

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE NA CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DE ÁREA DE RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI.

Oliva, A. ⁽¹⁾; Gastmans, D. ⁽¹⁾; Zamprogno, C.F. ⁽¹⁾; Paula e Silva, F. ⁽¹⁾; Romualdo, D.B. ⁽¹⁾.;
Lobo, G.A. ⁽²⁾; Lima, W.P. ⁽³⁾; Rocha, H.R. ⁽⁴⁾; Chang, H.K. ⁽¹⁾

Resumo

O presente artigo apresenta a caracterização hidrogeológica da Gleba do Pé de Gigante, localizada no município de Santa Rita do Passa Quatro, efetuada com a utilização de métodos de investigação indireta do substrato. Foi utilizado o método de eletrorresistividade, por meio da técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV), e arranjo Schlumberger. A área está localizada dentro da zona de recarga do Sistema Aquífero Guarani, no estado de São Paulo. Com os perfis das SEVs, foi possível elaborar um modelo geoeletrico para a área, com a determinação da profundidade do nível d'água e as diferentes litologias existentes. O modelo hidrogeológico conceitual para a área indica a existência de um aquífero livre, representado pelos sedimentos da Formação Pirambóia e, em pequenas áreas próximas ao curso d'água, pelos sedimentos da Formação Santa Rita do Passa Quatro, limitados na base por substrato impermeável representado pelos diabásios da Formação Serra Geral. A superfície potenciométrica apresenta conformação semelhante à superfície topográfica, com fluxo direcionado para a rede de drenagem, e nível d'água situado entre as cotas, 572 e 645 metros, com profundidades máximas de cerca de 90 metros.

Palavras Chaves: Sondagem Elétrica Vertical, Modelo Hidrogeológico Conceitual, Sistema Aquífero Guarani.

- (1) UNESP - Universidade Estadual Paulista – LEBAC – Laboratório de Estudos de Bacias, Av. 24A, 1515 – Rio Claro (SP) – CEP: 13506-900, Fone/Fax: (55-19) 3532-5119, email: aoliva@rc.unesp.br; gastmans@rc.unesp.br; camilazamprogno@yahoo.com.br; flaviops@rc.unesp.br; davi_bbov@ig.com.br; chang@rc.unesp.br.
- (2) Centro Tecnológico de Hidráulica - CTH – Cidade Universitária. email: gre@cth.usp.br
- (3) ESALQ/USP – Piracicaba. email: wplima@esalq.usp.br
- (4) IAG/USP. email: humberto@model.iag.usp.br

Abstract

This paper presents the hydrogeological characterization of *Gleba do Pé de Gigante*, in Santa Rita do Passa Quatro, São Paulo State, Brazil, using indirect methods for subsurface evaluation. In this study it was applied the Eletoresistivity method, using the Vertical Electrical Sounding (VES) technique and Schlumberger array. The area is located in the recharge zone of Guarani Aquifer System, in São Paulo State, Brazil. Using VES profiles it was possible to construct a geoelectrical model for the area, determining depth of the water table and the litological types present. This survey showed the existence of unconfined aquifer represented by Piramboia Formation sediments, and locally by Santa Rita do Passa Quatro sediments. These sediments are underlain by the mafic rocks of the Serra Geral Formation, that constitutes the impermeable substrate. Water table has the same general form of the topographic surface, whit ground water flux drive to the drainage, and maxim depth at 90 meters.

Key Words: Vertical Electrical Sounding, Hydrogeological Conceptual Model, Guarani Aquifer Sistem.

1 – Introdução

A caracterização hidrogeológica de uma determinada área é de relevante importância, pois atua como instrumento capaz de prover soluções para os problemas de suprimento hídrico e de controle de poluição, inerentes às atividades humanas, além de contribuir para a quantificação da dinâmica dos fluxos de água em diferentes biomas, e para investigação de impactos decorrentes de mudanças no uso da terra.

O presente trabalho apresenta a caracterização dos arcabouços geológico e hidrogeológico, por meio da utilização de métodos geoeletricos, dentro do projeto “Interação Biosfera-Atmosfera Fase 2: Cerrados e Mudanças de Uso da Terra”. Este projeto está inserido em Projeto Temático Biota da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (Proc. Fapesp nº 02/09289-9).

Dentro deste quadro, o objetivo principal deste trabalho foi caracterizar o arcabouço hidrogeológico da área de estudo, com a definição das unidades aquíferas presentes e a compreensão do regime de fluxo das águas subterrâneas, por meio da utilização de métodos indiretos de investigação do substrato, neste caso o geoeletrico.

A elaboração de um modelo hidrogeológico conceitual para a área do Pé do Gigante contribui para a compreensão da dinâmica das águas subterrâneas nas zonas de recarga do Sistema Aquífero Guarani, uma vez que a região de estudo está localizada na faixa de afloramentos das formações geológicas constituintes do aquífero.

2 – Localização e Caracterização da Área

A área de estudo engloba a Reserva de Cerrado Pé-de-Gigante, uma das seis glebas disjuntas que constituem o Parque Estadual Vassununga, criado em 1970. É a única gleba com vegetação de cerrado, sendo as outras cinco cobertas por floresta estacional semidecidual [1].

A Reserva do Cerrado Pé-de-Gigante está localizada no município de Santa Rita do Passa Quatro (SP), ocupa área de aproximadamente 1.225 ha entre as coordenadas UTM 225,620 e 228,980E km e 7603,660 e 7608,160N km (Zona 23) e apresenta relevo com cotas altimétricas variando entre 590 e 720 m. A Leste, é margeada pela rodovia Anhangüera (SP-330), entre os quilômetros 254,5 e 258,5 (Figura 1).

Geologicamente, toda área compreendida pelo Cerrado Pé-de-Gigante assenta-se sobre a Formação Santa Rita do Passa Quatro, constituída por areias finas de depósitos aluvionares que se encontram sobre a Formação Pirambóia, formada por arenitos eólicos. A Formação Serra Geral apresenta-se discordante, em forma de derrames basálticos e intrusivas básicas associadas,

representada por sills e diques de diabásio [2, 3, 4].

O relevo é caracterizado por formas suavizadas, levemente onduladas, constituídas principalmente por morros amplos e colinas médias, com predomínio de baixas declividades [5].

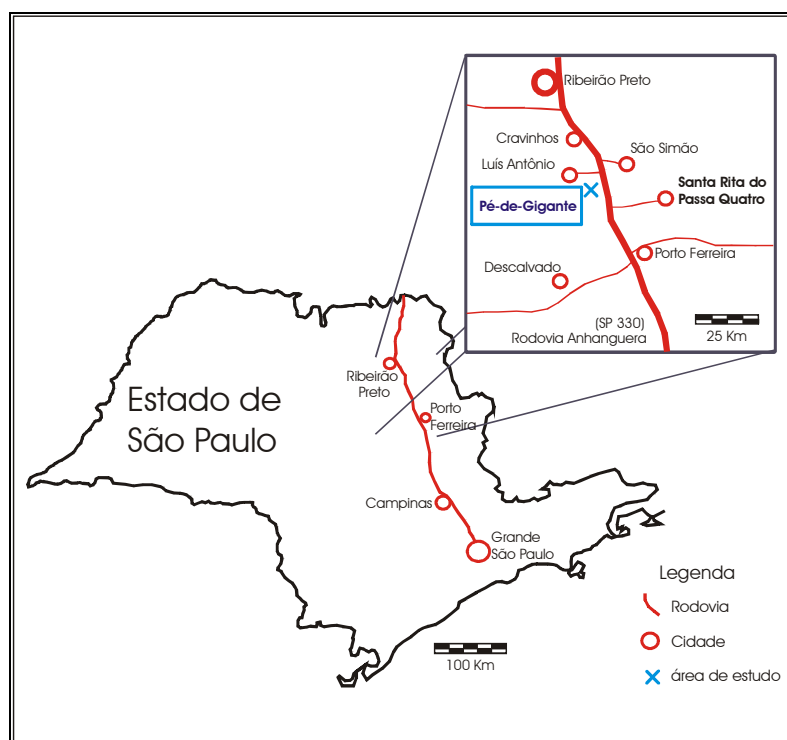


Figura 1 – Mapa de localização da área de pesquisa no estado de São Paulo.

O cerrado é a vegetação predominante na área, ocorrendo as seguintes fisionomias: campo sujo, campo cerrado, cerrado *sensu stricto*, cerradão e cerrado transicional. Além destas fisionomias de cerrado, ocorre na região central da gleba, associada à dinâmica do Córrego Paulicéia, uma área de campo úmido, onde podem ser encontradas espécies exóticas [6].

A ocupação nas bordas da área de estudo é caracterizada por atividades agrícolas, com predomínio da cana-de-açúcar e siveicultura de eucalipto.

2.1 – Geologia Local

O município de Santa Rita do Passa Quatro apresenta as seguintes formações geológicas: Corumbataí, Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Santa Rita do Passa Quatro, além de sedimentos quaternários [3] (Figura 2).

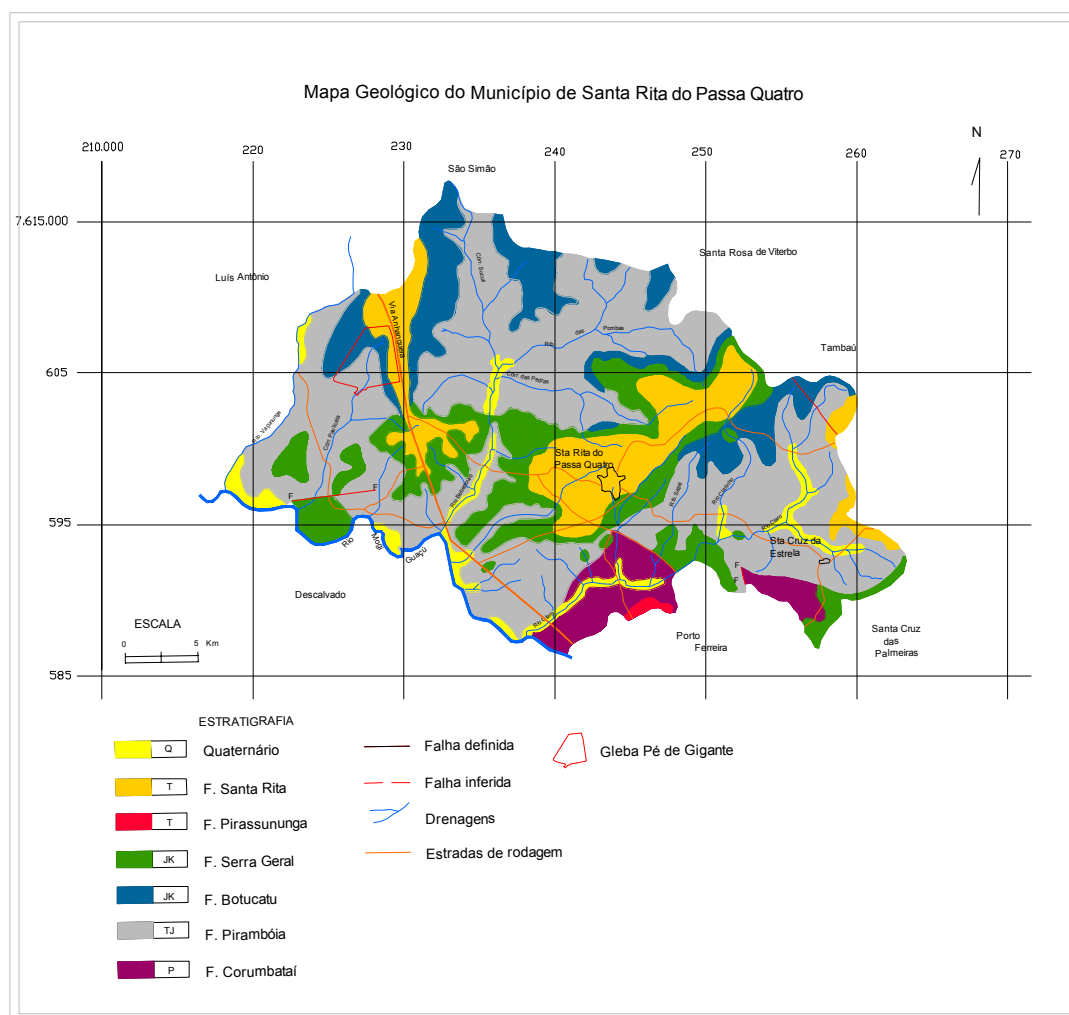


Figura 2 – Mapa geológico do município de Santa Rita do Passa Quatro (modificado de [3]).

A Formação Corumbataí está restrita à porção SSE da área, onde ocorrem siltitos arroxeados, com níveis calcíferos.

A Formação Pirambóia é a mais extensa e espessa, sendo constituída de arenitos finos a muito finos, com nível conglomerático próximo ao topo.

A Formação Botucatu ocorre na parte centro-norte, composta por arenitos muito finos a médios.

A Formação Serra Geral é composta por derrames basálticos e intrusivas básicas. As intrusões de diabásio são comuns a SE e ENE da cidade de Santa Rita do Passa Quatro, constituindo sills e diques intrusivos, tanto na Fm. Botucatu como na Pirambóia.

A Formação Santa Rita do Passa Quatro é representada por areias sem estrutura, contendo, na base, uma linha de seixos e/ou cascalheira. Ocorre principalmente na parte centro-nordeste e NNW da área. Os sedimentos desta unidade capeiam, tanto a Formação Pirambóia como a Botucatu ou Serra Geral, constituindo chapadões cujas altitudes variam de 700 a 940 m.

Baseado no mapa geológico de [3], a área onde se encontra a Gleba Pé de Gigante está assentada sobre sedimentos das formações Santa Rita do Passa Quatro, Botucatu e Pirambóia, cujas altitudes não ultrapassam 740 m (Figura 2).

3 – Materiais e Métodos

O mapeamento da superfície potenciométrica foi realizado por meio de ensaios geofísicos, utilizando o método de eletroresistividade – técnica da sondagem elétrica vertical (SEV) e arranjo Schlumberger.

O equipamento geofísico utilizado foi o sistema **IP-Resistividade SAS 4000** da **ABEM**, composto de módulo receptor e transmissor. Este equipamento possui a capacidade de discriminar ruídos indesejáveis, medindo somente o potencial relativo à corrente transmitida. Todo processo de filtragem de ruídos e cálculo dos resultados é executado por um microprocessador, cujos parâmetros são controlados pelo operador.

O método de eletroresistividade consiste na introdução de uma corrente elétrica no subsolo e no cálculo das resistividades dos materiais geológicos em diferentes profundidades. O arranjo Schlumberger, utilizado para a realização deste levantamento, consta de quatro eletrodos cravados na superfície do terreno. Um par de eletrodos serve para introduzir a corrente elétrica no subsolo, enquanto o outro par é utilizado para medir a diferença de potencial que se estabelece entre eles, como resultado da passagem da corrente (Figura 3).

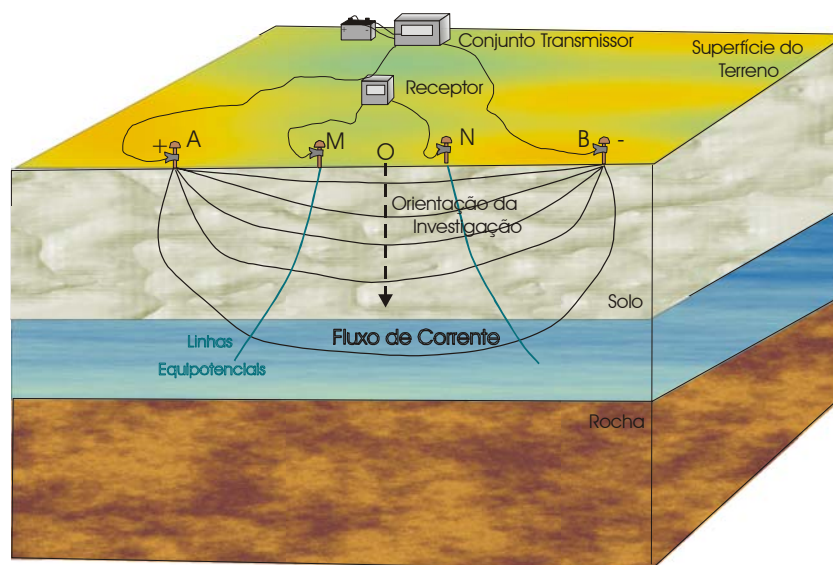


Figura 03 – Representação esquemática do arranjo Schlumberger (modificado de[7]).

A técnica da SEV consiste da determinação sucessivos da resistividade aparente (ρ_a), efetuados a partir da superfície do terreno, aumentando-se a distância entre os eletrodos de emissão de corrente e recepção de potencial, mantendo-se a disposição ilustrada na Figura 3.

Esta técnica é muito empregada em situações em que se deseja investigar, em profundidade, variações litológicas e de saturação (zona não-saturada/saturada), determinando suas espessuras e resistividades.

A abertura máxima de $AB/2$, na maioria das SEVs foi de 1000 m, possibilitando investigar uma profundidade (teórica) de aproximadamente 500m.

O levantamento das coordenadas e cotas das 29 SEVs e dos contatos identificados no campo foram obtidos por meio de GPS Diferencial (DGPS).

A aquisição de dados foi realizada com equipamento da marca **Trimble**, modelo **PRO-XR12**, composto de antena e coletor. A correção diferencial dos dados coletados em campo, foi efetuada através do programa *Pathfinder Office*, utilizando dados base, registrados pela antena localizada no escritório da Santiago & Cintra, na rua Vieira de Morais, São Paulo. Após a correção, o erro obtido em **Z** (cota) foi reduzido para valores compreendidos entre 0.57 e 1 m.

4 – Resultados Obtidos

Foram realizadas 29 SEVs na área em estudo, distribuídas conforme mapa da Figura 4.

Esta investigação permitiu, além da determinação da superfície potenciométrica, a delimitação das distintas litologias que ocorrem na área, por meio da elaboração de um modelo geoeletrico, que deu origem ao modelo hidrogeológico conceitual para a área do Pé do Gigante.

4.1 – Superfície Potenciométrica

O mapa potenciométrico (Figura 4) foi confeccionado utilizando profundidades do nível de água do lençol freático obtidas pela geofísica (SEV's).

Conhecendo-se as altitudes de cada SEV, por meio do levantamento com DGPS, e a profundidade da superfície piezométrica (nível d'água), foi possível determinar a cota do lençol freático em cada SEV. Posteriormente, foram traçadas isolinhas do NA, gerando o mapa potenciométrico.

De um modo geral, observa-se que o fluxo subterrâneo correlaciona-se com a topografia local. O mapa da superfície topográfica local foi obtido pelo levantamento de campo com o DGPS juntamente com os pontos de controle retirados da carta topográfica do IBGE 1: 50.000.

A superfície do lençol freático (NA) está situada entre as cotas 572,6 m (SEV – 02) e 645,7 m (SEV – 11), com fluxo das águas subterrâneas orientado a partir das cotas altas (região Nordeste) para as cotas baixas (região Sudoeste) (Figura 4).

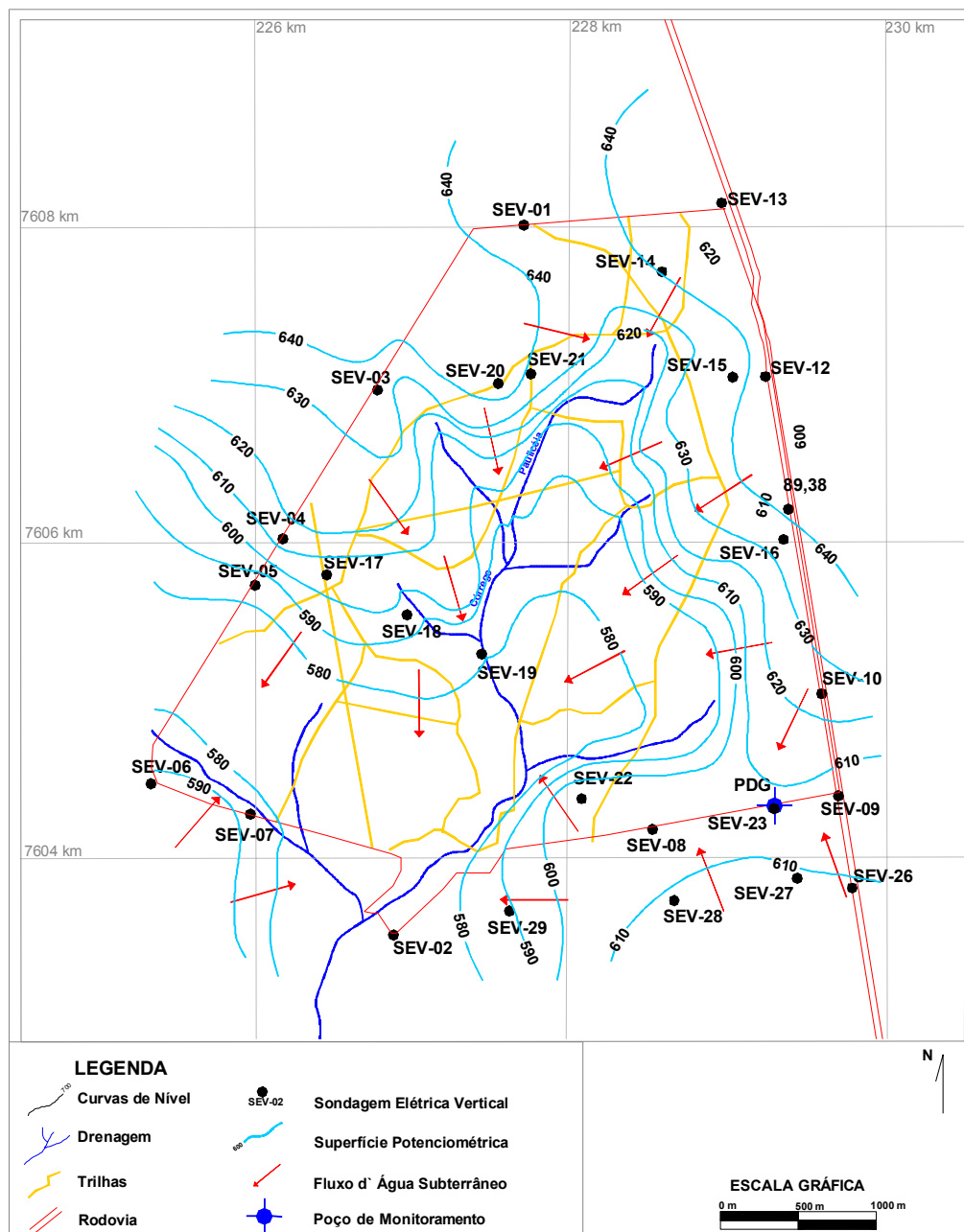


Figura 4. Mapa Potenciométrico da área do Pé-de-Gigante.

A porção norte da área é caracterizada pela ocorrência de um divisor de águas subterrâneo, nas proximidades das SEVs 01, 20 e 21, com direção aproximada NW – SE, que direciona o fluxo regional para o Sul, caracterizado pelo baixo potenciométrico observado na SEV – 02, próximo ao vertedouro (Córrego Paulicéia) (Figura 5).

Dessa maneira, a porção Norte da área pode ser considerada como uma zona local de recarga, ou seja, onde as águas pluviais (chuva) infiltram-se no solo e se deslocam em subsuperfície, declive abaixo, seguindo, grosso modo, a topografia local (relevo), ocorrendo áreas de descarga próximas ao Córrego Paulicéia.

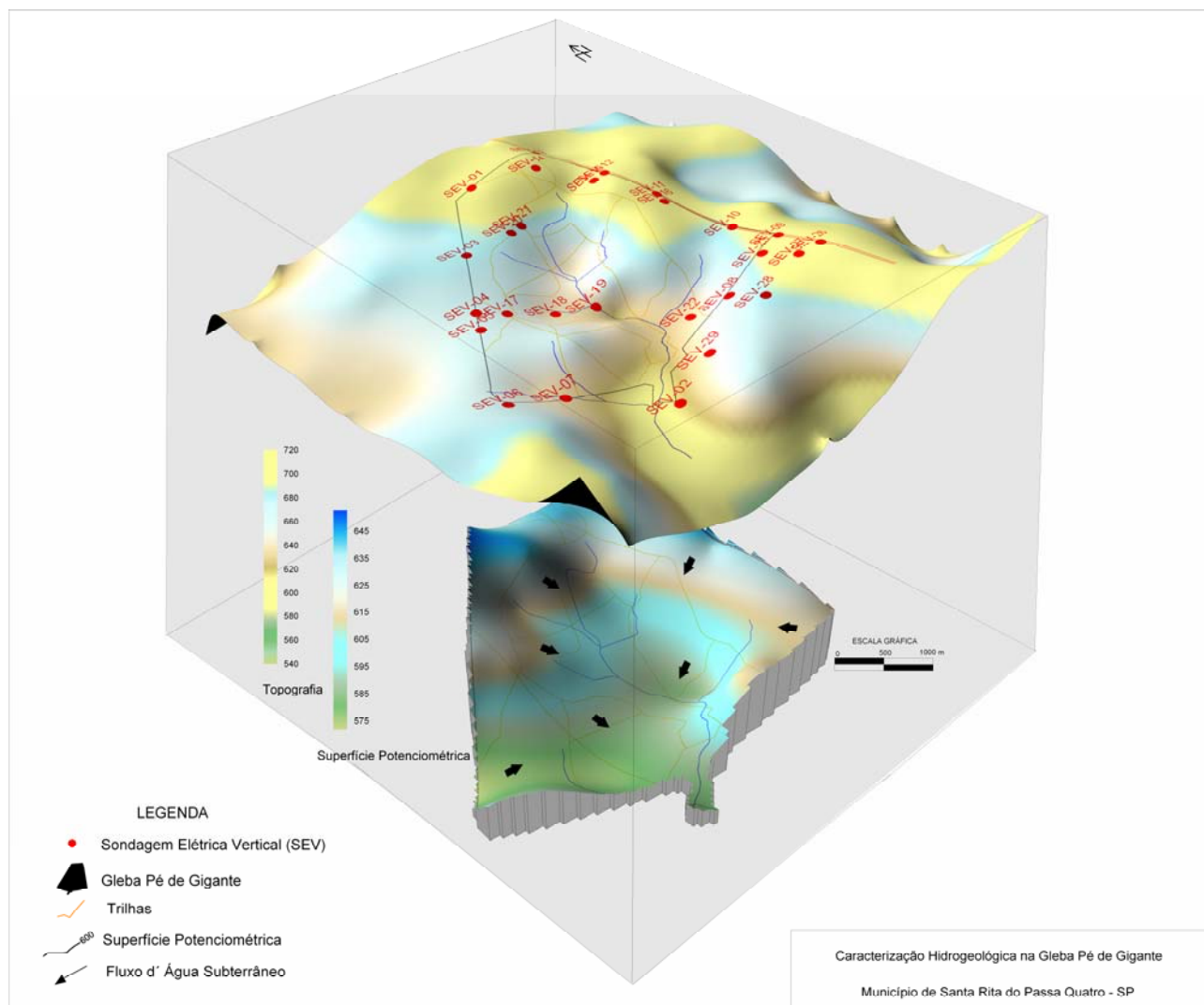


Figura 5. Bloco diagrama da área do Pé-de-Gigante.

4.2 – Modelo Geoelétrico

A partir das sondagens elétricas verticais realizadas, foi possível elaborar um modelo geoeletrico para as diferentes litologias identificadas na área, além de verificar a saturação em água destes estratos, determinando assim a profundidade do nível d'água.

Nas Figuras 6 e 7, são apresentadas algumas curvas das SEVs realizadas na área de estudo, juntamente com seus respectivos perfis geoeletricos, com valores de resistividade das camadas

geolétricas interpretadas (ohm.m) associadas à litologia provável do local estudado e às profundidades do topo do estrato (m).

Foram identificados três estratos geolétricos principais na área do Pé de Gigante, abaixo especificados:

- O primeiro nível, com valores de resistividade média a alta, típicos de sedimentos predominantemente arenosos, está associado à Formação Santa Rita do Passa Quatro.
- O segundo tipo, com valores de resistividade elevada, representa as cascalheiras e os arenitos da Formação Pirambóia. Essa cascalheira, na maioria das SEVs, encontra-se próxima ao contato Fm. Santa Rita do Passa Quatro/Fm. Pirambóia. Abaixo das cascalheiras e arenitos grossos pertencentes à Formação Pirambóia, a resistividade tende a decrescer.
- Um terceiro tipo litológico identificado apresenta resistividade elevada e é representado por rochas intrusivas básicas da Formação Serra Geral.

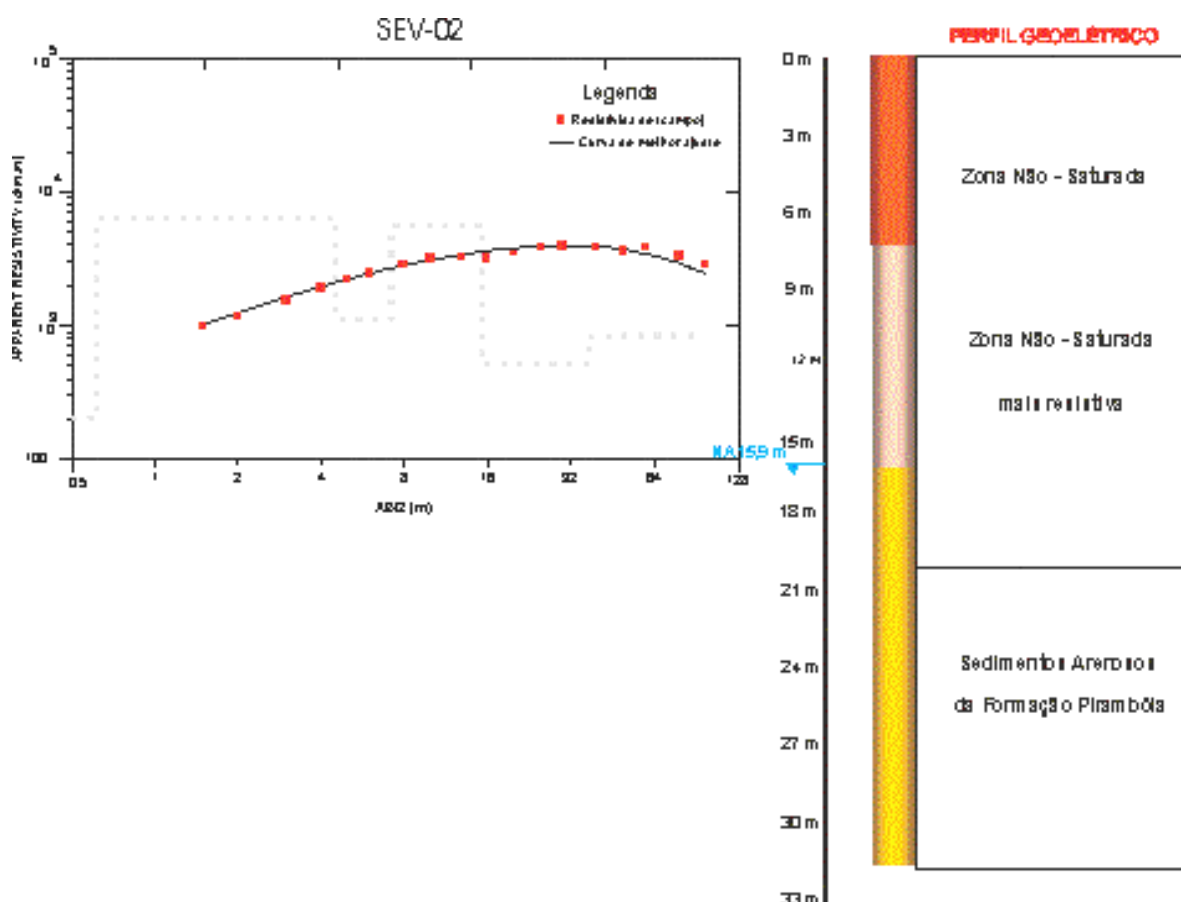


Figura 6. Perfis Geolétricos Típicos.

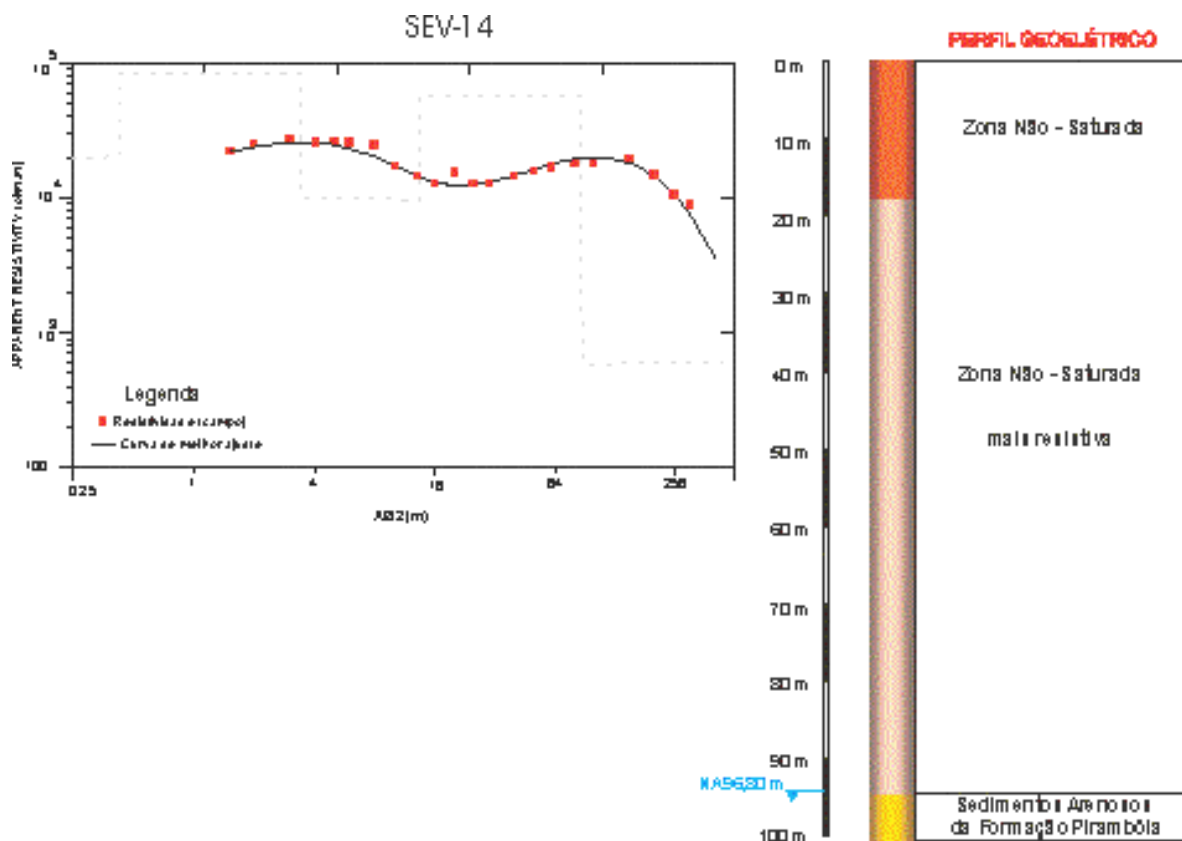


Figura 7. Perfis Geométricos Típicos.

O nível d'água subterrâneo, na maioria das SEVs, encontra-se logo abaixo do nível de cascalho. Dessa forma, pode-se concluir que a porção do Sistema Aquífero Guarani, existente na região, é representada pelos arenitos da Formação Pirambóia.

4.3 – Modelo Hidrogeológico Conceitual

O arcabouço geológico e hidrogeológico, levantado a partir de informações provenientes de levantamentos indiretos, possibilitou a elaboração de um bloco diagrama e de algumas seções geológicas que explicam o modelo hidrogeológico conceitual para a área (Figuras 8 a 11).

Claramente se observa a irregularidade do substrato impermeável, representado na área pelos diabásios da Formação Serra Geral, que afeta sobremaneira na capacidade de armazenamento de água dos reservatórios, constituídos principalmente pelos arenitos da Formação Pirambóia.

Nas seções das figuras 9 a 11, pode-se observar que os sedimentos da Formação Santa Rita do Passa Quatro apresentam-se geralmente insaturados, a não ser próximo ao Córrego Paulicéia, onde, em função da proximidade do nível d'água, apresentam-se saturados.

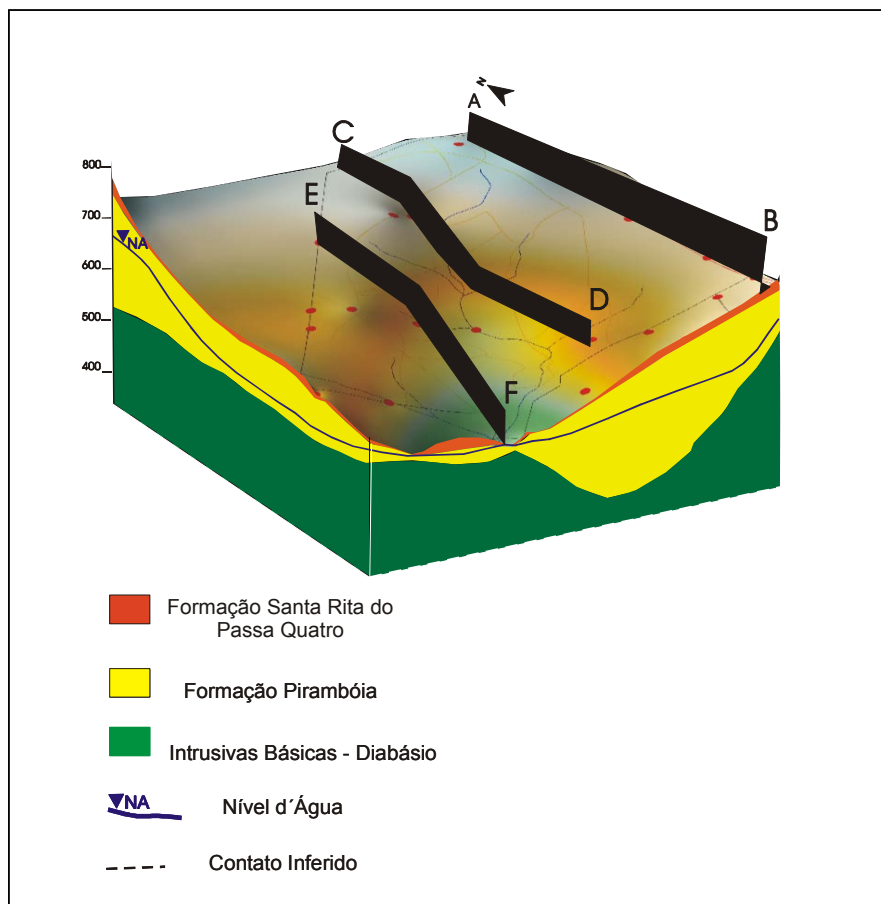


Figura 8. Bloco diagrama com a localização das seções geoeletricas cortando a área de estudo.

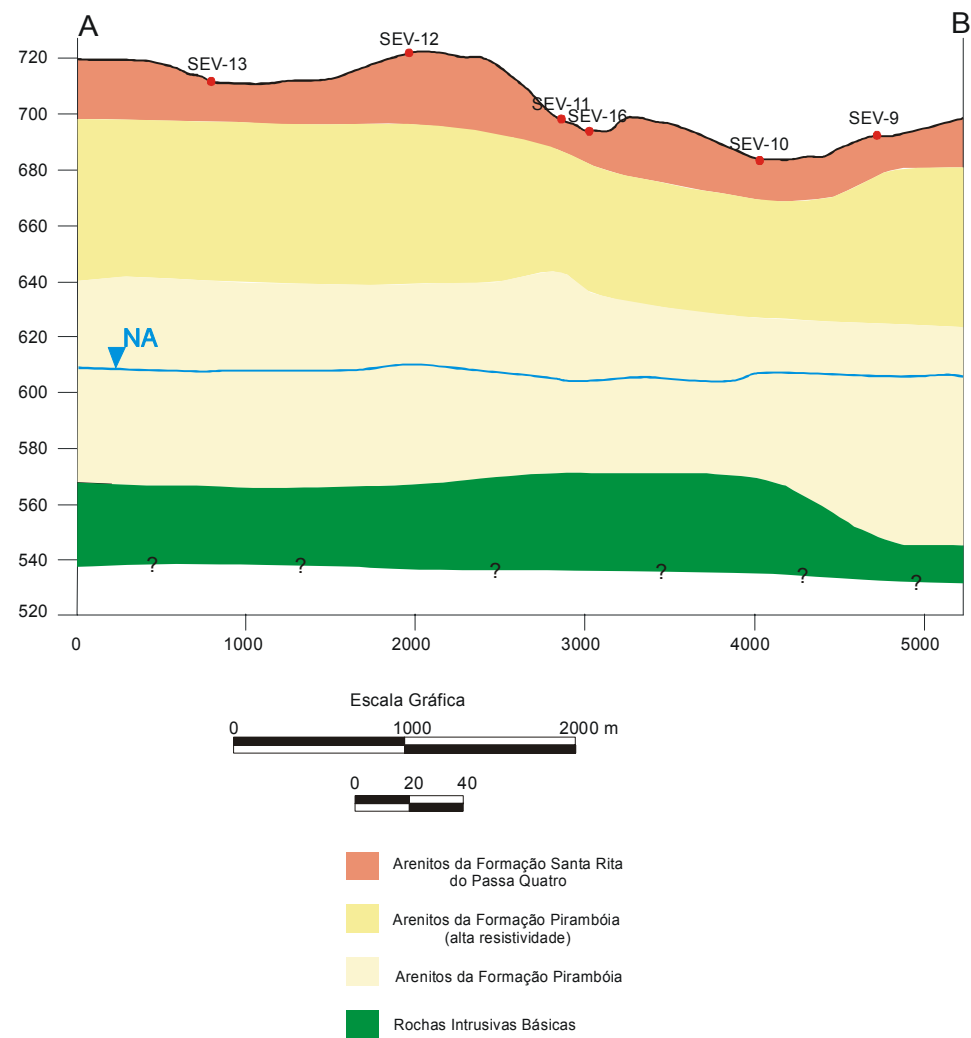


Figura 9. Seção Geológica AB

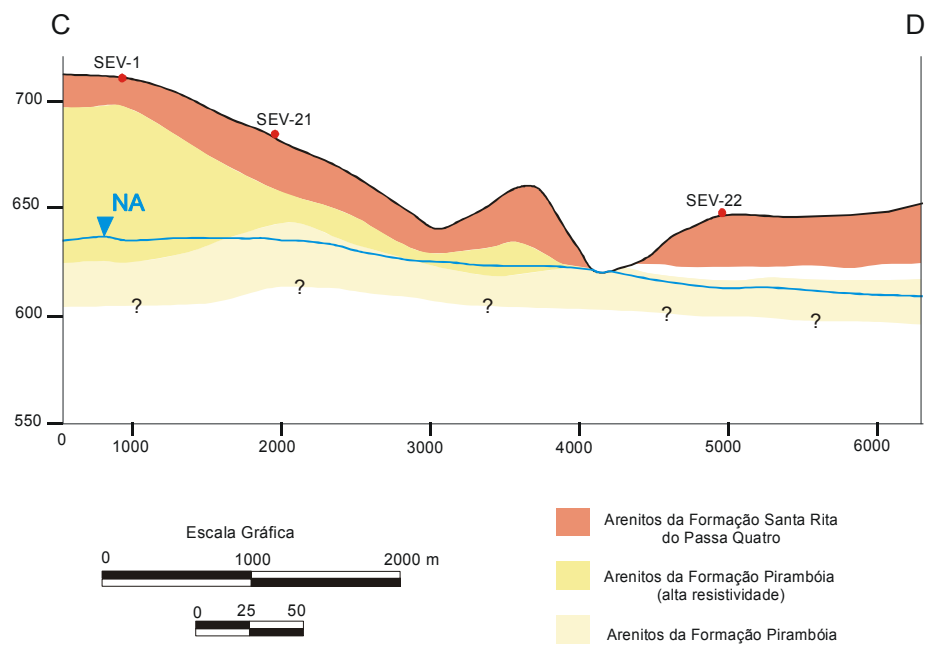


Figura 10. Seção Geológica CD

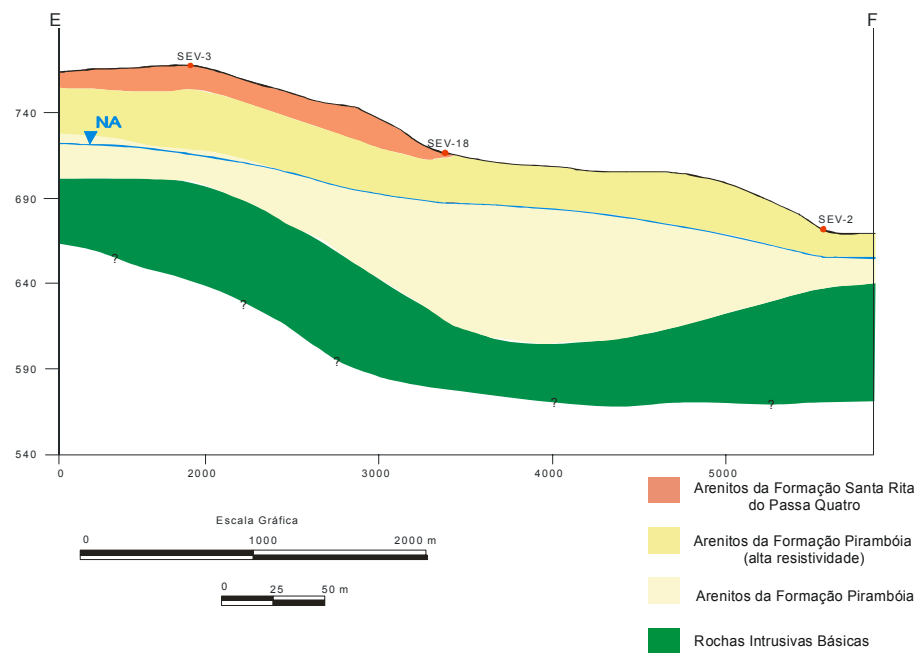


Figura 11. Seção Geológica EF

A unidade estratigráfica que representa o Sistema Aquífero Guarani na área, Formação Pirambóia, apresenta-se com nível d'água geralmente profundo, principalmente nas regiões de cotas topográficas mais elevadas, onde situa-se abaixo de 70 metros de profundidade.

É interessante observar que, apesar da superfície potenciométrica apresentar configuração semelhante àquela da superfície topográfica, os gradientes são distintos, reflexo provável do regime hidrológico, da alta permeabilidade dos arenitos presentes na área e, possivelmente, da inexistência de heterogeneidades expressivas na unidade hidroestratigráfica.

A irregularidade da superfície inferior do SAG, representada na área pelos diabásios da Formação Serra Geral, é claramente mostrada nas seções AB e EF, e confirmada pela CD (Figuras 9 a 11), onde não foram atingidas as rochas básicas, apesar da profundidade teórica investigada pelo método utilizado.

5 – Conclusões

A metodologia empregada na caracterização hidrogeológica de área de afloramento de formações geológicas, constituintes do Sistema Aquífero Guarani, mostrou-se importante na determinação de diversos aspectos relacionados ao arcabouço local, tais como:

- delimitação da superfície do nível d'água, que permitiu a elaboração de um mapa potenciométrico para a área, com a definição dos principais sentidos de fluxo da água subterrânea, potenciais áreas de recarga e de descarga locais destas águas, possibilitando a compreensão de sua dinâmica;
- determinação das unidades geológicas presentes em sub-superfície, e a caracterização de seu comportamento hidrogeológico.

Desta maneira, foi possível elaborar um modelo hidrogeológico conceitual, a partir de um modelo geoeletrico, para a área da reserva do Pé de Gigante, localizada no município de Santa Rita do Passa Quatro. O modelo resultante contempla os aspectos abaixo elencados.

- Foram definidas três unidades geoeletricas: uma representada por sedimentos predominantemente arenosos, de resistividade média a alta, associados à Formação Santa Rita do Passa Quatro; a segunda, também com valores de resistividade elevada, representando níveis de cascalheiras e os arenitos da Formação Pirambóia, que apresentam uma diminuição nos valores da resistividade, quando se atinge o

nível d'água; e, finalmente, uma terceira unidade com resistividade elevada, representada pelas rochas intrusivas básicas da Formação Serra Geral.

- A unidade aquífera existente na área é representada pelos sedimentos da Formação Pirambóia, e apresenta características de aquífero livre.
- A superfície potenciométrica está situada entre as cotas 572,6 m (SEV – 02) e 645,7 m (SEV – 11), com fluxo das águas subterrâneas orientado a partir das cotas altas (região Nordeste) para as cotas baixas (região Sudoeste).
- Esta superfície apresenta, grosso modo, configuração semelhante àquela da superfície topográfica, entretanto com gradientes menores.

A compreensão das condições de recarga e descarga locais e regionais, ou seja, dentro da dinâmica hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani, ainda depende de estudos complementares, que envolvem a quantificação dos componentes envolvidos no ciclo hidrológico.

6 – Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seu agradecimento a FAPESP (processos nº 02/09289-9 e 05/60335-0) e ao CNPq (processos nº140471/2003-0 e nº 305296/2005-1).

7 – Referências Bibliográficas

- [1] PIVELLO, R. V.; BITENCOURT, D. M.; JUNIOR, M. N. H.; BATALHA, A. M., 1999. Banco de Dados em SIG para Ecologia Aplicada: Exemplo de Cerrado Pé-de-Gigante, S.P. Caderno de Informações Georreferenciadas – CIG, 1 (3), 15 pp.
- [2] ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R. MELO, M. S; BISTRICHI, C. A., 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. I.P.T. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. São Paulo. (Série Monografias, 6), vol. 1.
- [3] MASSOLI, M., 1981. Geologia do Município de Santa Rita do Passa Quatro, SP. Rev. IG, São Paulo, 2(2), p. 35-45.
- [4] FREITAS, R. O., 1986. Formações Geológicas de Superfície. Folha Geológica Luiz Antonio. I.G. São Paulo. (Folha SF – 23 – VC – IV – 2, ESCALA 1:50.000).
- [5] ALMEIDA, F. F. M. de, 1974 – Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: SÃO PAULO. INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo. p.241-254. (Boletim, 41).

- [6] RUGGIERO, P. G. C., 2000. Levantamento pedológico relacionado às fitofisionomias encontradas na Gleba Cerrado Pé-de-Gigante, Parque Estadual de Vassununga, Santa Rita do Passa Quatro, SP. Dissertação de Mestrado, IB-USP, São Paulo, 159 pp.
- [7] OLIVA, A. 2002. Estudo Hidrogeológico da Formação Rio Claro no Município de Rio Claro – SP. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp- Rio Claro, 71 pp.