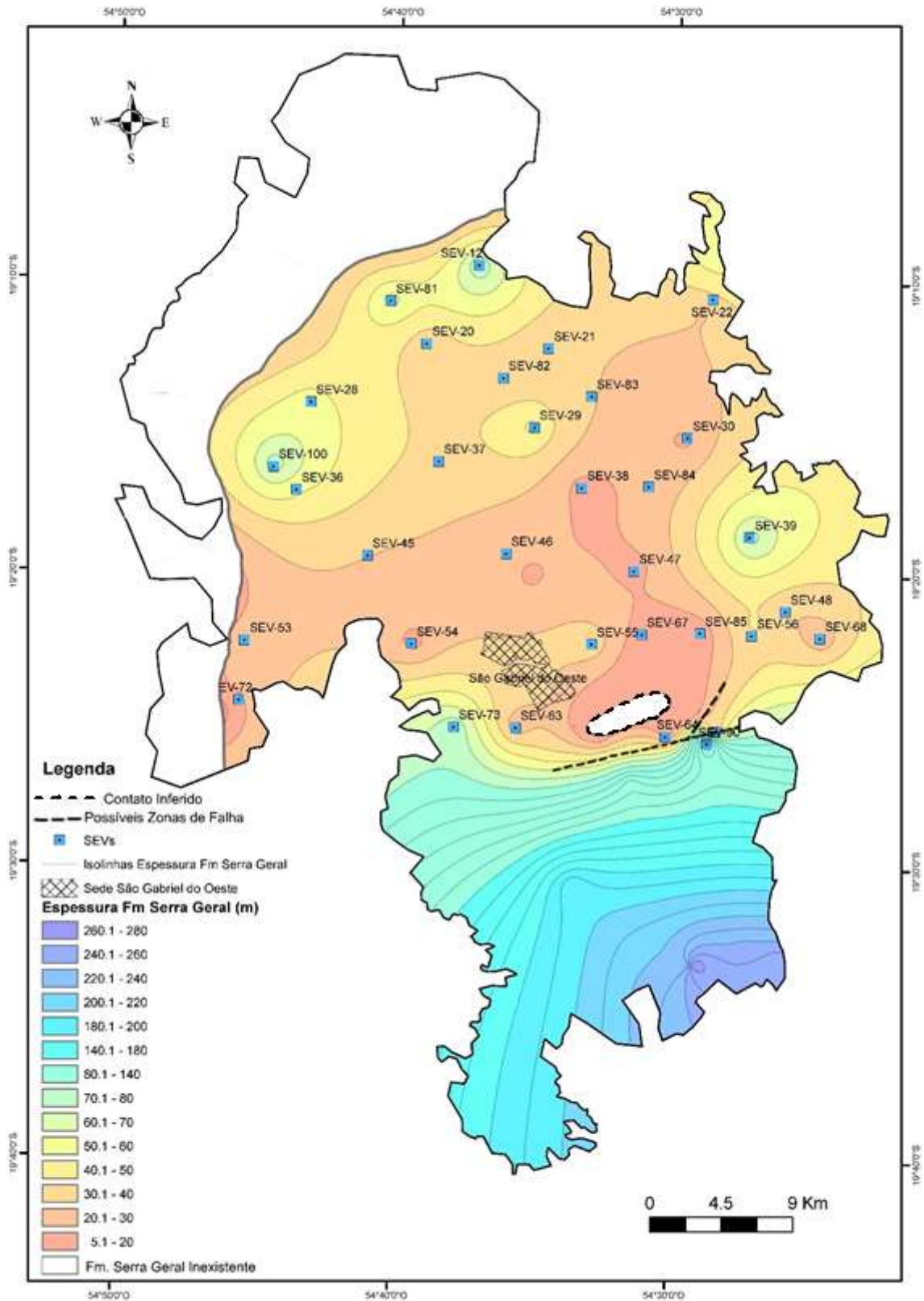


Figura 88. Mapa de isópacas da Formação Serra Geral

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 ao 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.

Observa-se 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 temos um poço da Cooperativa Aurora (Durh nº 016450) com espessura de basaltos de 116 metros e se formos mais 11 quilômetros ao sul na borda do chapadão de SGO na divisa com o Município de Bandeirantes já temos 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 88 com uma linha pontilhada de cor preta.

Com base nestas observações de campo (afloramento 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 proposto pela ANA e mostrado na Figura 17, parece ser mais consistente que o modelo sem a ocorrência de falhas mostrado na Figura 18.

Neste trabalho foi possível a geração do perfil geológico do arcabouço estrutural da área de estudos na direção NNW-SSE (Figura 89). Este perfil é inédito para esta área, mesmo o relatório da ANA 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.

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 (Figura 41) e controle de campo.

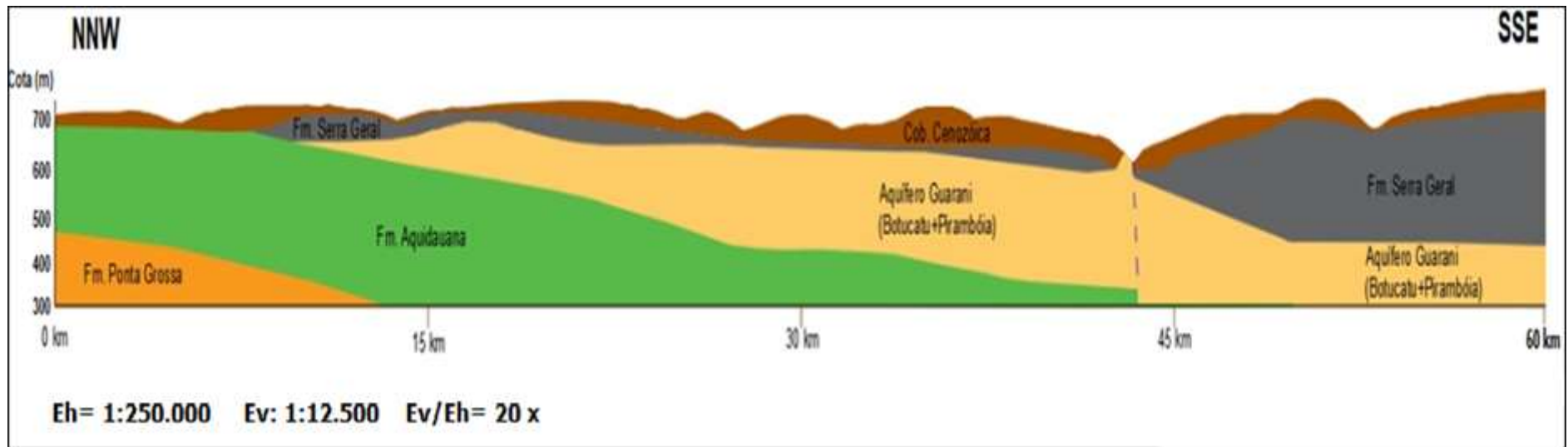


Figura 89. Perfil geológico esquemático NNW-SSE mostrando uma interpretação da configuração estrutural da área de estudos, com a concorrência de falhas (linha pontilhada azul com posição inferida).

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, pois 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 90), o qual está inserido na cobertura detrito-laterítica.

Hidrogeologicamente, esta mudança na potenciometria regional, ao se levar em conta 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 90).

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 na coleta dos dados.

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.

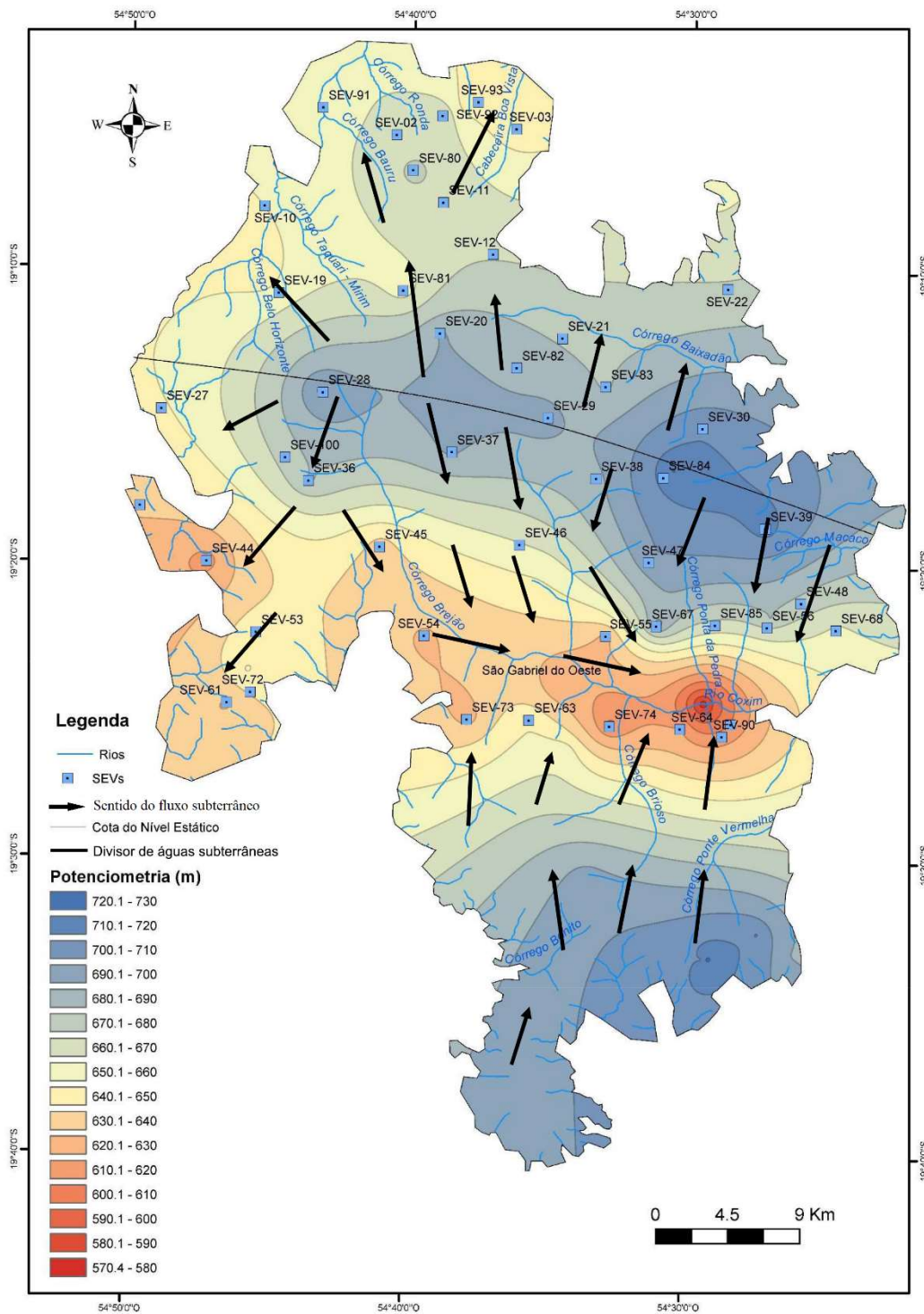


Figura 90. Mapa potenciométrico do aquífero livre existente na área de estudos

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.

5. CONCLUSÕES

Após a finalização dos trabalhos de campo e da aplicação da metodologia aqui proposta, podemos chegar a algumas conclusões importantes, tanto em âmbito geológico e geofísico que foram os objetivos centrais desta tese, 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 detrito-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 detrito-lateríticas com as outras formações subjacentes, podemos salientar que foi possível a detecção e a localização (através do GPR) do contato entre a cobertura detrito-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, mais adequado.

Por fim, quanto à definição do mapa potenciométrico da cobertura detrito-laterítica, gerou-se a potencimetria do aquífero livre existente na área de estudos, 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

RECOMENDAÇÕES

Além destas conclusões, gostaríamos de deixar como indicação 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.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas.** Brasília: ANM, 2023.
- ALEVA, G. J. J. **Laterites: Concept, Geology, Morphology and Chemistry.** ISRIC, Wageningen the Netherlands. 1994.
- 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.
- ANM. **Informe Mineral 03tri2022.** Brasília: 2022.
- BATISTA-RODRÍGUEZ, J. **A magnetic survey of mineral resources in northeastern Cuba.** *Geofísica Internacional*, v. 45, n. 1, p. 39–61, 2006.
- BATTIAU-QUENEY, Y. **A tentative classification of paleoweathering formations based on geomorphological criteria.** *Geomorphology*, v. 16, p. 87–102, 1996.
- BNDES. **NÍQUEL- Novos Parâmetros de Desenvolvimento.**, 2000. Disponível em: www.bndes.gov.br.
- BUSS, H. L. *et al.* **Lithological influences on contemporary and long-term regolith weathering at the Luquillo Critical Zone Observatory.** *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 196, p. 224–251, 2017.
- BUTT, C. R. *et al.* **Regolith sampling for geochemical exploration.** *In:* REGOLITH SCIENCE, 2009.
- 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.
- CHANDRASEKARAN, B. *et al.* **Textbook of Agronomy.** New Age International Limited, Publishers, 2010.
- COSTA, M. L. da. **A importância da lateritização para a formação de depósitos minerais e suas perspectivas para os terrenos brasileiros.** *In:* 2008, Ouro Preto, Minas Gerais. III Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral. Ouro Preto, Minas Gerais, 2008.

COSTA, M. L. da. **Aspectos geológicos dos lateritos da amazônia**. Revista Brasileira de Geociências, v. 21, 1991.

COSTA, M. L. da. **Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização**. 299-344. Prospecção geoquímica, p. 299–344, 2007.

CPRM. **Mapa de geodiversidade do Brasil**.: Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, 2006.

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

CPRM. **Projeto Ouro e Gemas - Frente Rondônia**, 1991.

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.

FERREIRA, G. H. **Litofácies e relações estratigráficas da formação Aquidauana no Nordeste da Bacia do Paraná – são sebastião do paraíso (MG)**. 2011. 63 f. - UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2011.

FRANCKÉ, J. C.; NOBES, D. C. **A preliminary evaluation of GPR for nickel laterite exploration**. In: 2000. 8th International Conference on Ground Penetrating Radar, Gold Coast, 2000. p. 7–12.

FRANCKÉ, J.; PARKINGSON, J. **The New Role of Geophysics in Nickel Laterite Exploitation and Development**. In: 2000. Mining Millennium / PDAC Conference Proceedings, Toronto. 2000.

GAMA, M. F. P. *et al.* **Geophysics applied to the mapping of natural caves hosted in iron ore in Carajás (PA), Brazil**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 37, n. 3, p. 249–262, 2019.

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.

HERRERA, I. L. I. E. *et al.* **Técnica booleana aplicada à identificação de crostas lateríticas no Sudoeste da Amazônia brasileira**. Rev. Bras. Geomorfologia, v. 18, n. 2, p. 411–425, 2017.

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.

IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, 1981.

ISSMFE, C. on T. S. **Peculiarities of Geotechnical Behaviour of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils**. Theme 3 .1 – Erosion. São Paulo: [s. n.], 1985.

KER, J. C. *et al.* **Pedologia:fundamentos**. In: 2012, Viços, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viços, MG: [s. n.], 2012.

LASTORIA, G. **Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul**. 2002. 133 f. - UNESP – Rio Claro, 2002.

MACHADO, L. E. G.; LIMA, C. V. de; VIEIRA, P. A. **Delimitação das formações ferruginosas da bacia do Rio Vermelho (GO)**. In: 2011. VIII Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão - Conpeex 2011. 2011. p. 1–5.

MAGALHÃES, G. G. **Análise eletrorresistiva de materiais lateríticos no campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto - MG**. 2021. 72 f., 2021.

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.

MESQUITA, P. P. D.; CARVALHO, P. S. L. de;; OGANDO, L. D. **Desenvolvimento e inovação em mineração e metais**. BNDES, Rio de Janeiro, p. 325–361, 2016. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/inovacao-tecnologia-mineracao-metais>. Acesso em: 28 mar. 2023.

MEYBECK, M. **Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads**. American Journal of Science, v. 287, n. 5, p. 401–428, 1987.

MILANI, E. J. *et al.* **Bacia do Paraná**. Rio de Janeiro: 2007.

MIRANDA, C. de S. *et al.* **Uso de sistemas de informação geográfica (sig) na modelagem da vulnerabilidade de aquífero livre: comparação entre os métodos GOD e EKV na bacia do Rio Coxim, São Gabriel do Oeste, MS, Brasil**. Geociências - UNESP (SP), v. 34, n. 2, p. 312–322, 2015.

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.

NOGUEIRA, J. **Boletim técnico**. São Paulo, 1985.

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.

PARKINSON, J. G. **Geophysical Site Characterization in Tropical Weathering Profiles**. *In*: 1998, Vancouver. 8th Congress of International Association of Engineering Geology. Vancouver: [s. n.], 1998. p. 103–110.

PERIC, M. **Exploration of Burundi nickeliferous laterites by electrical methods**. Geophysical prospecting, v. 29, p. 274–287, 1981.

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

QUADROS, M. L. D. E. S.; RIZZOTTO, G. J. **Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Rondônia: escala 1:1.000.000**. Porto Velho: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2007.

QUEEN, L. D. *et al.* **The Integration Of Ground Penetrating Radar In Resource Delineation For Nickel Laterites In Papua New Guinea-Fiji**. *In*: 1998. he Pacific Exploration Technologies'98 Symposium. , 1998.

RUTHERFORD, J. *et al.* **Relationship between regolith materials, petrophysical properties, hydrogeology and mineralisation at the Cawse Ni laterite deposits, Western Australia - implications for exploring with airborne EM**. Exploration Geophysics, v. 32, n. 4, p. 160–170, 2001.

SANTOS, S. L. M. dos; JUSTINA, E. E. D.; FERREIRA, M. M. **Mapeamento geomorfológico da Bacia do Igarapé Belmont Porto Velho – Rondônia**. Revista Brasileira De Geomorfologia, v. 13, n. 3, 2012.

Soares, A. P; Soares, P. C; Holz, M. **Heterogeneidades hidroestratigráficas no Sistema Aquífero Guarani**. Revista Brasileira de Geociências. v:38(4), p: 598-617, 2008.

SHELLMANN, W. Considerations on the definition and classification of laterites. *In*: 1981. **Proceedings of the International Seminar on Lateritisation Processes, IGCP 129 and IAGC, Trivandrum, India.**: ford and IBH Publishing Company, 1981. p. 1–10.

SCOTT, K.; PAIN, C. **Regolith Science**. 2009.

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.

SILVA, A. de Q. da. **Avaliação de imagens SAR no mapeamento de crostas lateríticas do depósito N1, província mineral de Carajás, Pará**. 2010. 233 f. - INPE, 2010.

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.

STALLARD, R.; EDMOND, J. **Geochemistry of the Amazon: The Influence of Geology and Weathering Environment on the Dissolved Load**. Journal of Geophysical Research, v. 88, p. 9671–9688, 1983.

TARDY, Y. **Pétrologie des latérites et des sols tropicaux**. Paris: Masson, 1993.

THURSTON, E. **The Madras Presidency, with Mysore, Coorg and the Associated States. Provincial Geographies of India**. Cambridge: The Madras Presidency, With Mysore, Coorg and the Associated States, 1913. *E-book*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Laterita#cite_note-4.

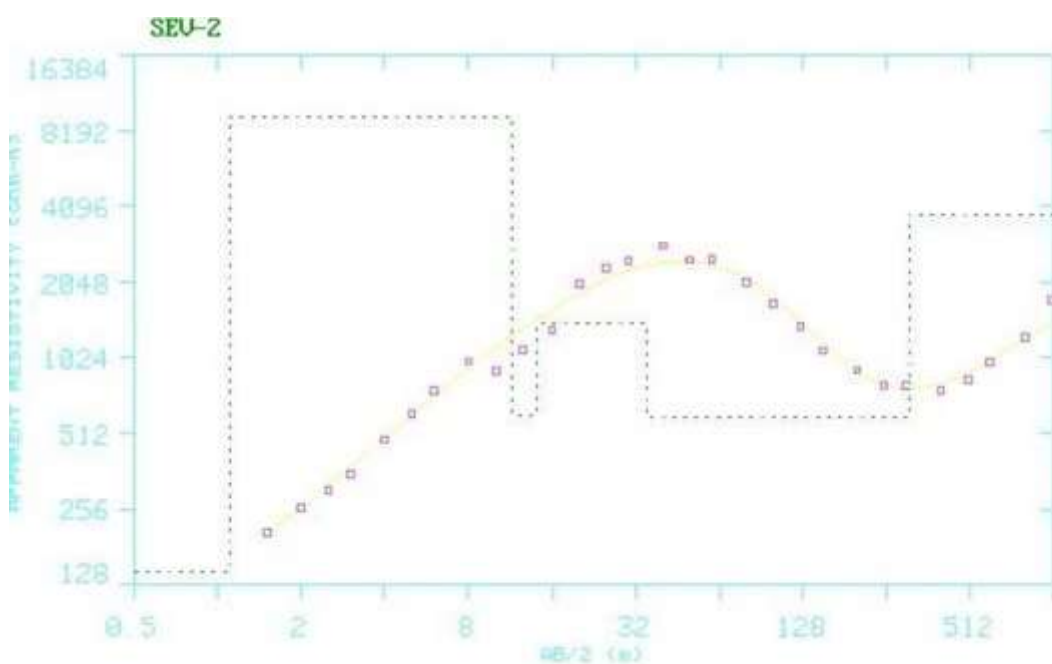
TRICART, J. **Cartographie géomorphologique**. Annales de Géographie, v. 81, n. 448, p. 751–753, 1972.

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.

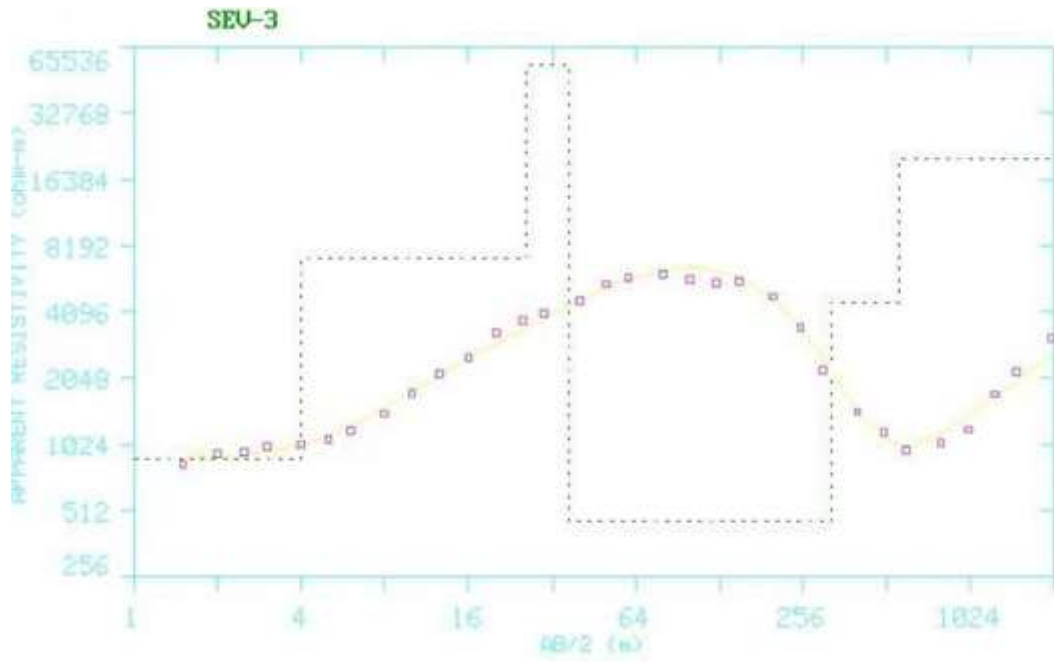
UNICAMP. **Lateritas – múltiplas definições, múltiplos usos**, 2021. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/pedologia/tag/geomorfologia>. Acesso em: 13 maio 2022.

Anexo I – Sondagens Elétricas Verticais processadas e interpretadas

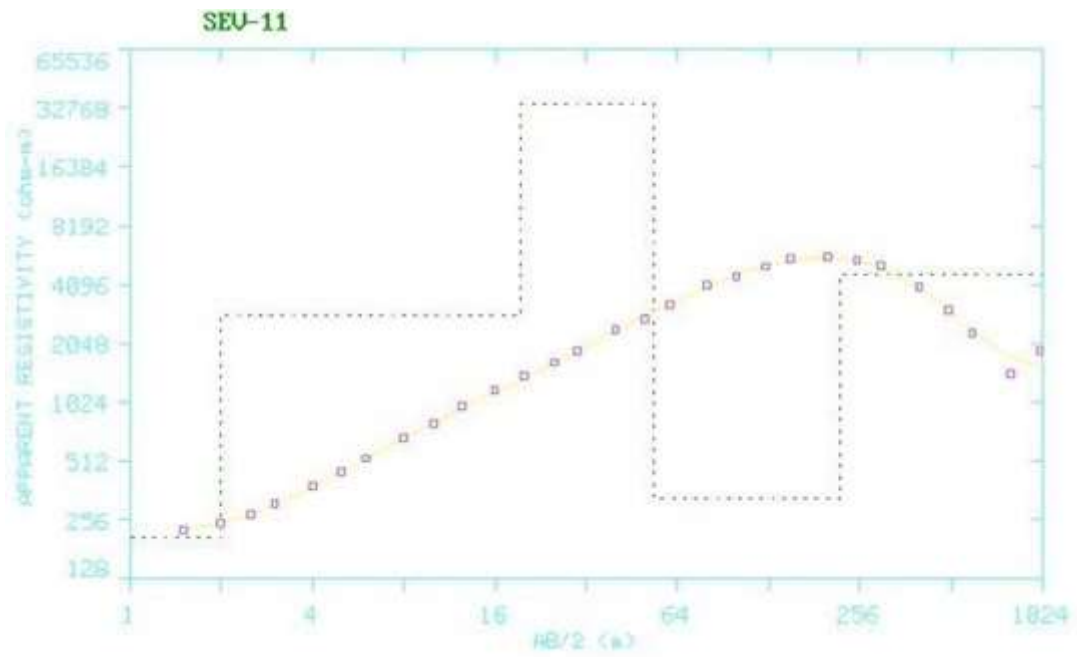
Analisando a geologia local, dados de poços, os dados de campo e a curva de melhor ajuste, podemos inferir um modelo geológico para cada SEV, modelo do qual se obtêm as configurações dos extratos geológicos para cada local. A descrição das litologias, espessuras e resistividades para cada SEV se encontra no quadro abaixo de cada curva.



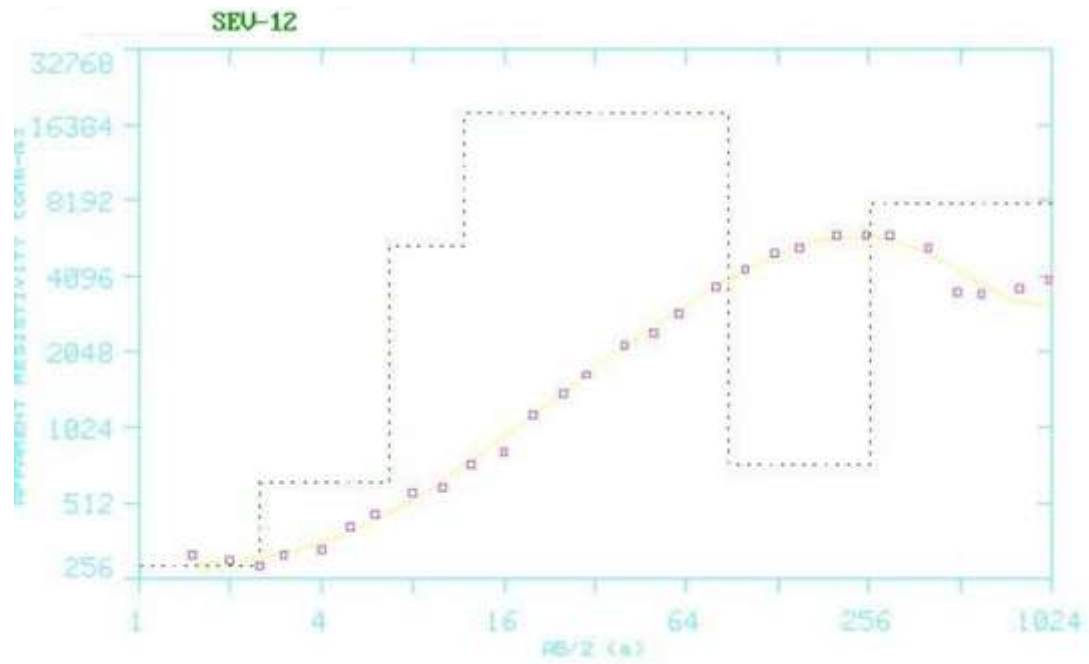
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	35	35	2000
Formação Aquidauana	35	260	225	1400
Formação Ponta Grossa	260	Indefinida	Indefinida	4000



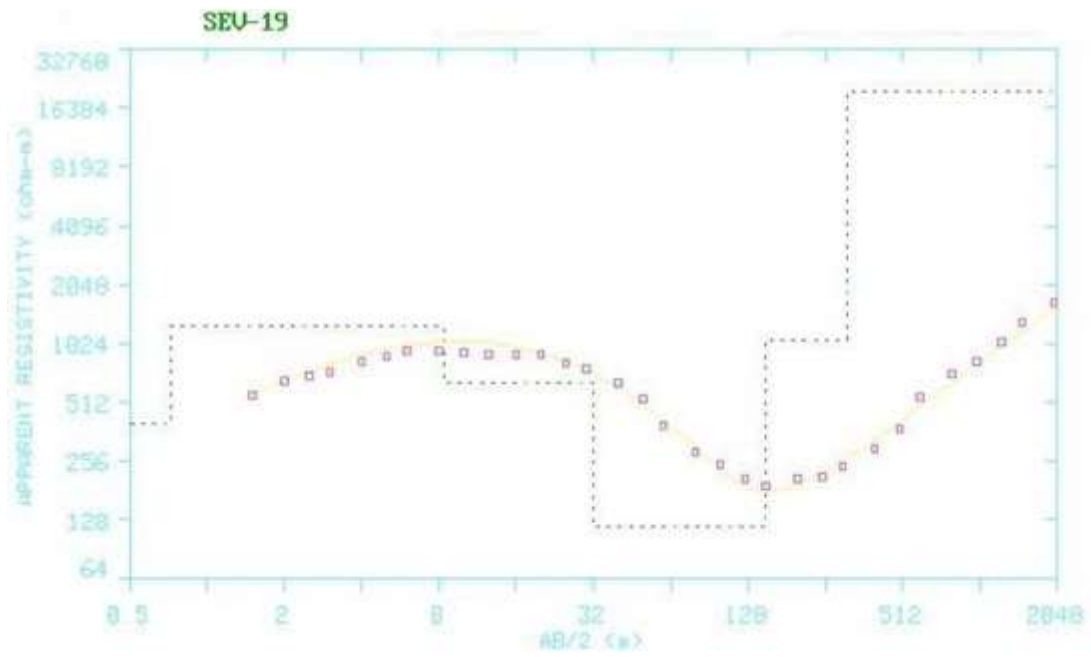
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	37	37	2000
Formação Aquidauana	37	293	256	1000
Formação Ponta Grossa	293	Indefinida	Indefinida	4500



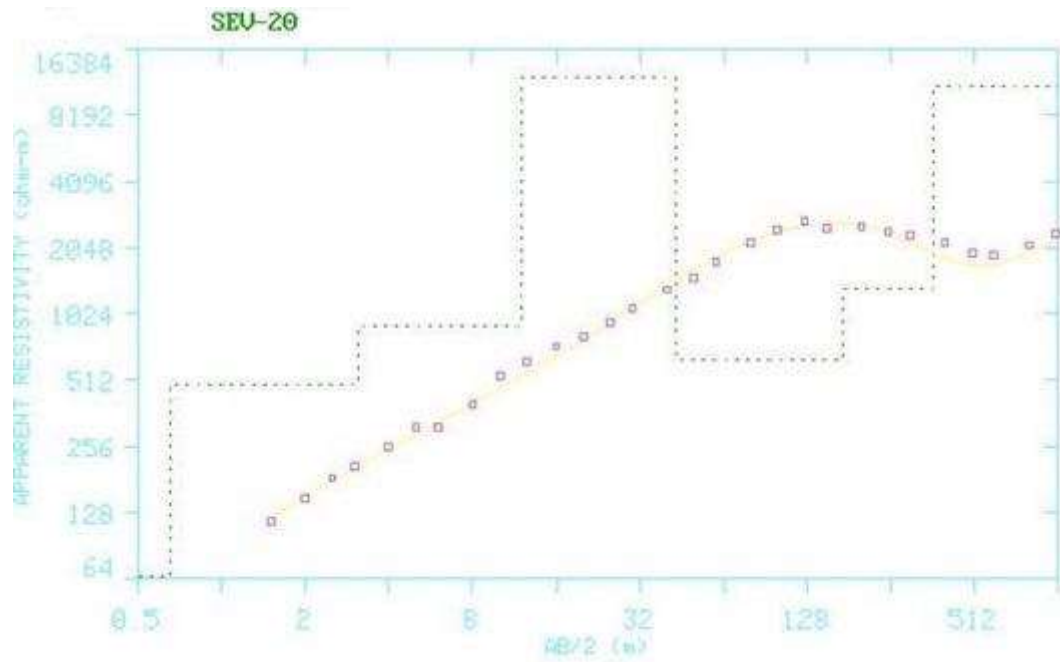
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica laterítica	0	54	54	2500
Formação Aquidauana	54	250	196	1500
Formação Ponta Grossa	250	Indefinida	Indefinida	4600



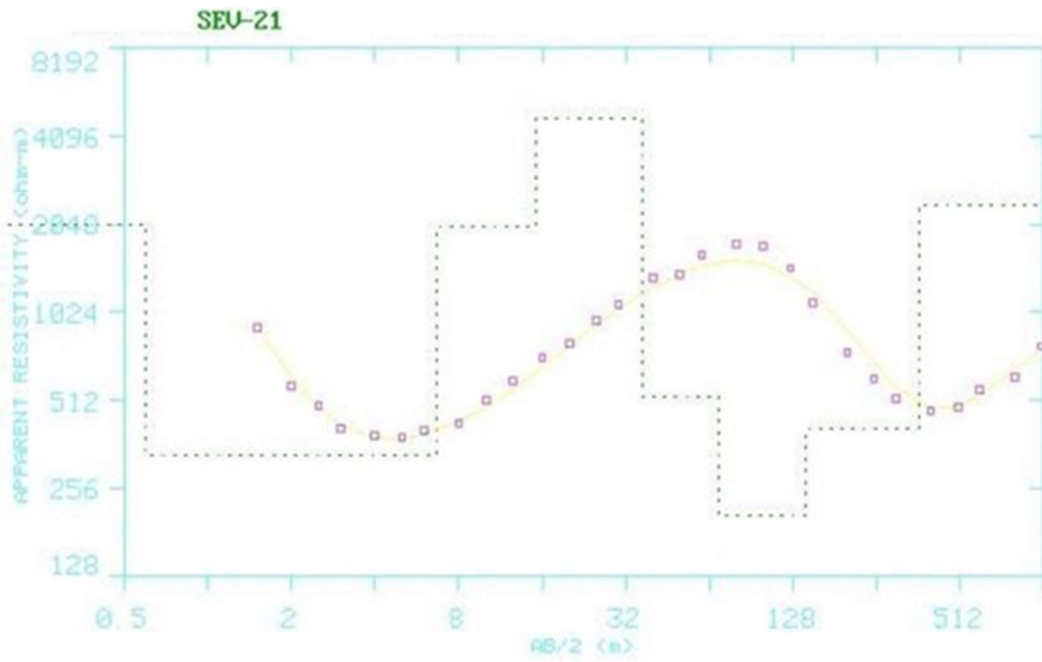
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	7	7	900
Formação Serra Geral	7	88	81	5000
Aquífero Guarani	88	258	170	700
Formação Aquidauana	258	Indefinida	Indefinida	7000



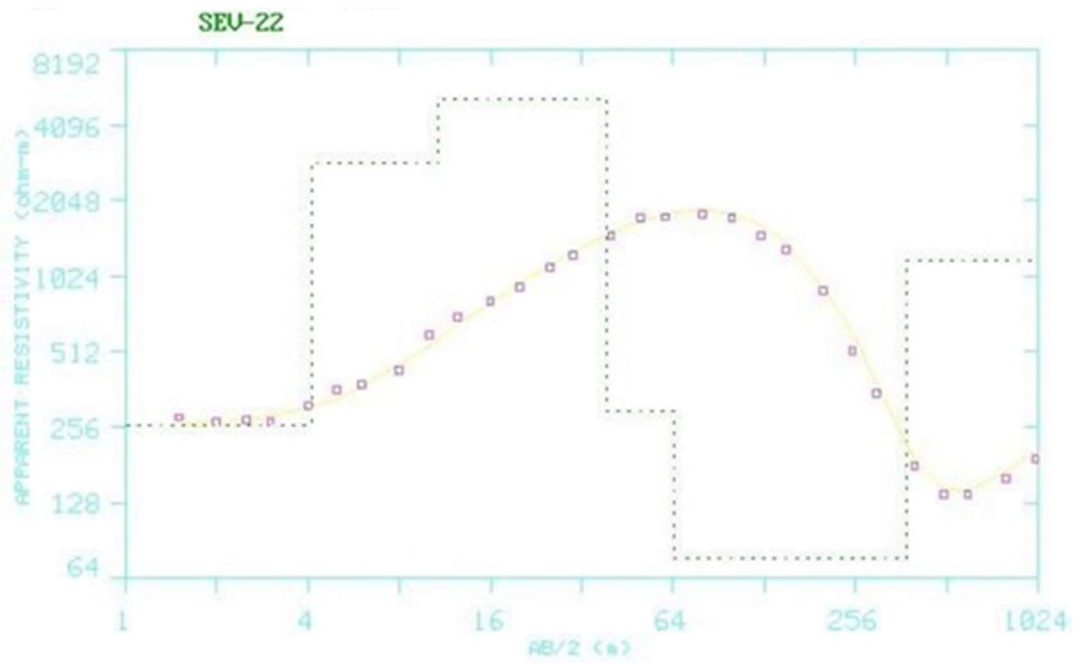
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	32	32	800
Aquífero Guarani	32	122	90	120
Fm. Estrada Nova	122	167	45	1000
Formação Aquidauana	167	Indefinida	Indefinida	8000



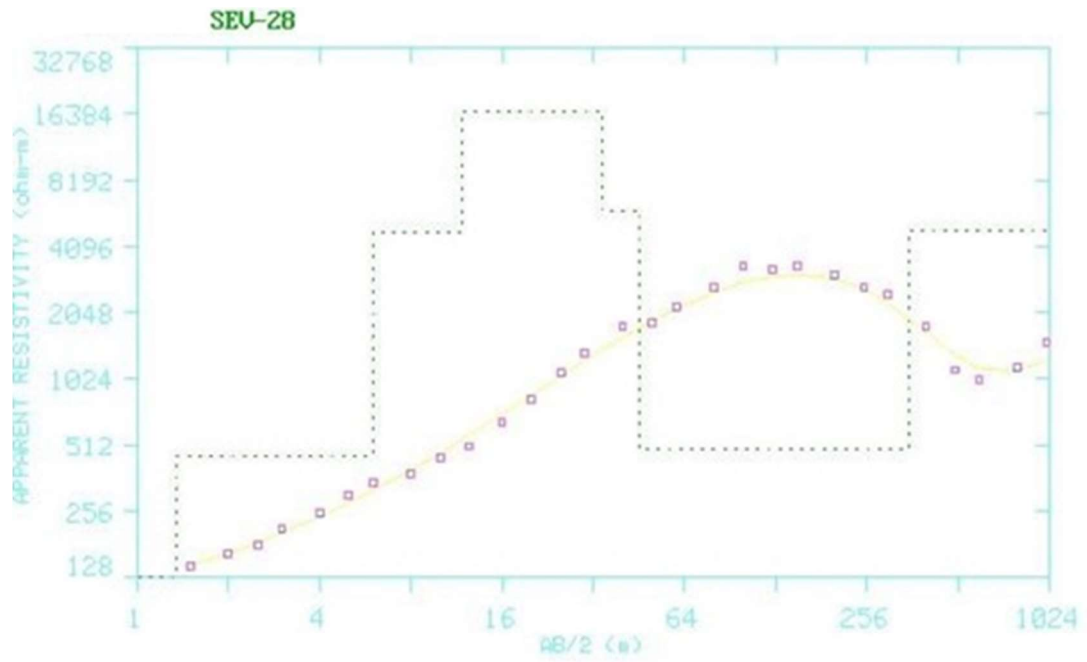
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	12	12	800
Formação Serra Geral	12	43	31	6000
Aquífero Guarani	43	273	230	600
Formação Aquidauana	230	Indefinida	Indefinida	4000



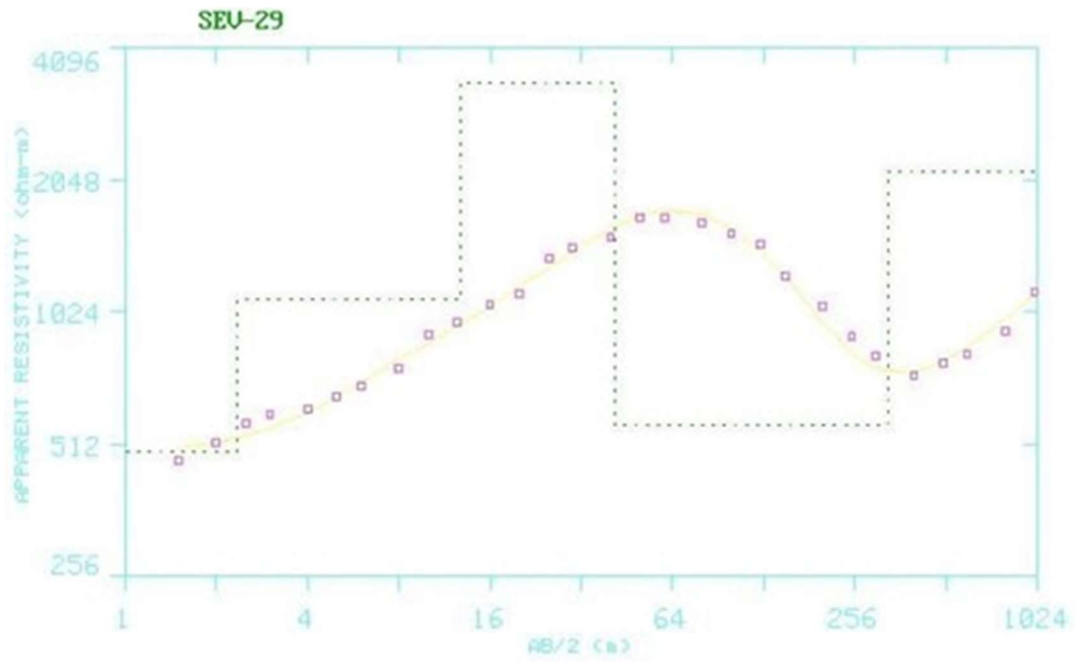
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	7	7	680
Formação Serra Geral	7	37	30	4500
Aquífero Guarani	37	200	163	500
Formação Aquidauana	200	Indefinida	Indefinida	3000



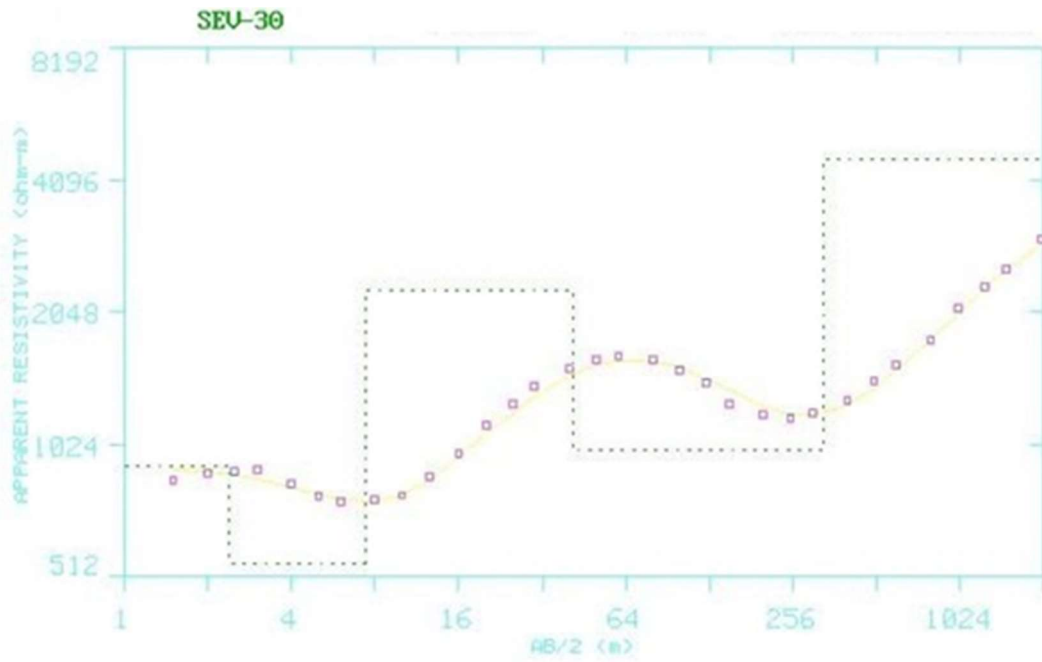
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	10	10	300
Formação Serra Geral	10	39	29	5000
Aquífero Guarani	39	312	273	300
Formação Aquidauana	312	Indefinida	Indefinida	2500



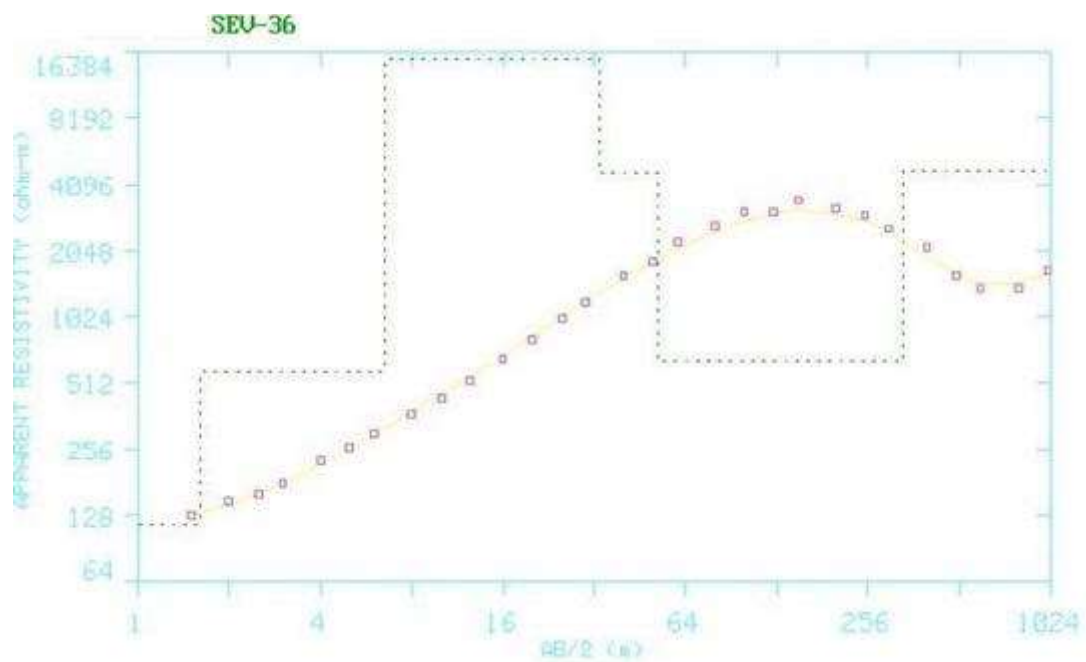
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	30	30	600
Formação Serra Geral	30	85	55	6000
Formação Estrada Nova	85	145	60	1100
Formação Aquidauana	145	Indefinida	Indefinida	3500



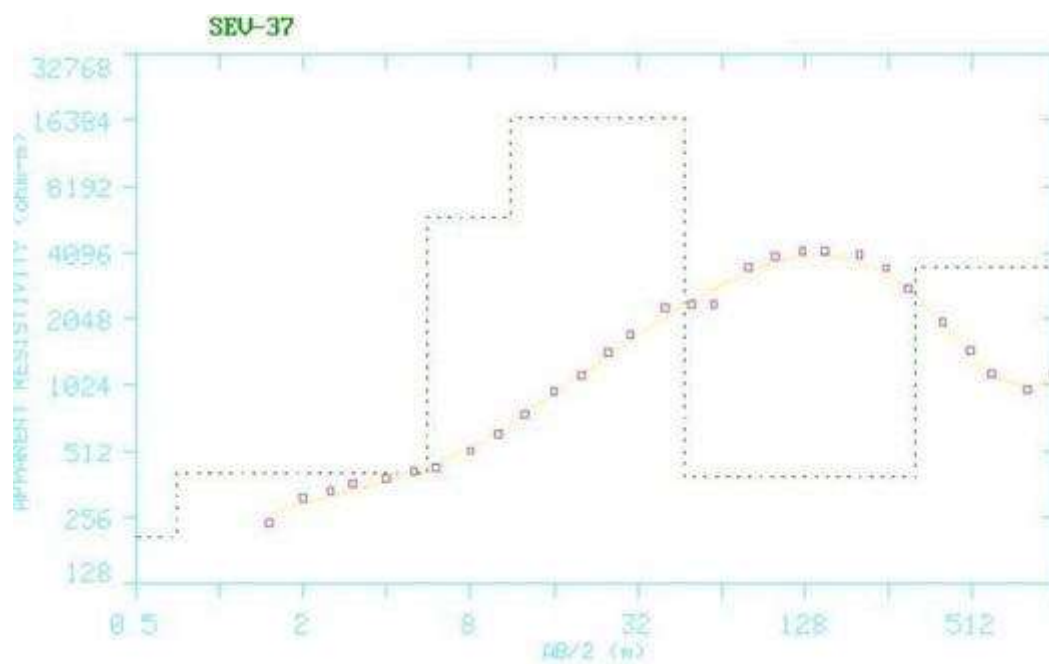
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	32	32	850
Formação Serra Geral	32	85	53	4800
Aquífero Guarani	85	130	45	600
Formação Aquidauana	130	Indefinida	Indefinida	3000



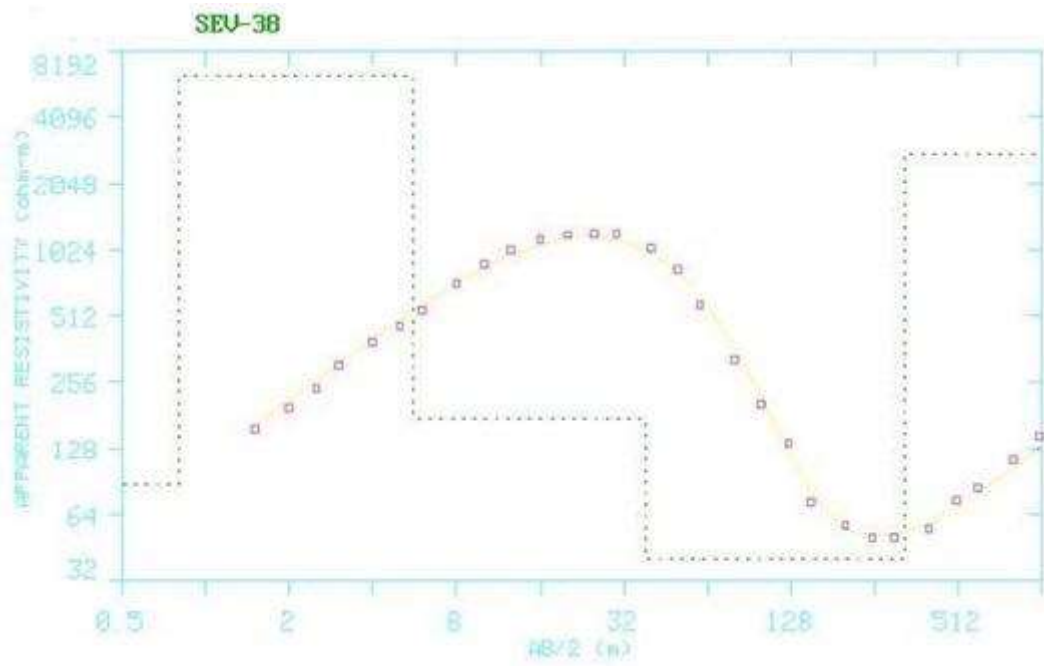
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	12	12	800
Formação Serra Geral	12	30	18	4000
Aquífero Guarani	30	220	190	700
Formação Aquidauana	220	Indefinida	Indefinida	4000



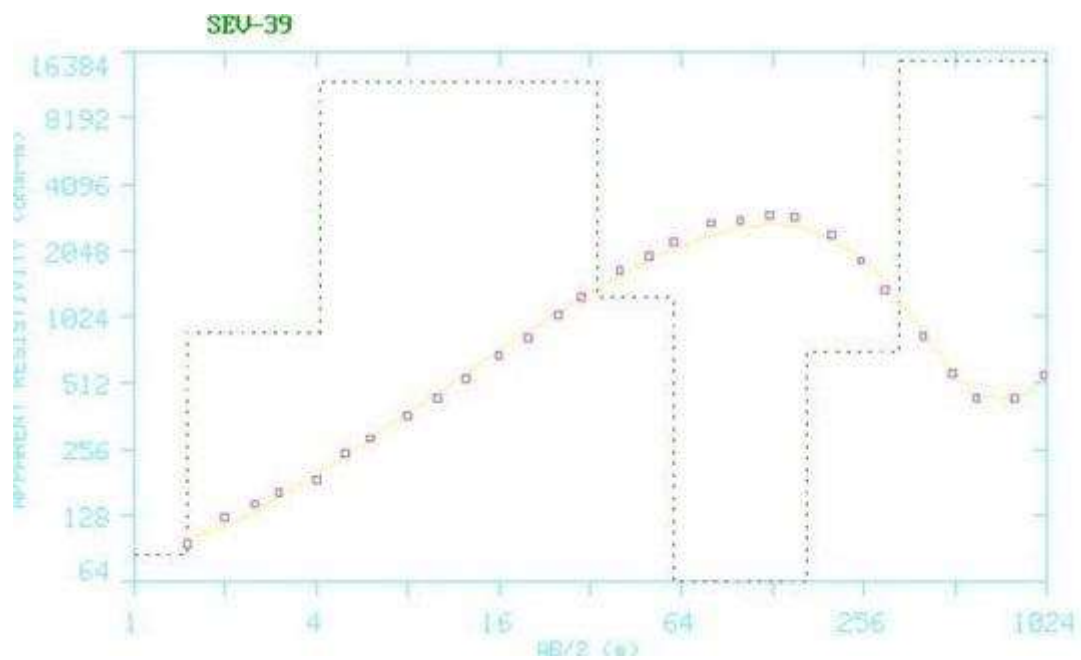
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	28	28	450
Formação Serra Geral	28	80	52	6100
Formação Estrada Nova	80	148	68	1000
Formação Aquidauana	148	Indefinida	Indefinida	3800



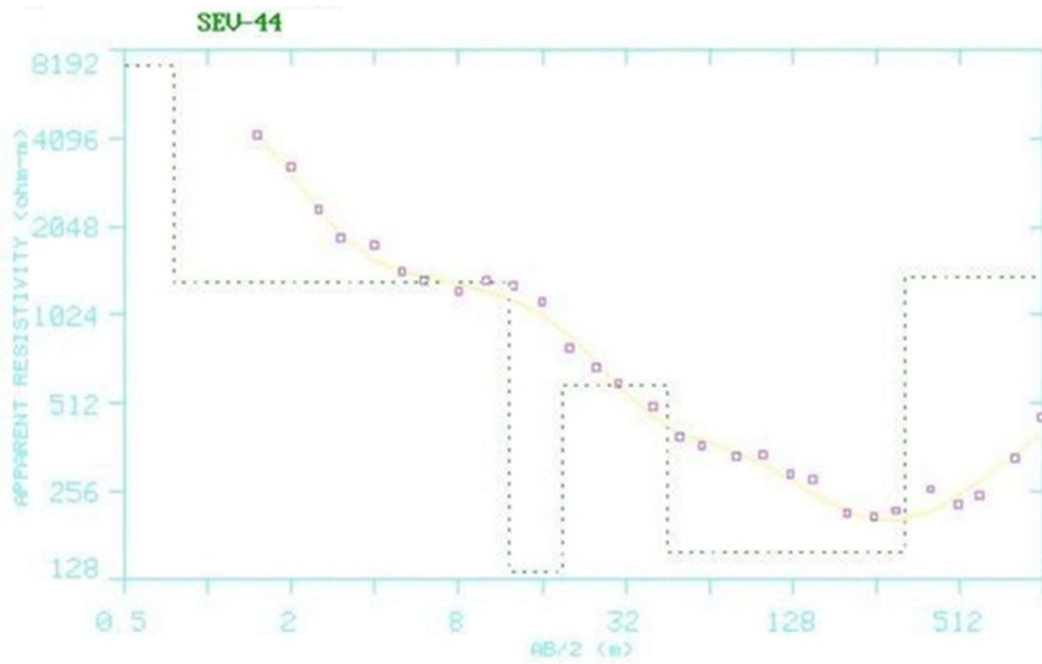
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	42	42	900
Formação Serra Geral	42	80	38	6500
Aquífero Guarani	80	290	210	680
Formação Aquidauana	290	Indefinida	Indefinida	3500



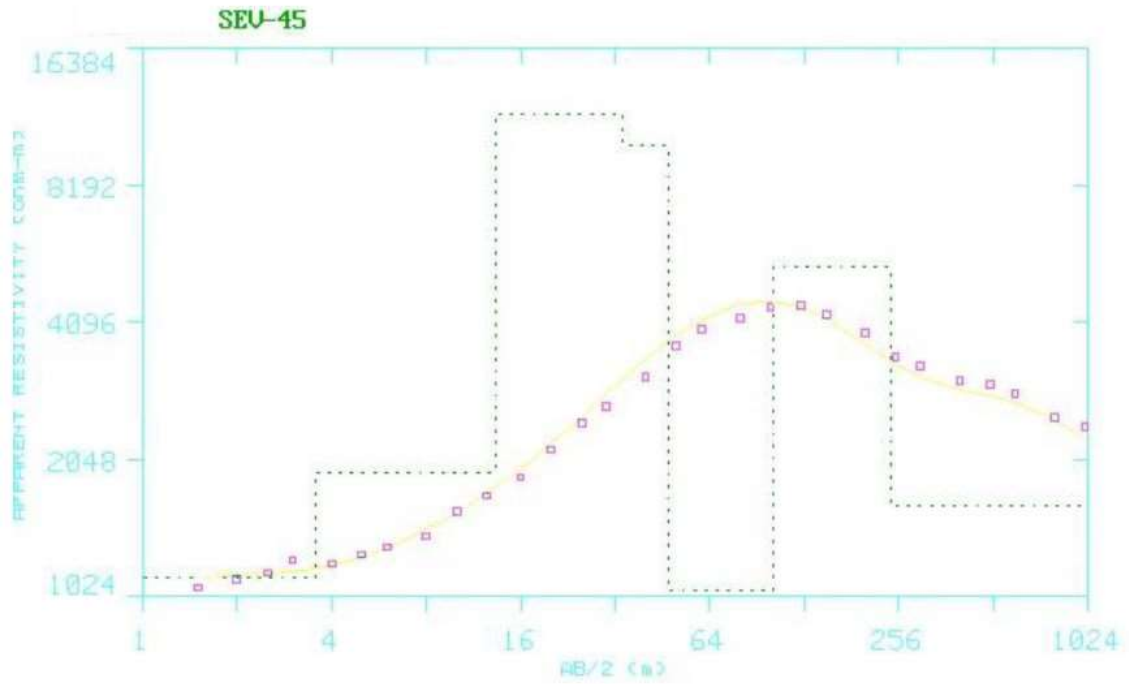
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	12	12	450
Formação Serra Geral	12	28	16	4000
Aquífero Guarani	28	250	232	680
Formação Aquidauana	250	Indefinida	Indefinida	3500



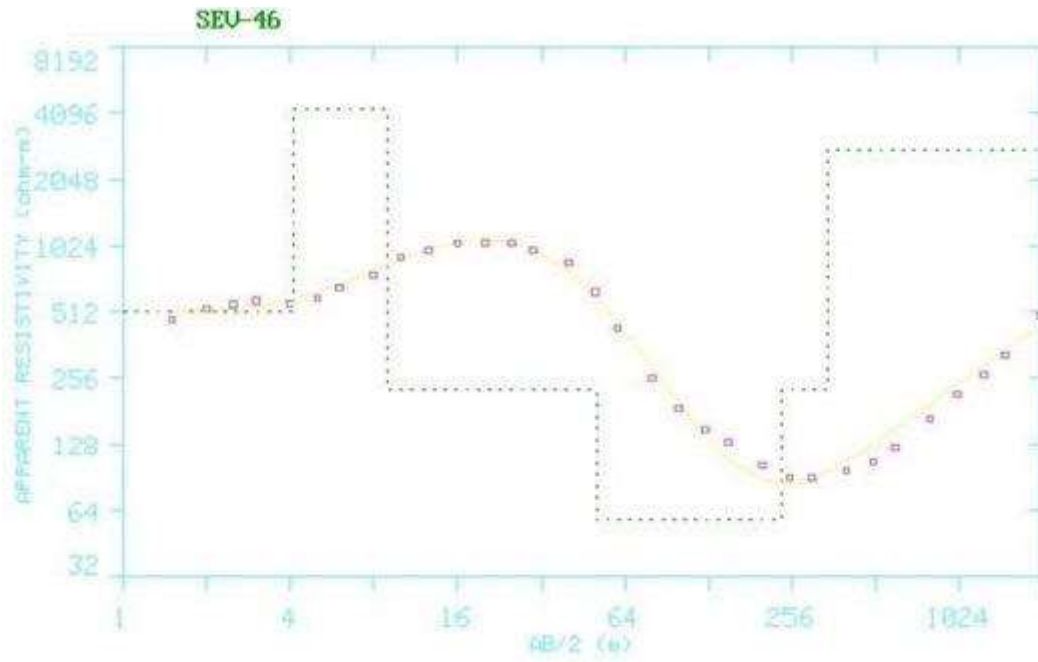
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	15	15	300
Formação Serra Geral	15	90	75	6000
Aquífero Guarani	90	375	285	450
Formação Aquidauana	375	Indefinida	Indefinida	3300



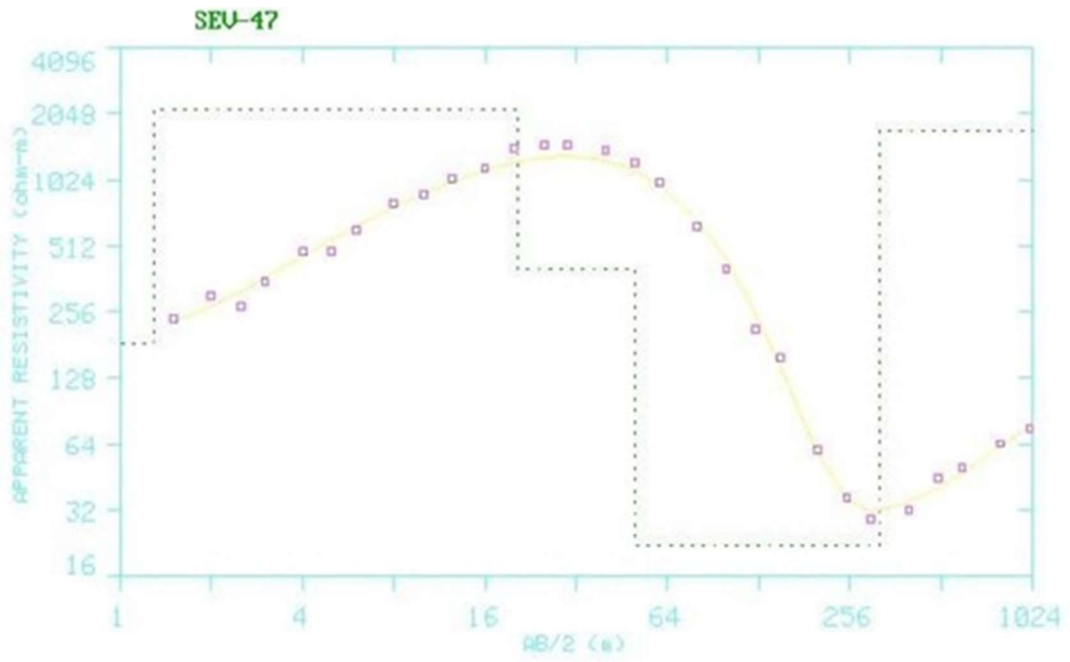
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Formação Estrada Nova	0	15	15	1700
Formação Aquidauana (Saturada)	15	245	230	800
Formação Ponta Grossa	245	Indefinida	Indefinida	2000



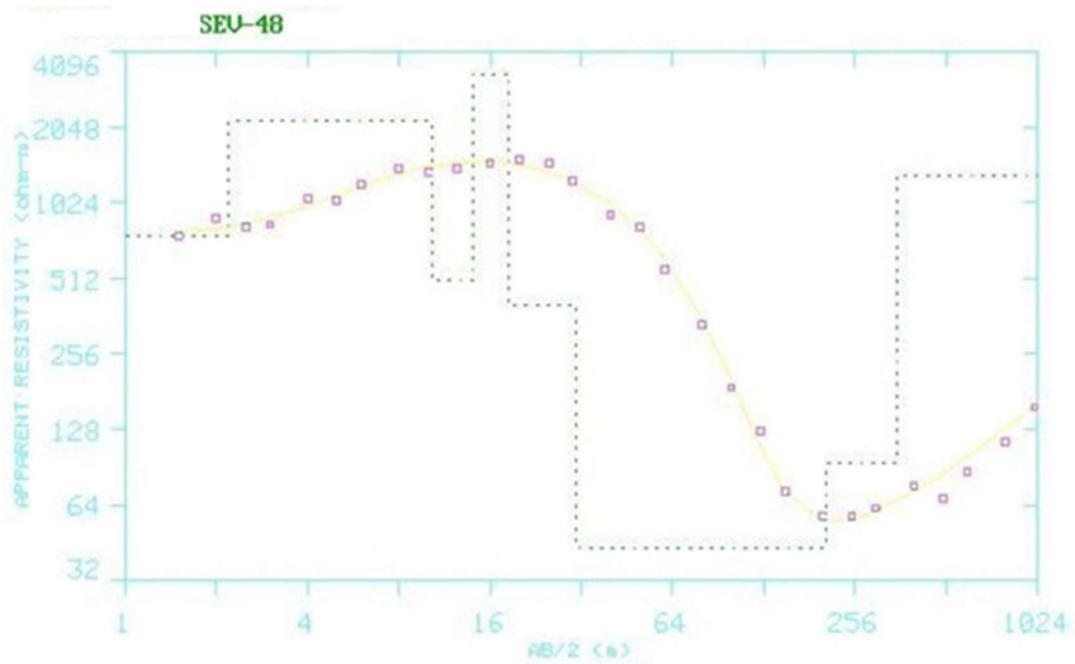
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	80	80	1000
Formação Serra Geral	80	110	30	6500
Formação Estrada Nova	110	150	40	1800
Formação Aquidauana	150	Indefinida	Indefinida	2500



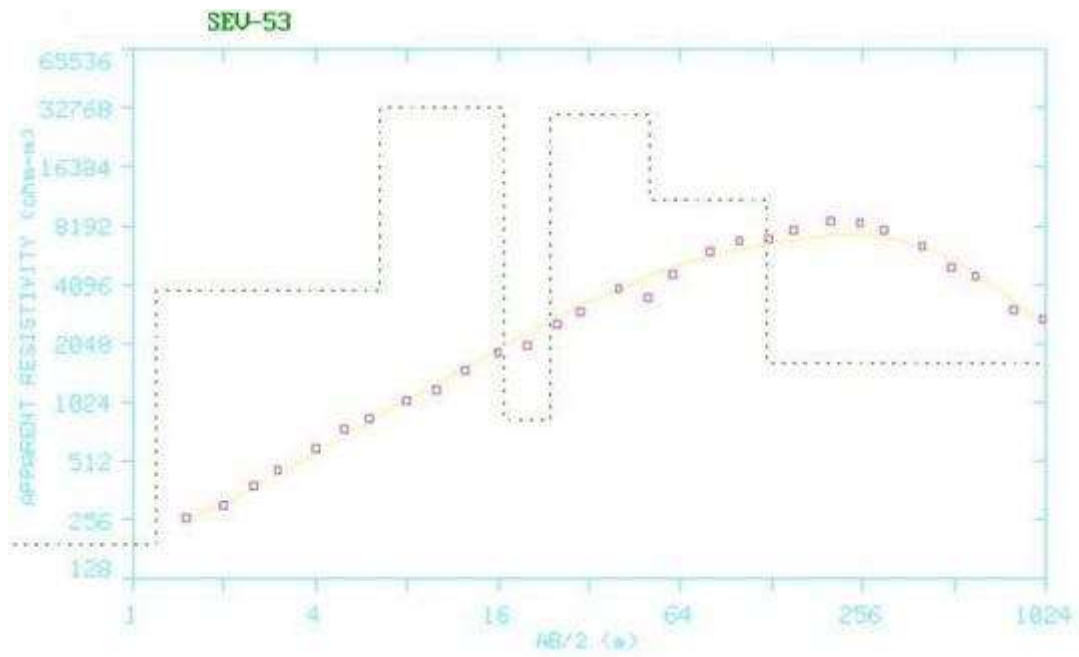
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	12	12	500
Formação Serra Geral	12	30	18	2500
Aquífero Guarani	30	240	210	100
Formação Aquidauana	240	Indefinida	Indefinida	3000



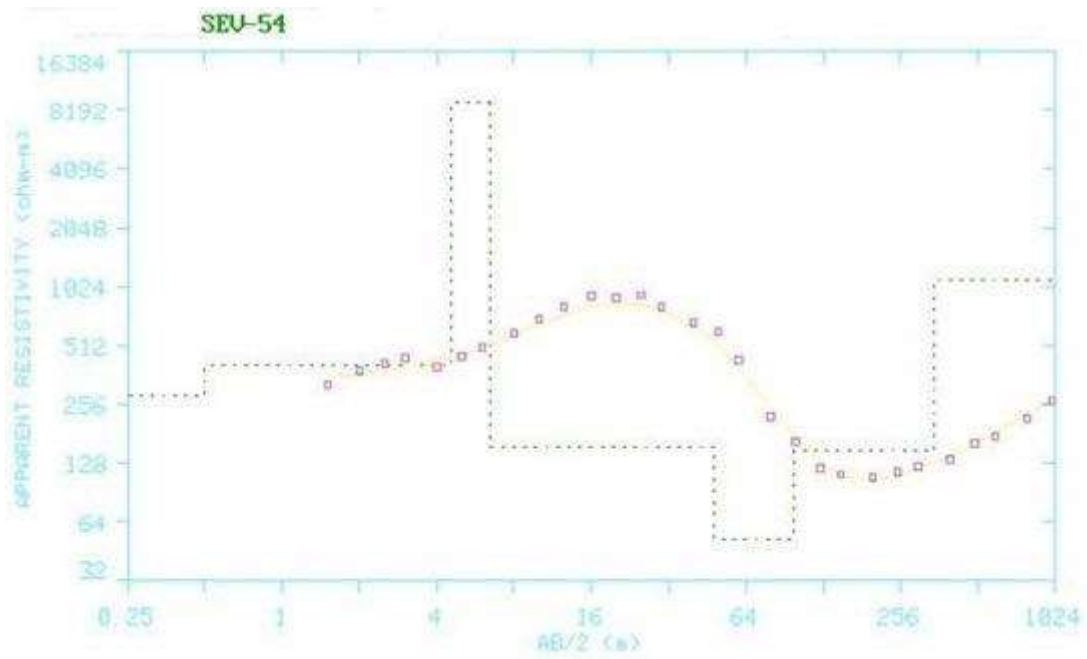
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	38	38	600
Formação Serra Geral	38	55	17	2500
Aquífero Guarani	55	240	185	60
Formação Aquidauana	240	Indefinida	Indefinida	2000



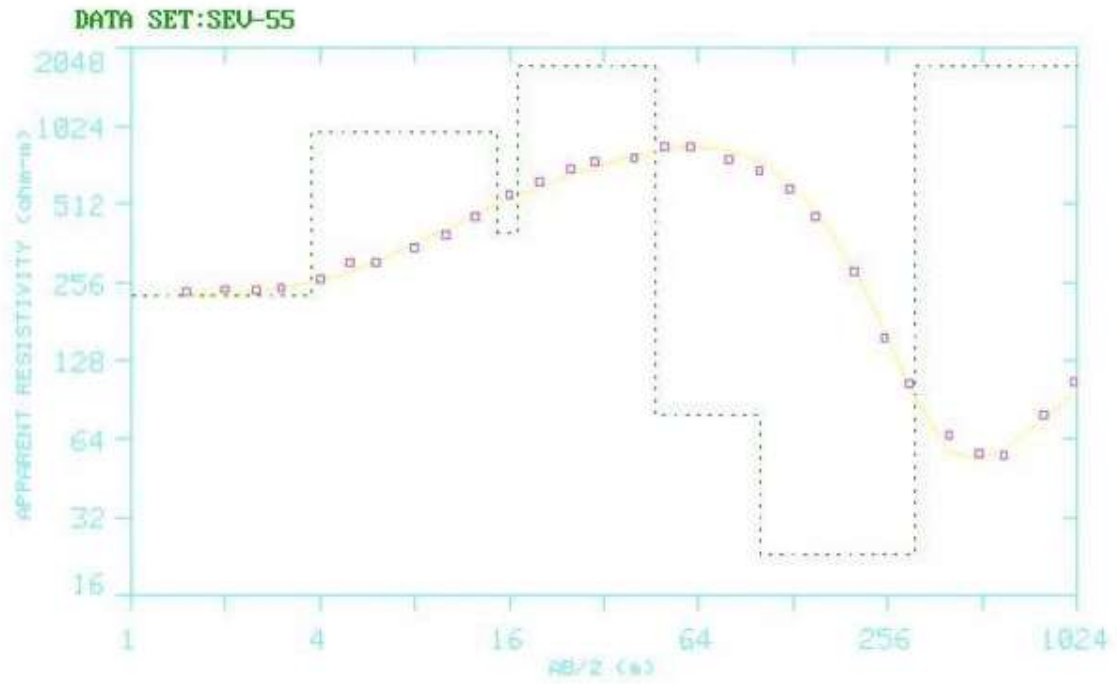
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	5	5	800
Formação Serra Geral	5	35	30	2500
Aquífero Guarani	35	220	185	60
Formação Aquidauana	220	Indefinida	Indefinida	2000



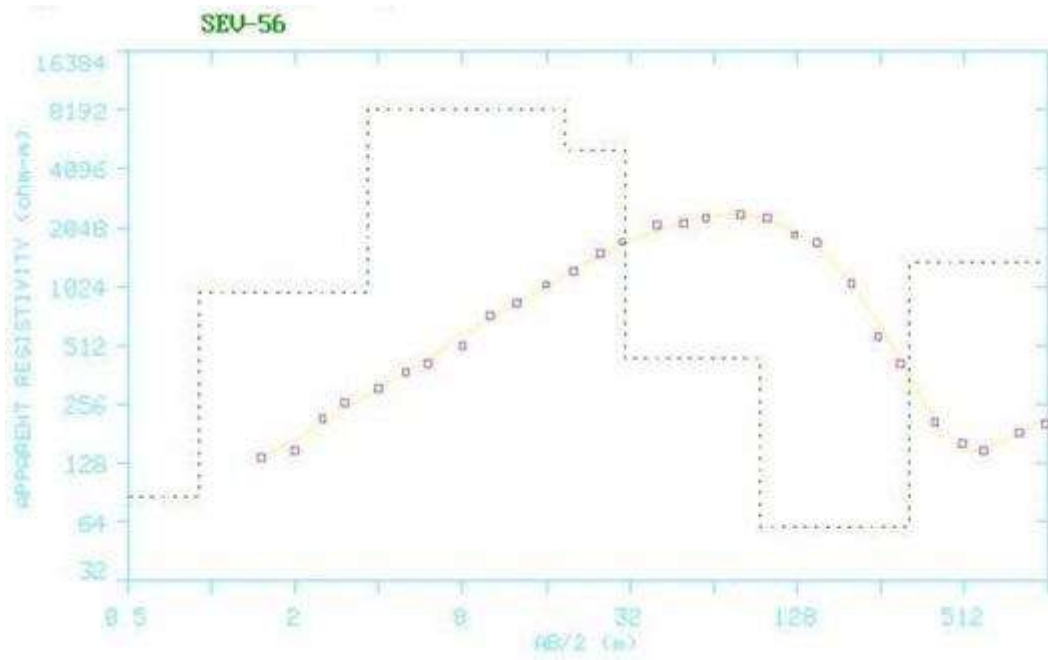
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	35	35	700
Formação Serra Geral	35	60	25	9000
Formação Aquidauana	60	380	320	2500
Formação Ponta Grossa	380	Indefinida	Indefinida	4000



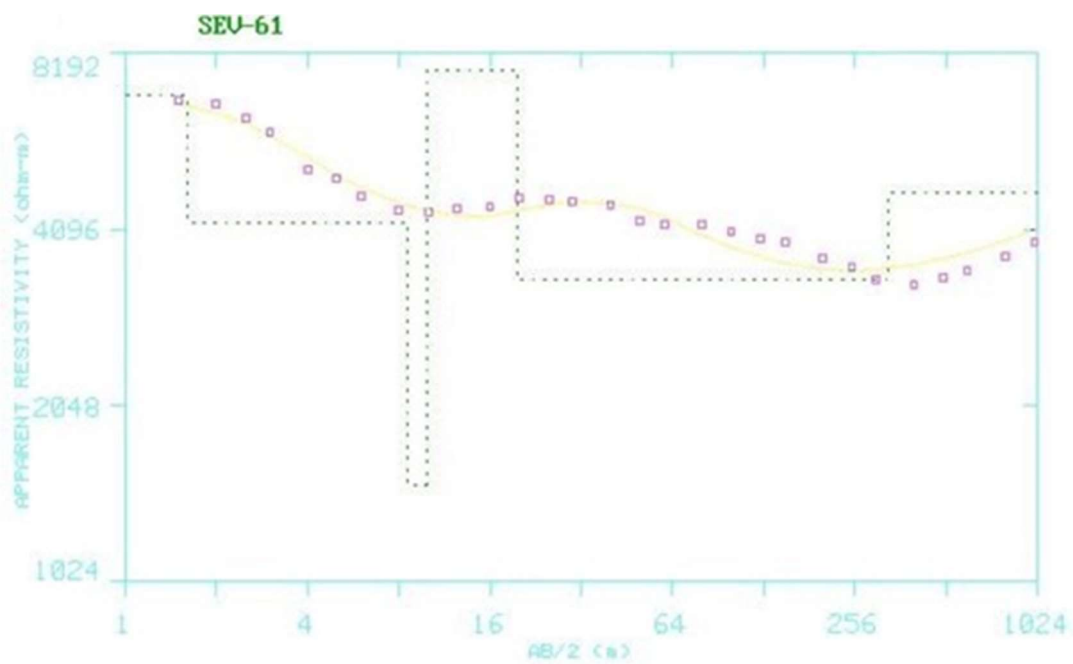
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	15	15	400
Formação Serra Geral	15	31	16	2000
Aquífero Guarani	31	131	100	200
Formação Aquidauana	131	Indefinida	Indefinida	2000



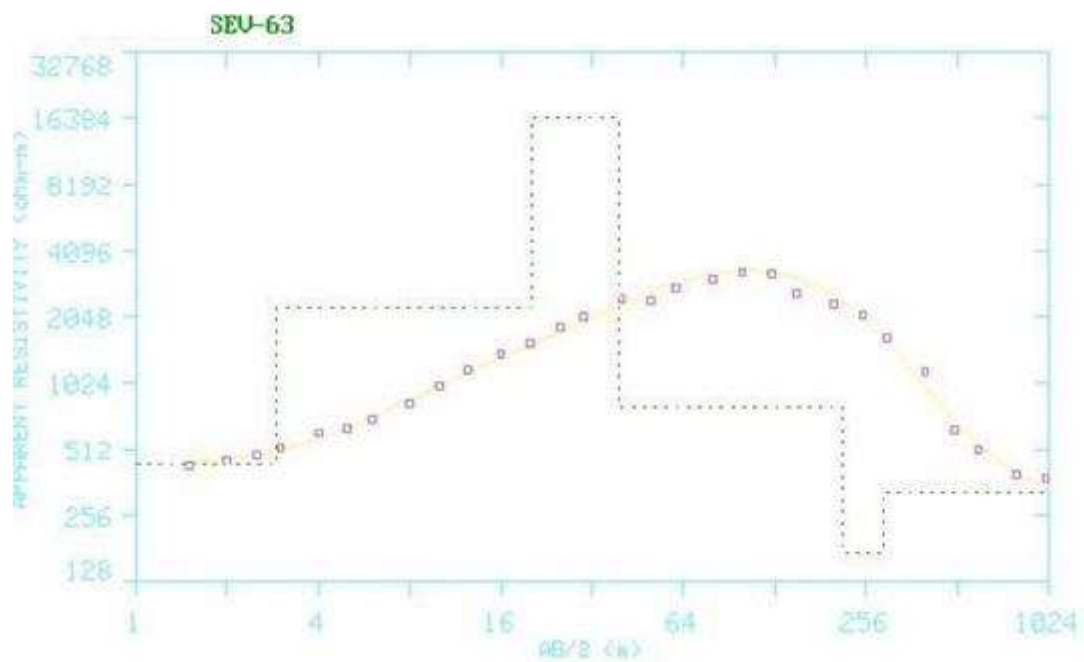
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	42	42	800
Formação Serra Geral	42	80	38	1800
Aquífero Guarani	80	320	240	100
Formação Aquidauana	320	Indefinida	Indefinida	5000



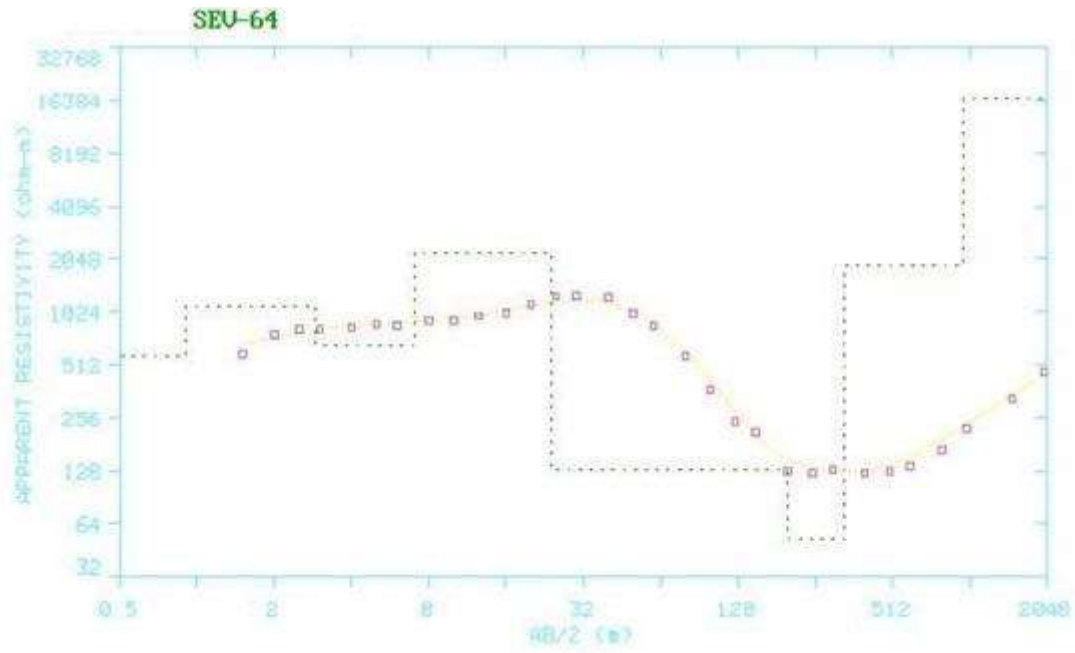
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	25	25	300
Formação Serra Geral	25	67	42	3700
Aquífero Guarani	67	300	233	300
Formação Aquidauana	300	Indefinida	Indefinida	2000



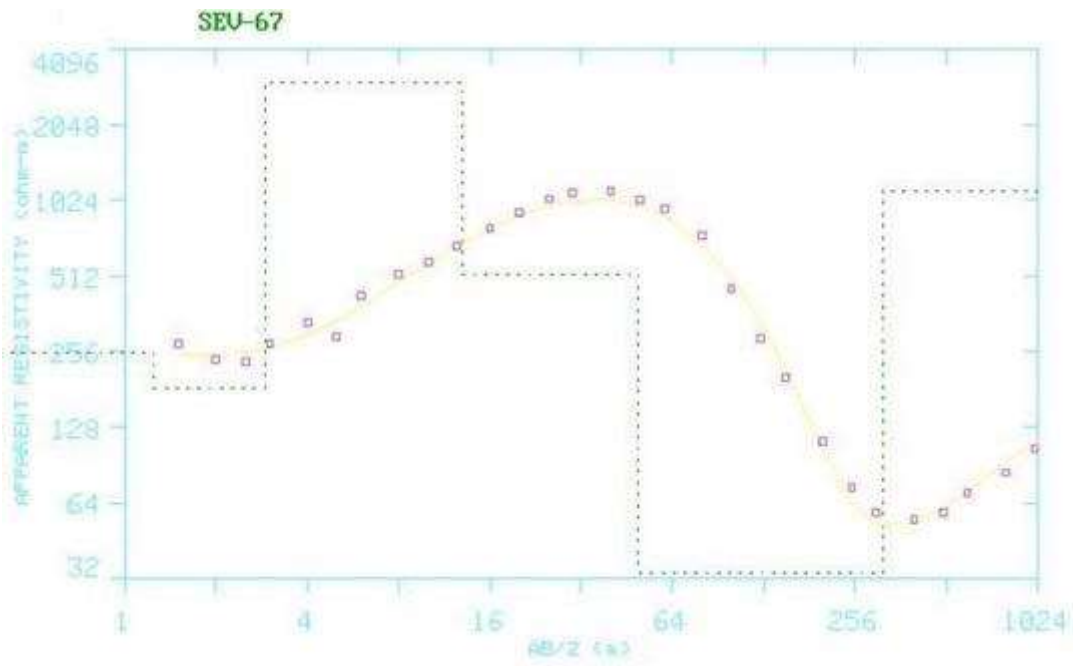
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica - Laterita	0	6	6	5000
Formação Aquidauana	6	330	324	3500
Formação Ponta Grossa	330	Indefinida	Indefinida	6000



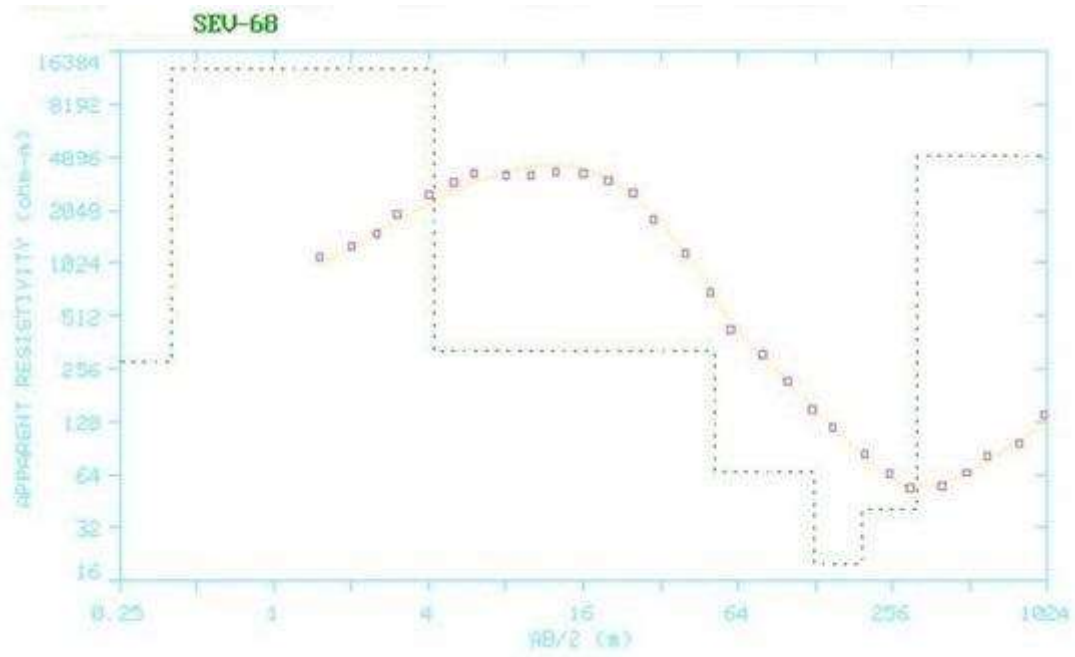
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	40	40	300
Formação Serra Geral	40	83	43	3700
Aquífero Guarani	83	320	237	300
Formação Aquidauana	320	Indefinida	Indefinida	2000



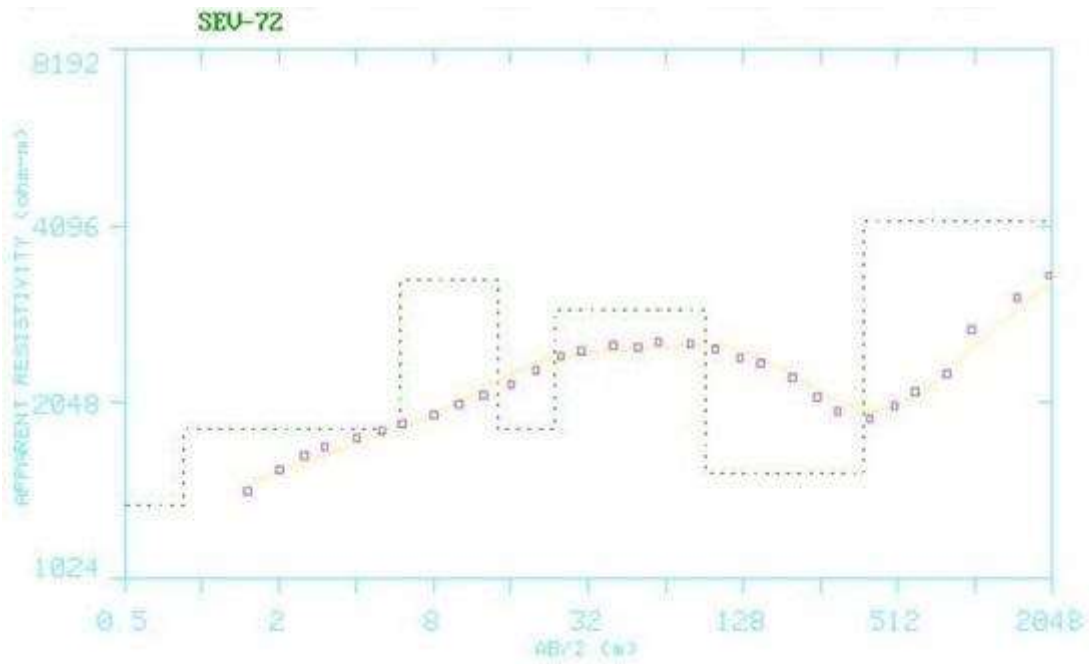
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	26	26	700
Formação Serra Geral	26	41	15	3000
Aquífero Guarani	41	360	319	150
Formação Aquidauana	360	Indefinida	Indefinida	2500



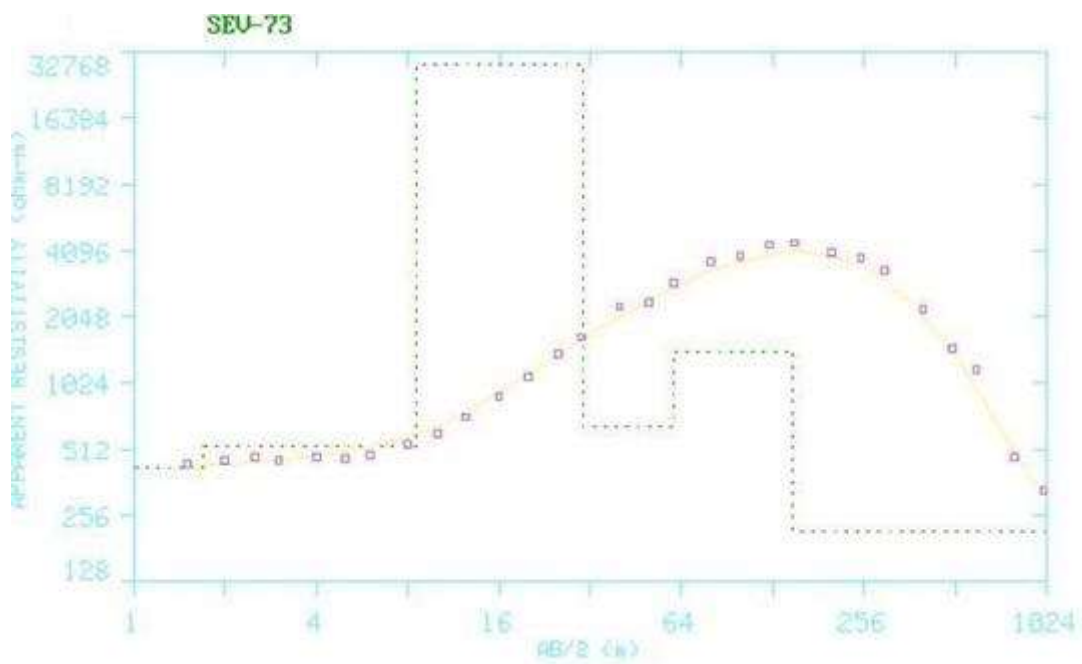
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	20	20	600
Formação Serra Geral	25	40	15	3500
Aquífero Guarani	40	275	235	60
Formação Aquidauana	275	Indefinida	Indefinida	2500



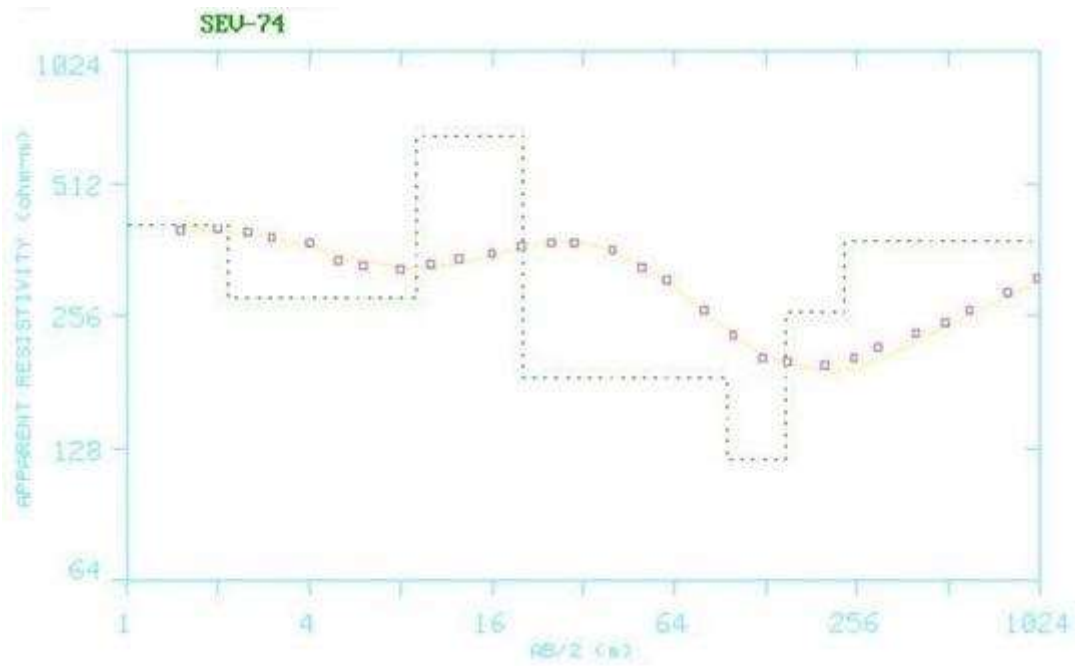
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	8	8	1000
Formação Serra Geral	8	30	22	6500
Aquífero Guarani	30	270	240	100
Formação Aquidauana	270	Indefinida	Indefinida	2500



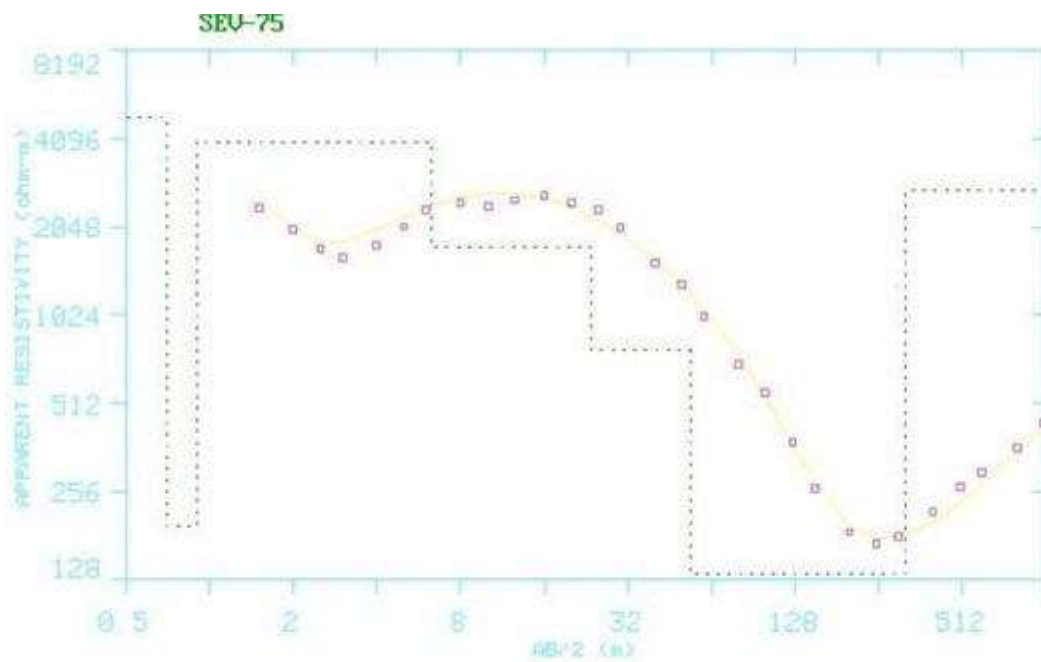
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	20	20	1000
Formação Serra Geral	20	45	25	4000
Formação Aquidauana	45	360	315	300
Formação Ponta Grossa	360	Indefinida	Indefinida	6000



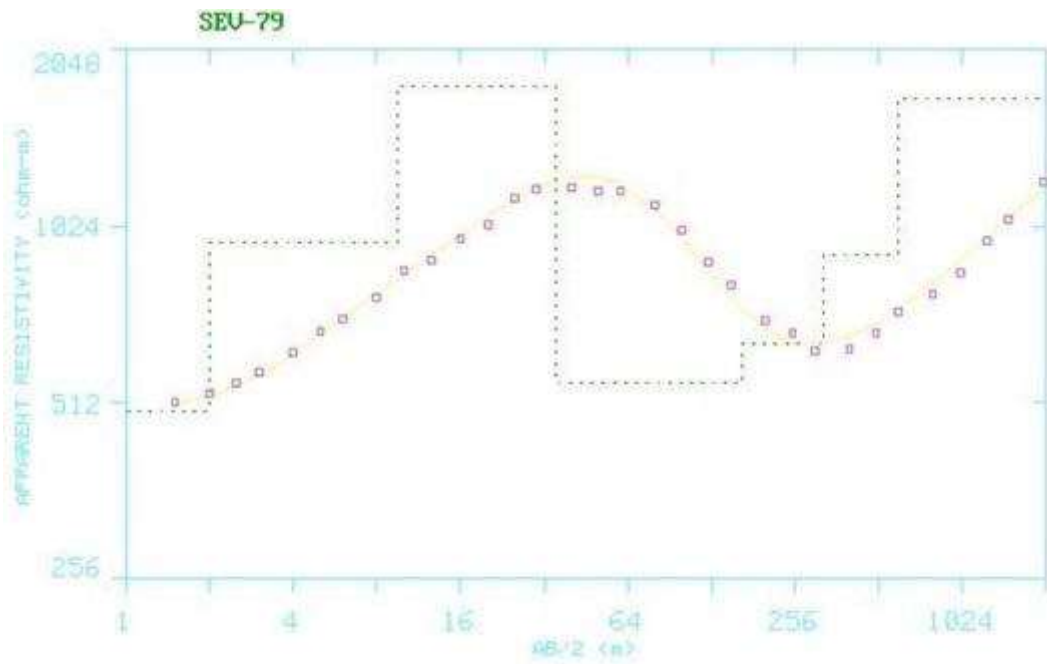
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	45	45	550
Formação Serra Geral	45	125	80	6400
Aquífero Guarani	125	Indefinida	Indefinida	350



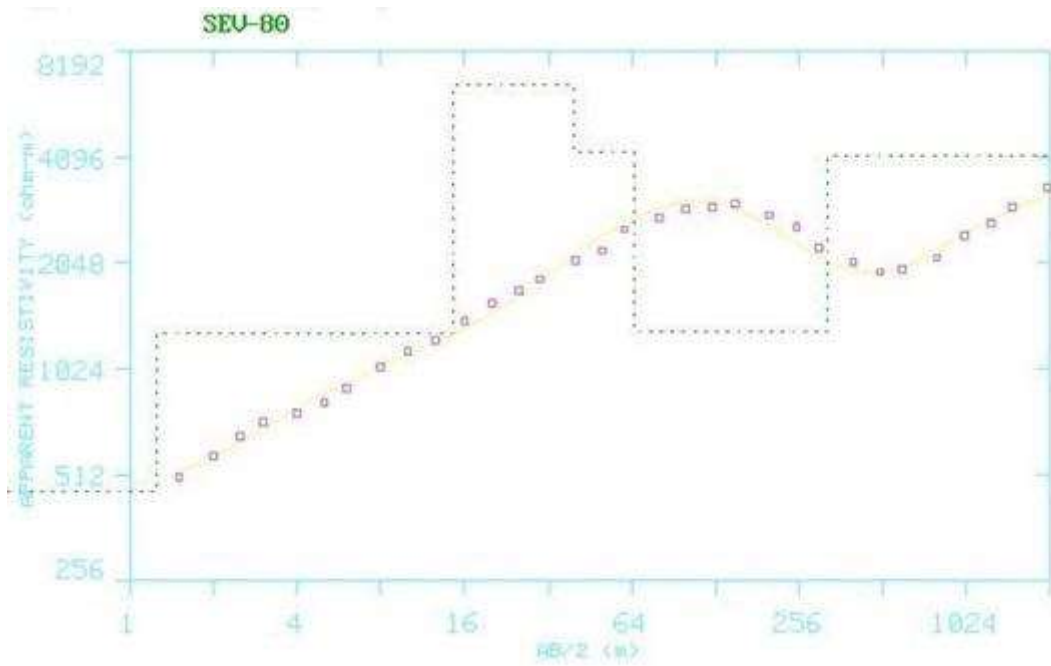
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	23	23	400
Aquífero Guarani	23	200	177	200
Formação Aquidauana	200	Indefinida	Indefinida	2000



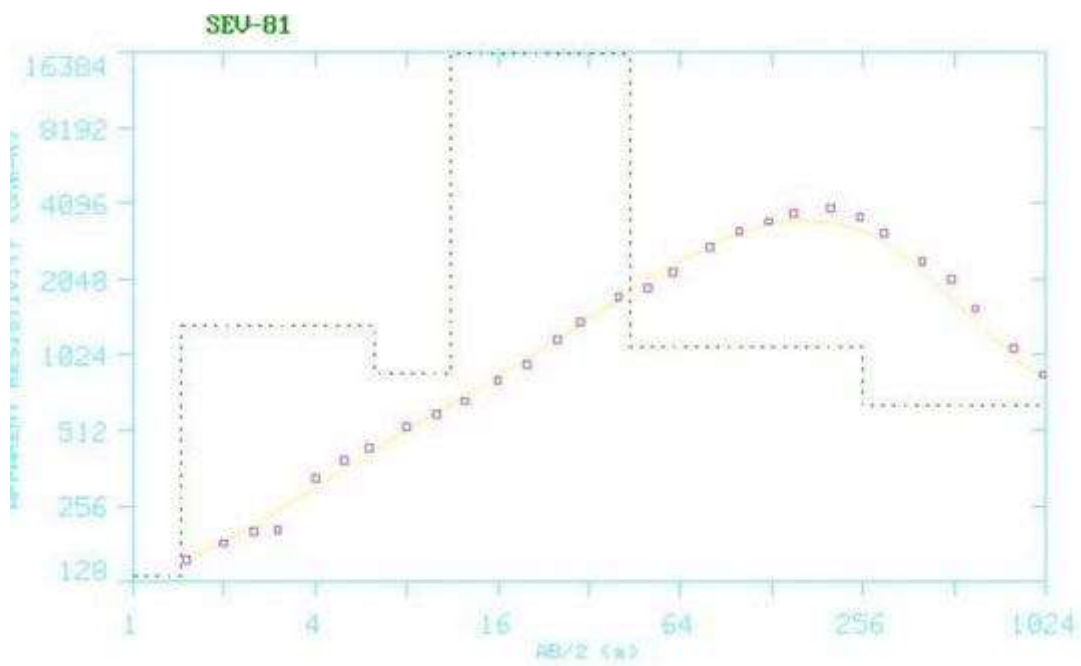
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	4	4	1300
Formação Serra Geral	4	16	12	6000
Aquífero Guarani	16	230	214	250
Formação Aquidauana	230	Indefinida	Indefinida	3000



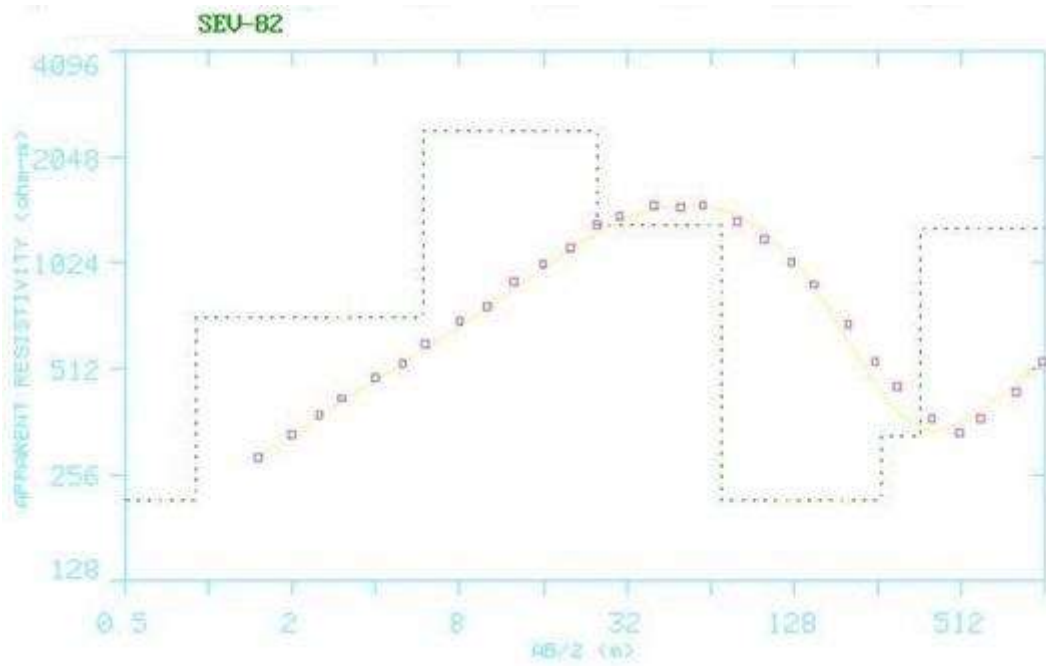
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	37	37	1800
Formação Aquidauana	37	250	213	900
Formação Ponta Grossa	250	Indefinida	Indefinida	4500



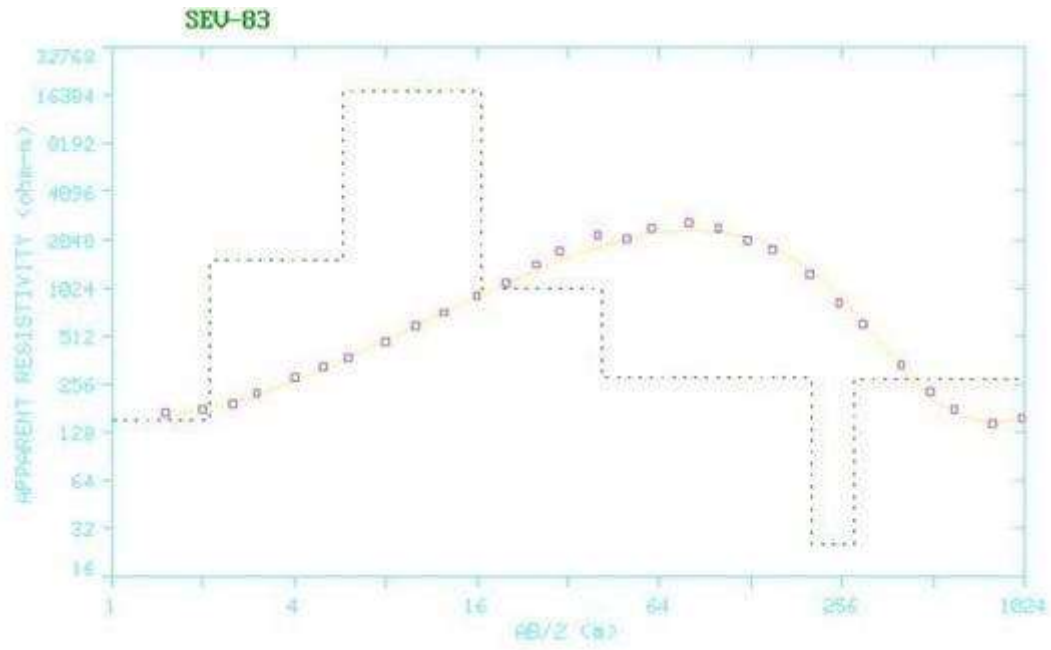
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	50	50	2800
Formação Aquidauana	50	265	215	1300
Formação Ponta Grossa	265	Indefinida	Indefinida	5000



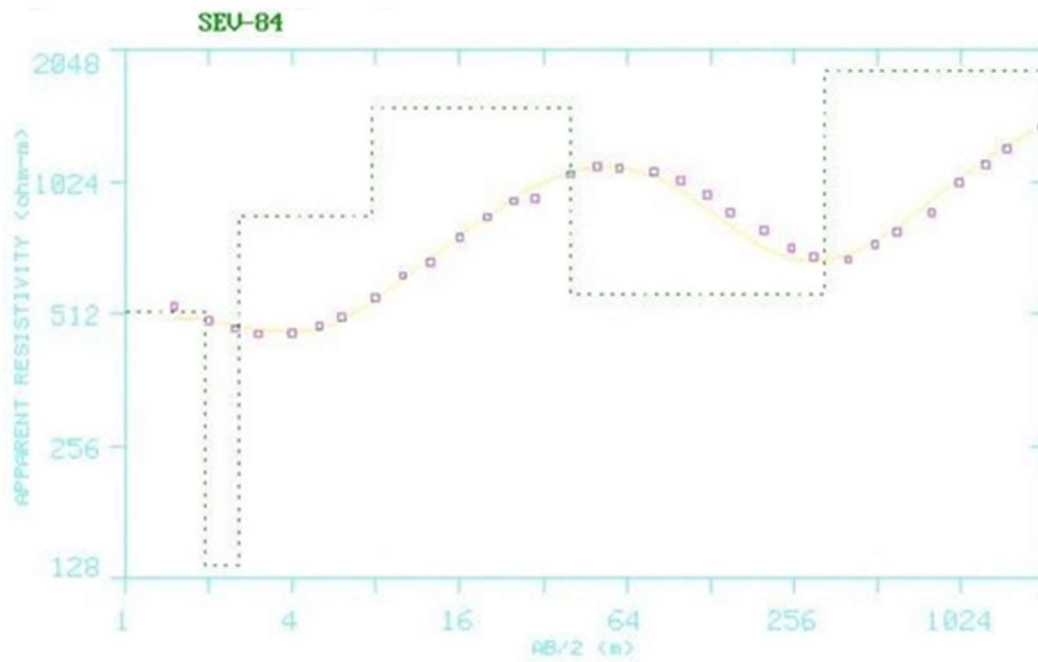
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	35	35	1000
Formação Serra Geral	35	100	65	6000
Formação Aquidauana	100	Indefinida	Indefinida	400



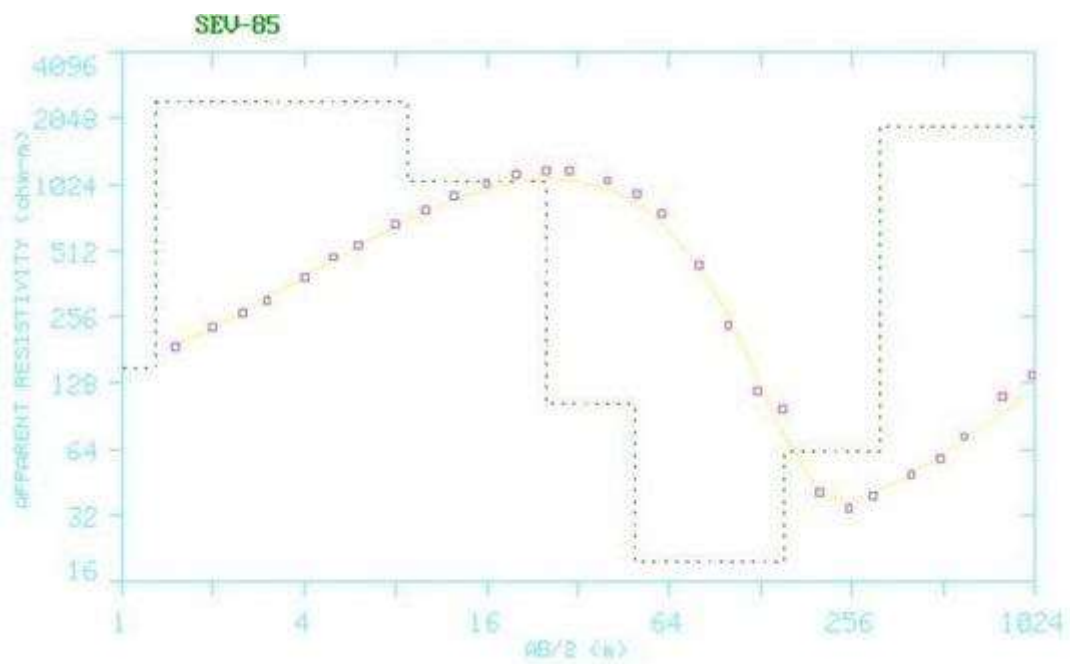
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	10	10	480
Formação Serra Geral	10	42	32	4200
Aquífero Guarani	42	264	222	300
Formação Aquidauana	264	Indefinida	Indefinida	2900



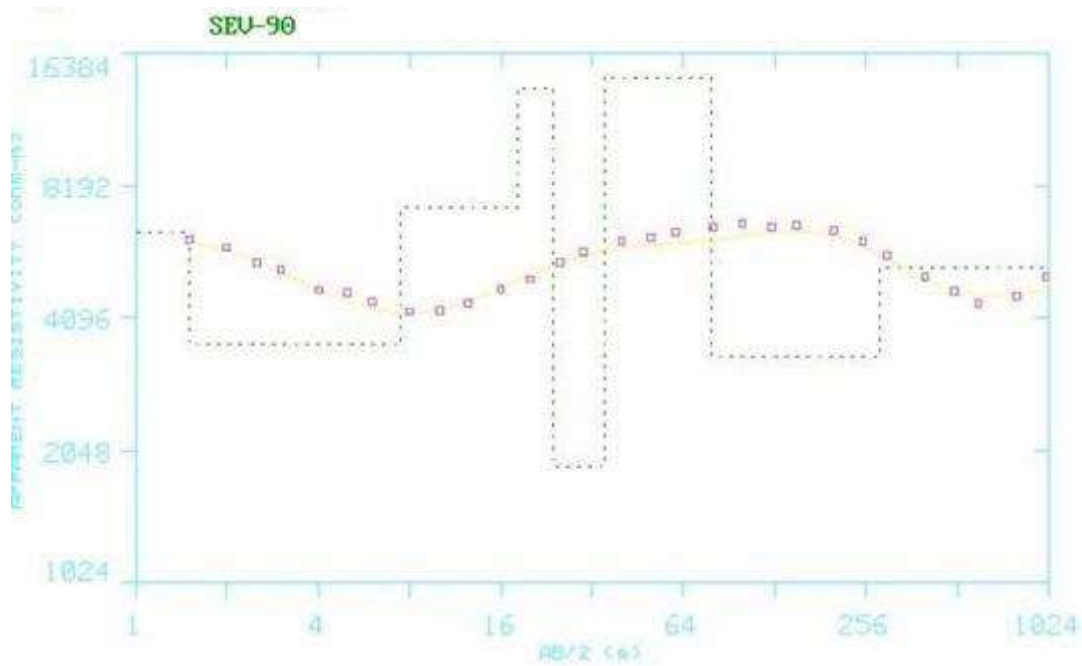
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	9	9	350
Formação Serra Geral	9	40	31	4000
Aquífero Guarani	40	300	260	200
Formação Aquidauana	300	Indefinida	Indefinida	2000



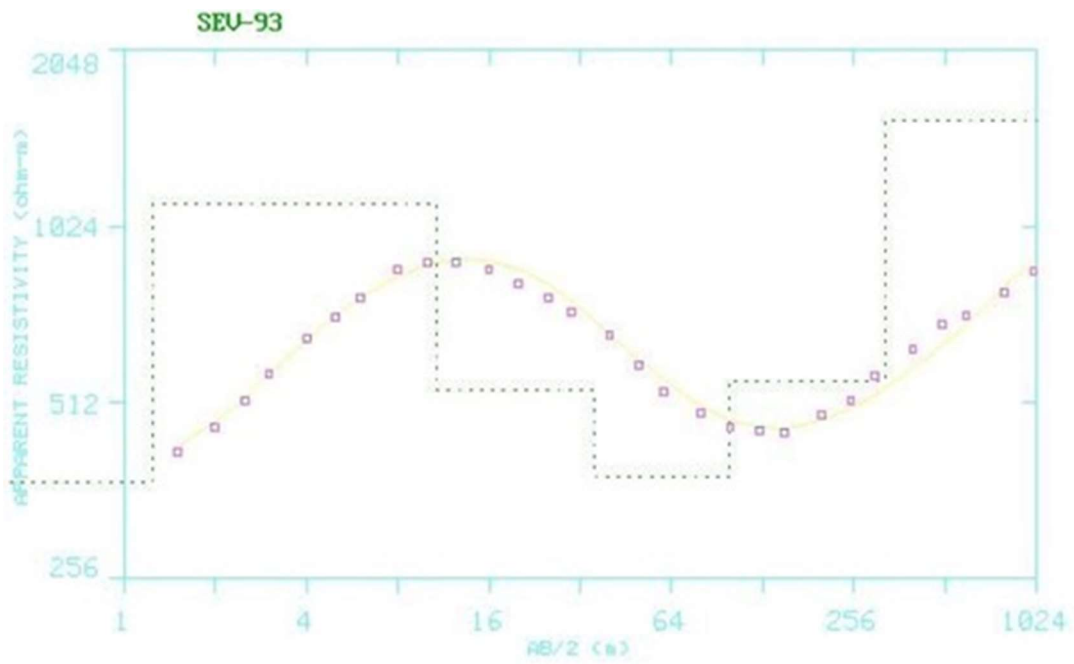
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	7	7	500
Formação Serra Geral	7	30	23	3500
Aquífero Guarani	30	230	200	400
Formação Aquidauana	230	Indefinida	Indefinida	4000



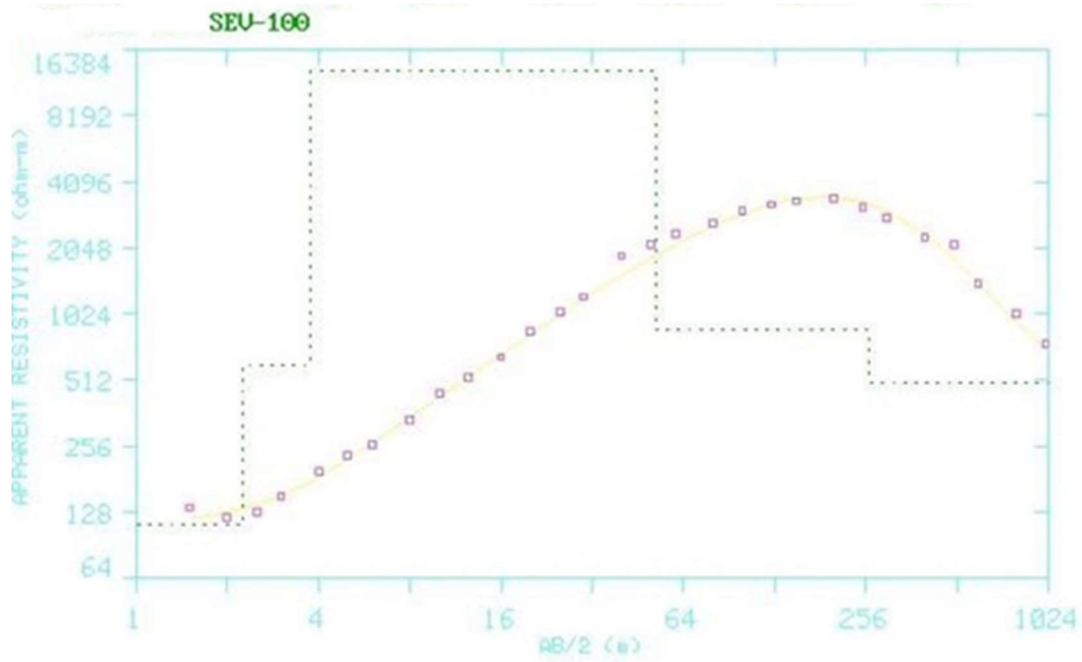
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrito-laterítica	0	5	5	300
Formação Serra Geral	5	15	10	3000
Aquífero Guarani	15	180	165	150
Formação Aquidauana	180	Indefinida	Indefinida	2000



Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	1	1	2000
Formação Serra Geral	1	178	177	8000
Aquífero Guarani	178	380	202	1000
Formação Aquidauana	380	Indefinida	Indefinida	5000



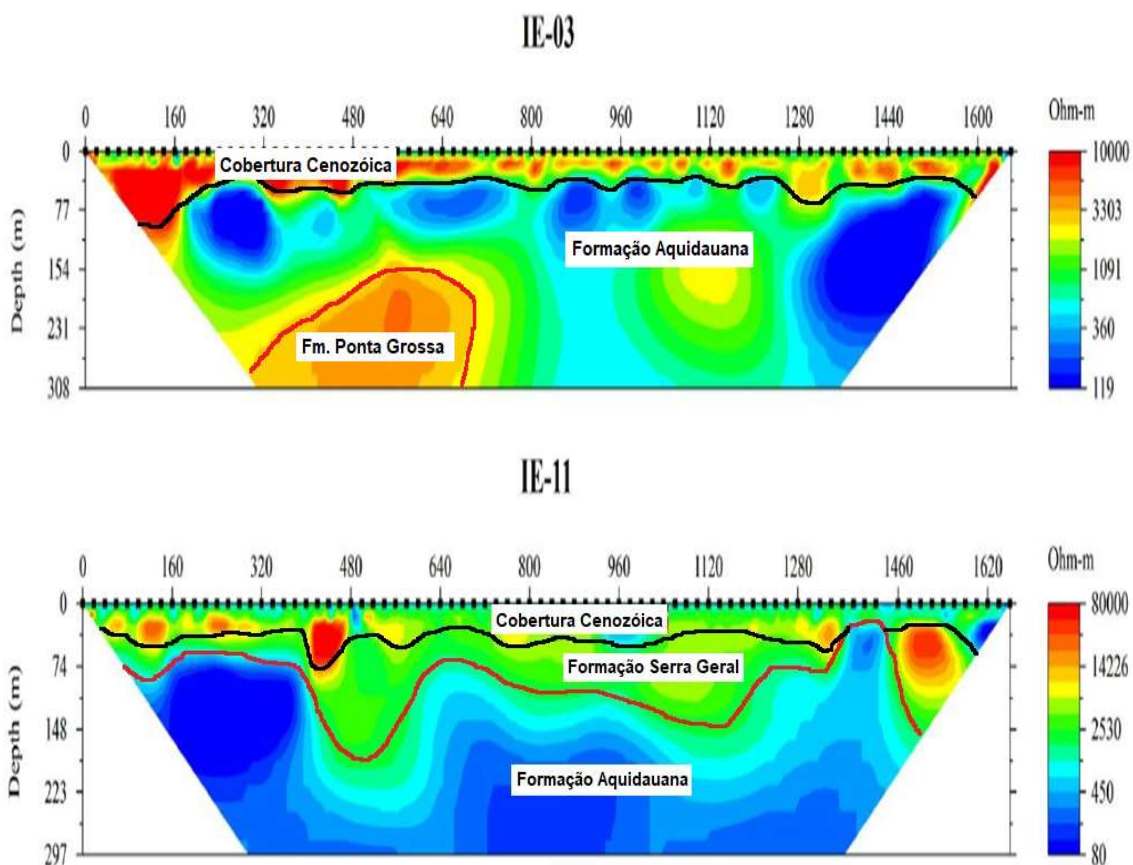
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	15	15	700
Formação Aquidauana	15	130	115	500
Formação Ponta Grossa	130	Indefinida	Indefinida	2500



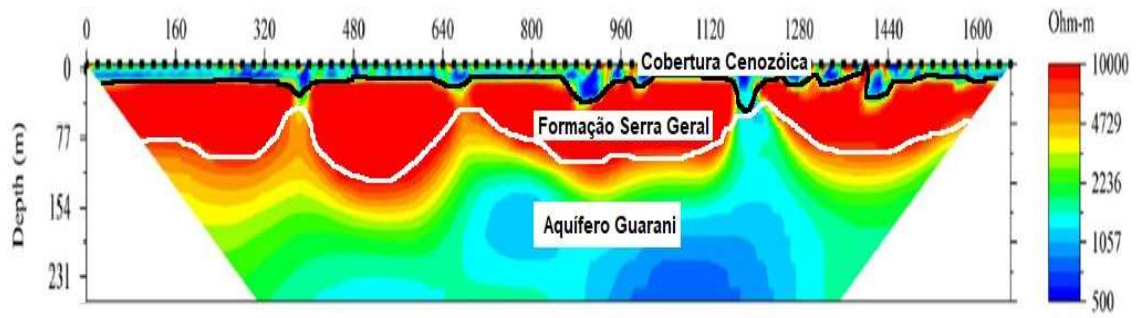
Litologia	Topo (m)	Base (m)	Espessura (m)	Resistividade média (Ohm.m)
Cobertura detrítico-laterítica	0	33	33	400
Formação Serra Geral	33	110	77	5900
Formação Estrada Nova	110	120	10	1200
Formação Aquidauana	120	Indefinida	Indefinida	2500

Anexo II – Imageamentos Elétricos processados e interpretados

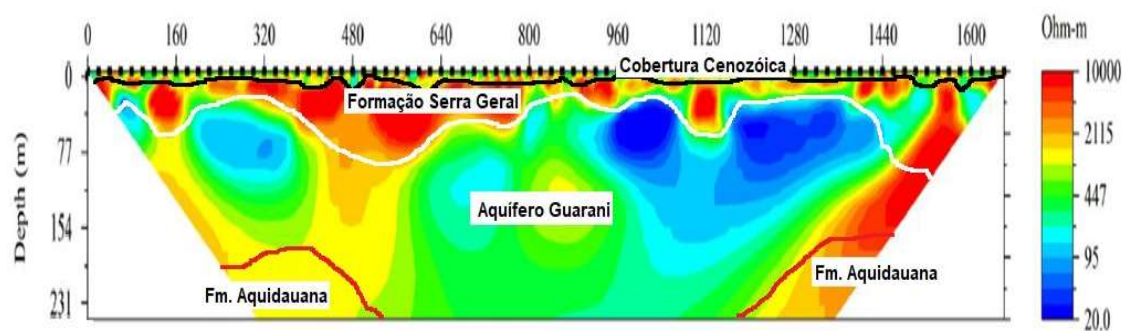
Analisando a geologia local, dados de poços, os dados de campo e o modelo geoeletrico de menor erro, podemos inferir um modelo geológico para cada caminhamento, sendo que os extratos geológicos estão delimitados na imagem por linhas coloridas e o nome da litologia está sobreposto a área de abrangência de cada uma destas. Outrossim podemos observar na parte direita de cada seção a escala cromática de isovalores de resistividade elétrica aparente.



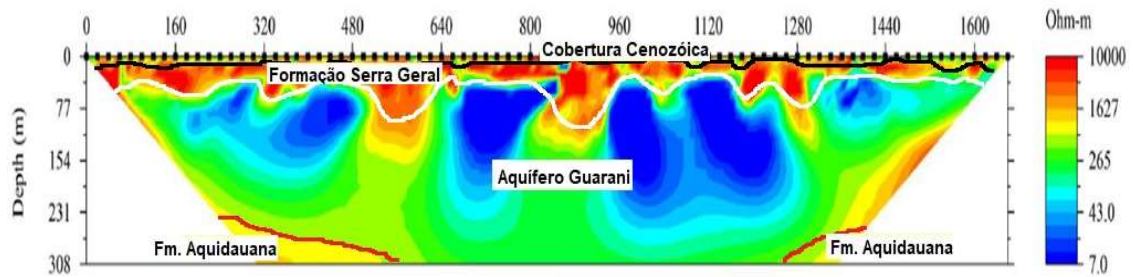
IE-12



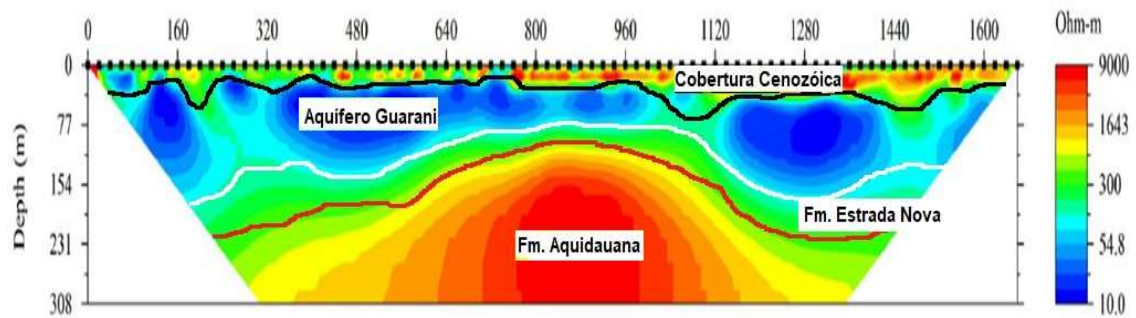
IE-13



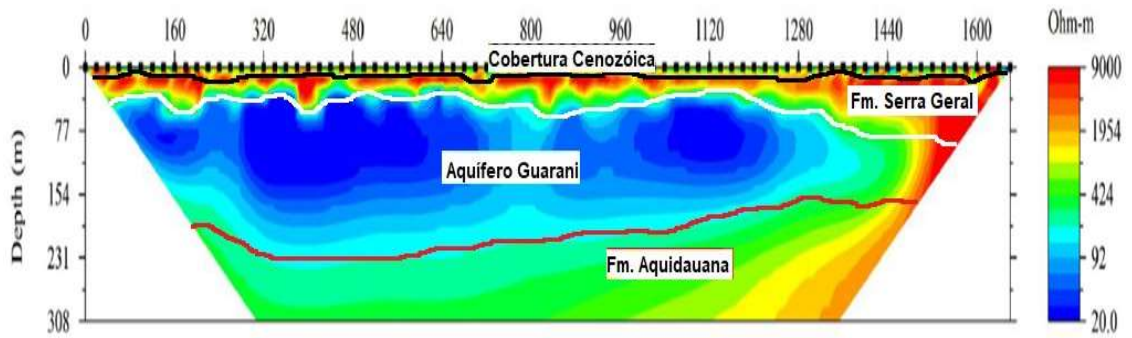
IE-14



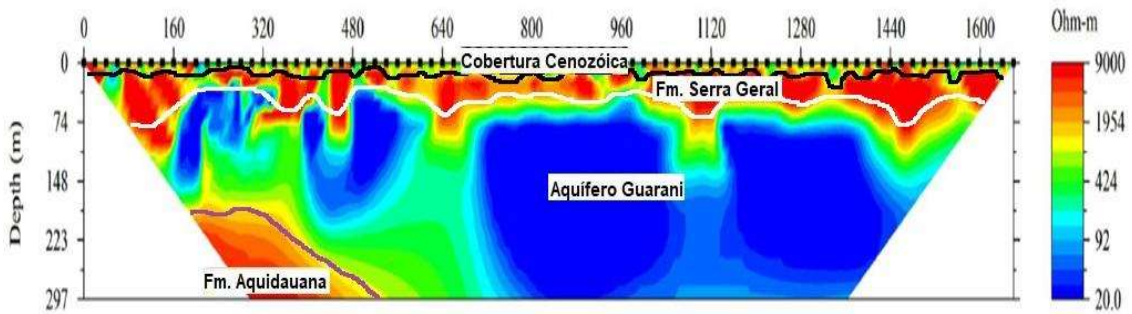
IE-19



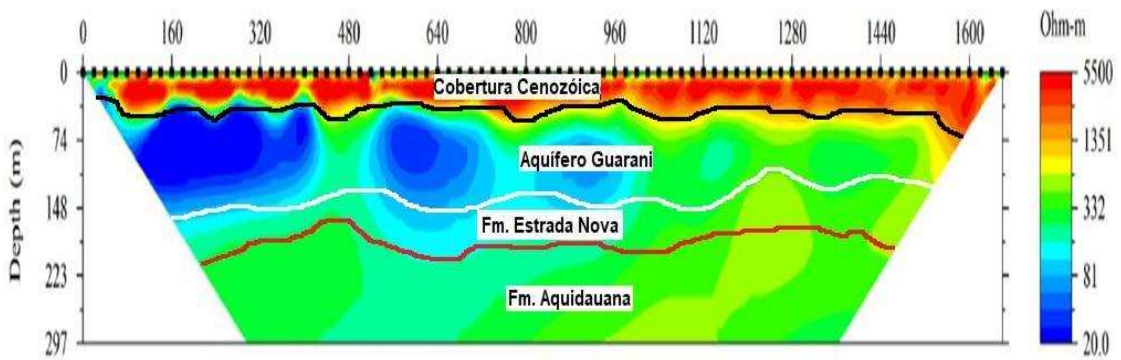
IE-21



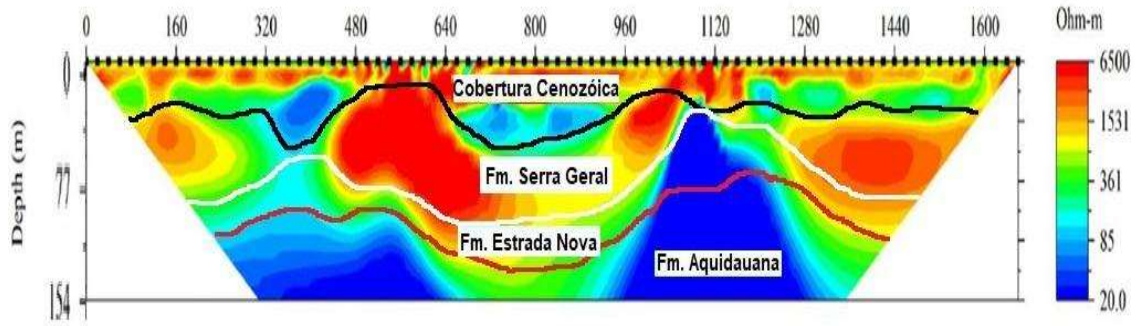
IE-22



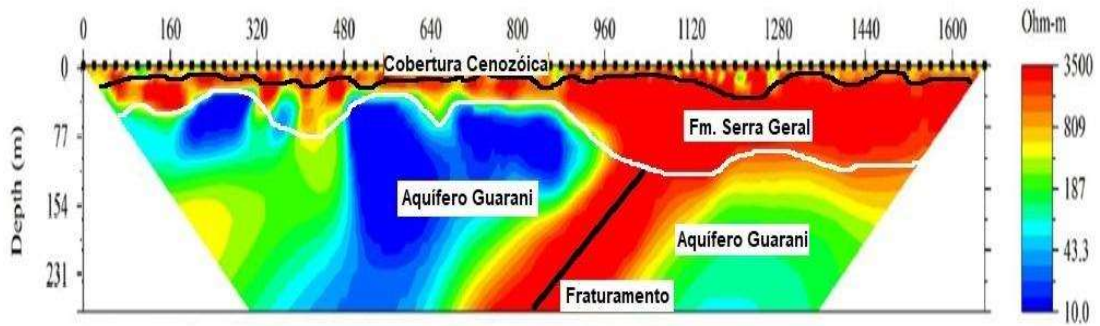
IE-27



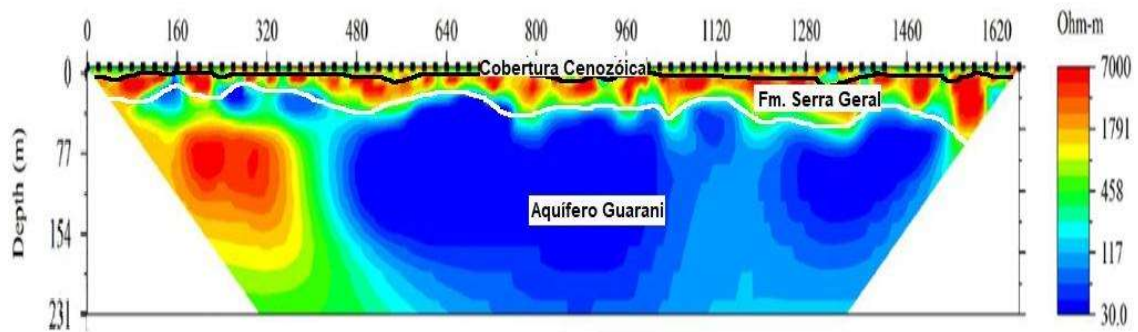
IE-28



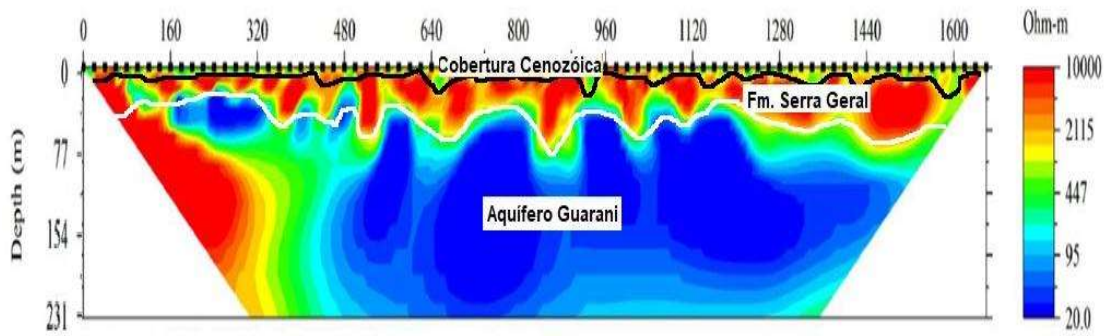
IE-29



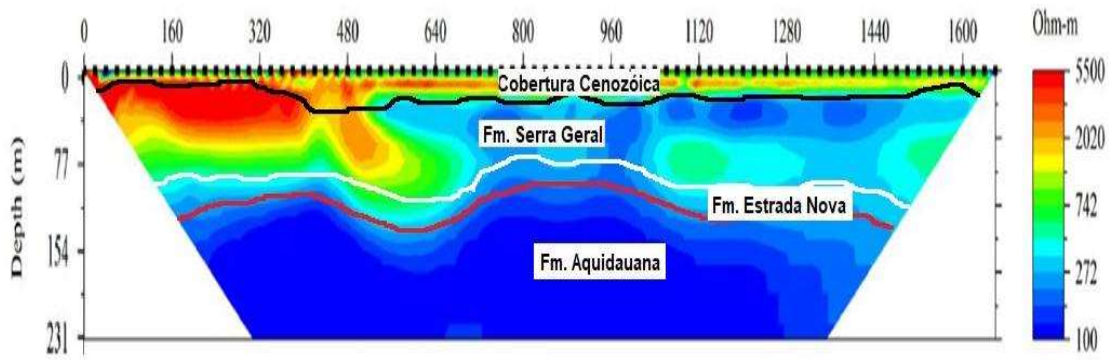
IE-30



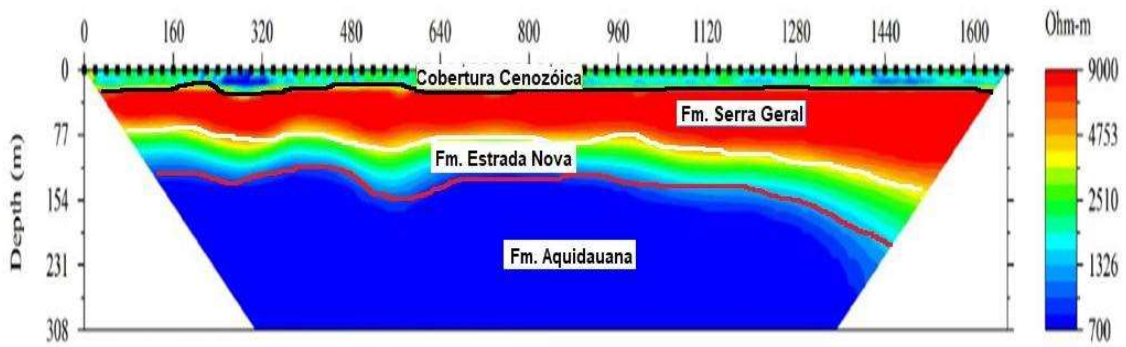
IE-31



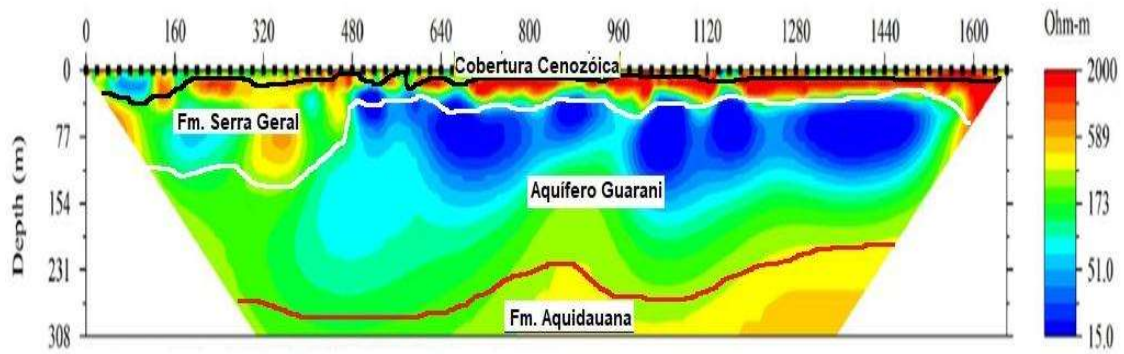
IE-36



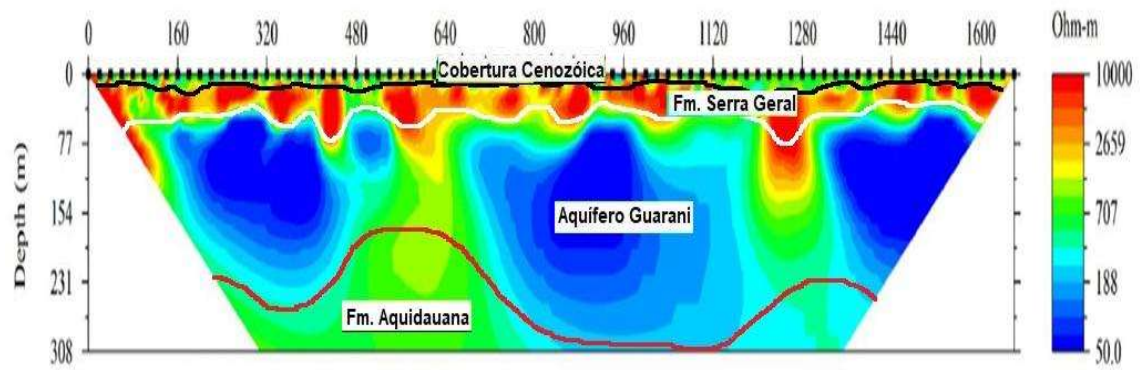
IE-37



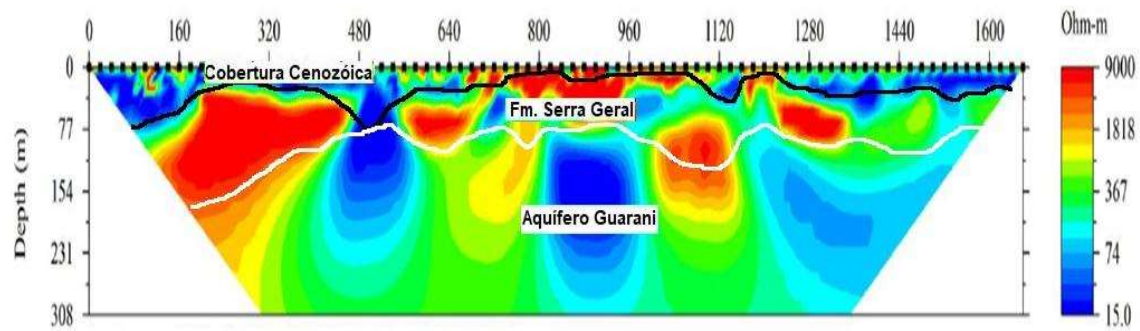
IE-38



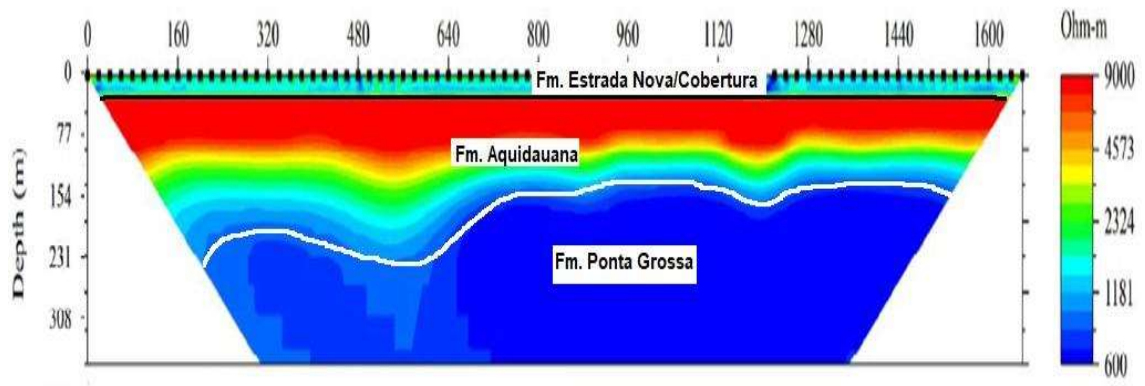
IE-39



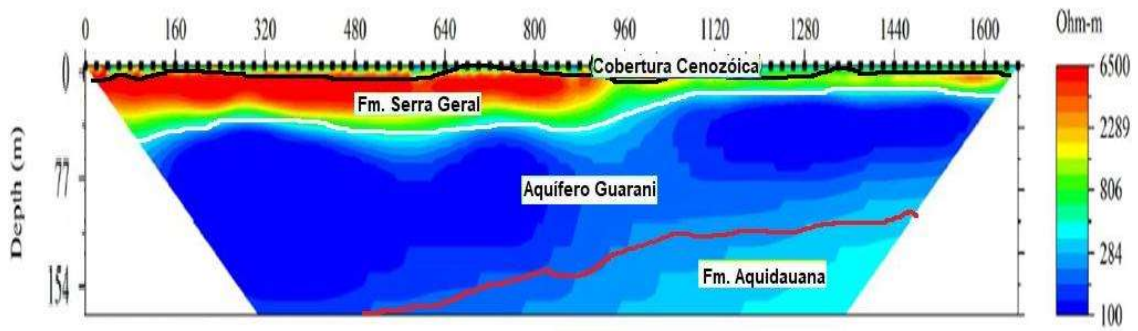
IE-40



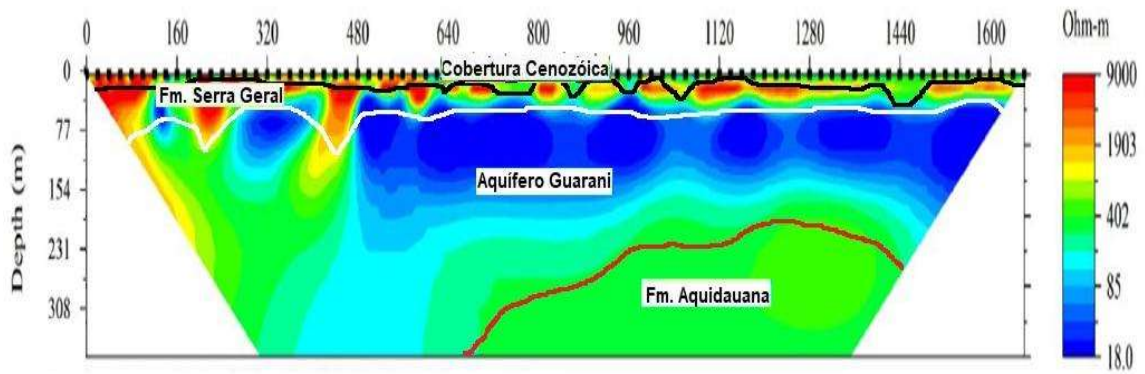
IE-45



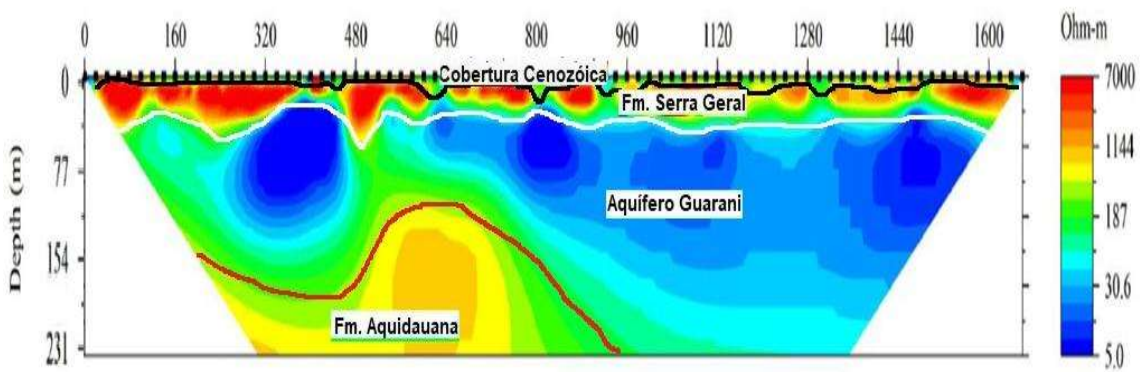
IE-46



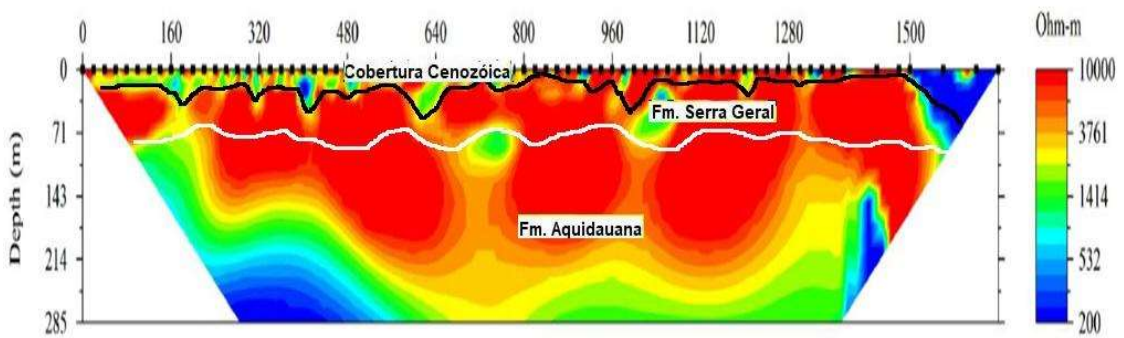
IE-47



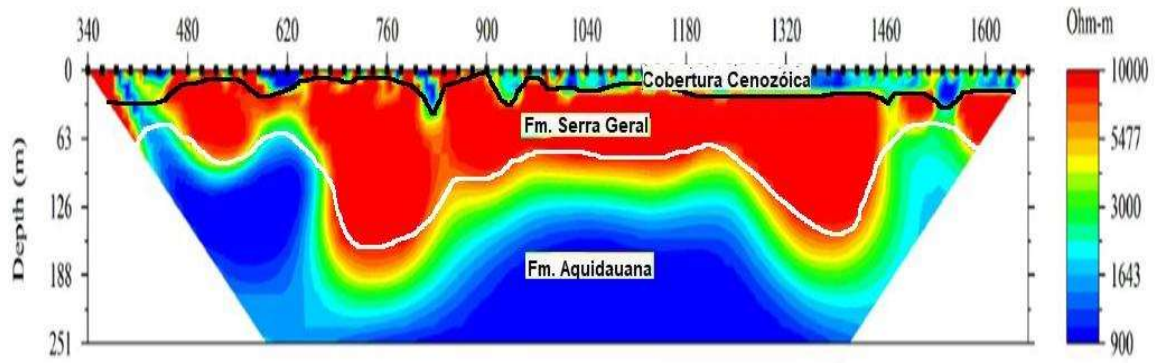
IE-48



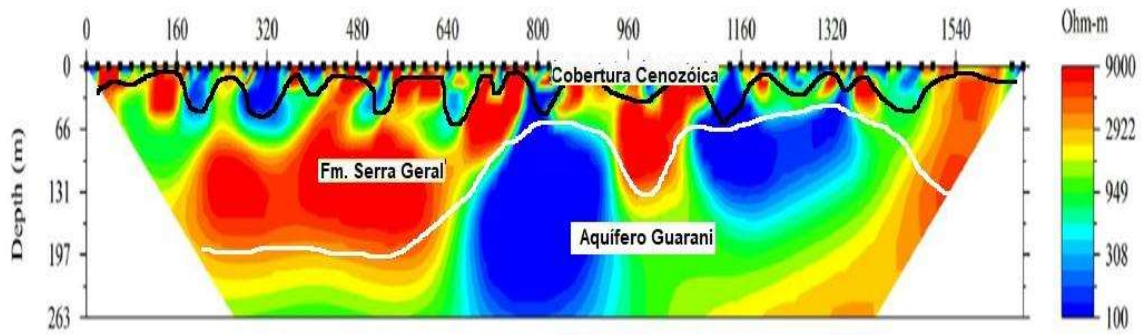
IE-51



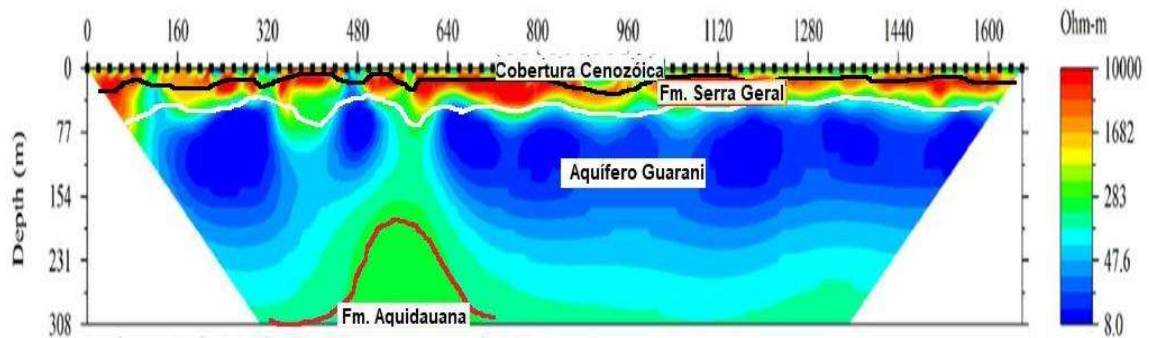
IE-53



IE-55



IE-56



IE-57

