

ARQUITETURA GEOELÉTRICA DO SISTEMA AQUÍFERO BOA VISTA, BOA VISTA/RR (PORÇÃO URBANA-ZONA OESTE)

GEOELECTRIC ARCHITECTURE OF THE BOA VISTA AQUIFER, CITY OF BOA VISTA/RR
(WEST ZONE)

Ezequias Nogueira GUIMARÃES¹, Lena Simone Barata SOUZA²

¹Université de Poitiers. 15, Rue de l'Hotel Dieu 86000, Poitiers, France. E-mail: ezequias_guimaraes@hotmail.com

²Universidade Federal de Roraima. Avenida Capitão Ene Garcês, 2413 - Aeroporto, Boa Vista – RR.
E-mail: lenabarata@yahoo.com.br

Introdução
Materiais, métodos e técnicas
Caracterização da área de estudo
 Aspectos geológicos
 Caráter hidrogeológico
Eletrorresistividade
Apresentação de dados
 Levantamento Eletrorresistivo
 Conjunto Geoelétrico A (SEV 01, 03, 05 e 07)
 Conjunto Geoelétrico B (SEV 02, 04, 06 e 08)
Discussões, interpretações e resultados
 Modelo hidrogeológico do Sistema Aquífero Boa Vista
Considerações Finais
Referências

RESUMO - O Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) perfaz o Estado de Roraima, cujas águas abastecem grande percentual da capital, Boa Vista. Geologicamente, é caracterizado por rochas sedimentares e vulcânicas fraturadas, cuja profundidade, delimitação e variabilidade lateral é massivamente desconhecida. Tal fato, justifica a aplicação de ferramentas indiretas, dentre estas, a técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) com arranjo *Schlumberger*. A área de estudo engloba o meio urbano da capital roraimense (zona oeste, bairro Cidade Satélite). Assim, o modelo hidrogeológico proposto para o SABV indicou que as zonas permoporosas mais significantes estão localizadas entre NW e NE e são mais recomendadas para a instalação de poços tubulares. Os pacotes arenos-argilosos e arenosos são os mais recomendados. Os valores de resistividade desses pacotes oscilam entre 3.000 $\Omega\cdot m$ e menos de 14.000 $\Omega\cdot m$, com indicativo de uma zona favorável para a captação de águas subterrâneas. Logo, poços podem ser perfurados até a profundidade máxima de 55 m e mínima de 32 m, com vistas a captação de águas subterrâneas mais promissora.

Palavras-chave: Aquífero. Sondagem elétrica vertical. Zonas permoporosas. Modelo hidrogeológico. Saneamento. Roraima.

ABSTRACT - The Boa Vista Aquifer System (SABV) is located in the State of Roraima, and its waters supply a large percentage of the capital, Boa Vista. Geologically, it is characterized by sedimentary and volcanic fractured rocks, however its depth, delimitation and lateral variability are massively unknown. This fact justifies the application of indirect tools, including the technique of Vertical Electrical Sounding (SEV) with Schlumberger arrangement. The study polygon is inside the urban area of the capital of Roraima (western zone, Cidade Satélite neighborhood). Thus, the hydrogeoelectric model proposed for the SABV indicated that the most significant permoporous zones are located between NW and NE and are more recommended for the installation of tubular wells. Sandy-clay and sandy packages are suggested. The resistivity values of these packages oscillate between 3,000 $\Omega\cdot m$ and less than 14,000 $\Omega\cdot m$, identifying a favorable zone for the capture of groundwater. Therefore, wells can be drilled to a maximum depth of 55 m and a minimum of 32 m, seeking to capture groundwater with greater probability of success.

Keywords: Aquifer. Vertical electric sounding. Permoporous Zones. Hydrogeoelectric model. Sanitation. Roraima.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Rio Branco domina praticamente toda a área do Estado de Roraima e corresponde ao principal componente do sistema hidrográfico de Boa Vista (capital). Apesar da abundância deste manancial superficial, o suprimento de água na região urbana do município é proveniente majoritariamente da exploração de aquíferos.

A água de abastecimento das residências da capital de Roraima é explotada através de uma rede de mais de 102 poços tubulares sob o controle da Companhia de Água e Esgoto de

Roraima (CAER) e que abastecem a zona urbana da cidade (SEPLAN, 2014). Além da capital, a maior parte dos municípios do Estado utiliza principalmente água subterrânea, muitos com um significativo percentual de abastecimento oriundo deste recurso.

Contudo, o conhecimento deste reservatório denominado Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) é limitado em termos de dimensões, profundidade e volume.

Conforme Wankler et al. (2012) o SABV apresenta elevada permeabilidade. Este, por sua

vez funciona em quase toda sua extensão como um aquífero livre, e por consequência possui uma zona de recarga ao longo de toda sua superfície. Segundo You et al. (2020), as zonas de alta permeabilidade representam as vias primárias para o transporte de poluentes em águas subterrâneas, enquanto as zonas de baixa permeabilidade são frequentemente dominadas pela difusão e servem como sumidouros e fontes de poluentes ao longo de muitas décadas.

Além disso, a crescente expansão da capital boa-vistense resulta em cada vez mais pontos de perfuração do SABV, que ocorrem sem estudos prévios do impacto da perfuração ou quanto aos locais mais adequados. Por exemplo, a profundidade do nível freático raso é um fator importante para pormenorizar uma área com prioridade para a ocupação de atividades possivelmente poluidoras do subsolo e ampliação da rede de esgoto nas áreas mais vulneráveis.

A escassa quantidade de trabalhos acerca do principal recurso hídrico subterrâneo vigente no estado, sobretudo no que diz respeito a geometria dos corpos geológicos em profundidade, é fator preponderante e que justifica o presente estudo. Neste trabalho foram realizadas Sondagens Elétricas Verticais (SEV) para uma investigação indireta das propriedades físicas do ambiente geológico do aquífero. Também foi possível avaliar a disposição espacial do aquífero a partir do mapeamento das camadas litológicas permporosas com potencialidade aquífera, tendência e possível poluição superficial e vulnerabilidade a contaminação.

A Sondagem Elétrica Vertical foi anteriormente utilizada em Roraima por Souza & Carvalho

(2017) e Souza & Andrade (2018) em diferentes pontos da capital, com o intuito de caracterizar geologicamente o Sistema Aquífero Boa Vista. Estudos semelhantes foram feitos em outros estados do norte do Brasil, como por exemplo para prospecção de água subterrânea na região de Belém (PA) por Mendes & Verma (2002) e na cidade de Manaus (AM) por Souza & Verma (2005). Além do uso difundido em outras regiões do país, a técnica possui também aplicação internacional no campo da hidrogeologia, como evidenciado pelos trabalhos de Bello et al. (2010) na Nigéria.

Em estudos prévios para subsidiar o Plano Diretor da cidade de Boa Vista, Vale-Júnior & Souza (2005) e Ávila (2007) apontaram o bairro Cidade Satélite como uma alternativa para o crescimento urbano devido às boas características físicas e morfológicas, elementos positivos para a engenharia civil. Esse aspecto foi decisivo para a escolha do bairro Cidade Satélite, Zona Oeste, município de Boa Vista/RR como área foco de trabalho

A importância dos aquíferos para o abastecimento público e para o planejamento urbano e ambiental é de suma importância para os municípios brasileiros. Logo, é imprescindível melhorar a qualidade dos dados disponíveis sobre o SABV acerca do potencial aquífero na região para que aconteça o uso de modo sustentável dos mananciais subterrâneos da capital boa-vistense. De modo igual, os resultados desta pesquisa auxiliarão na delimitação de locais mais favoráveis para a locação de poços produtivos na zona oeste da cidade, especialmente no Bairro Cidade Satélite.

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

Caracterização da área de estudo

Inserido na região amazônica ocidental, o estado de Roraima tem Boa Vista como capital, sendo a única capital brasileira totalmente acima da Linha do Equador, ocupa 5.687,037 km² (que corresponde a 2,5% do Estado) e conta com 375.374 habitantes (IBGE, 2018).

A cidade de Boa Vista tem até o presente momento 43 bairros e mais de 80% dos habitantes do Estado. A área mais afetada pela falta de saneamento básico na capital é a zona oeste, embora esteja em franca expansão, principalmente em áreas não recomendadas (Araújo Júnior, 2016). Os bairros desta zona em sua maior parte, são desprovidos de sistemas de engenharia (vias, redes

de água e esgoto), e ao mesmo tempo um local de grande utilização do Sistema Aquífero Boa Vista.

No contexto da pesquisa a área de estudo está localizada no Bairro Cidade Satélite, zona urbana da cidade de Boa Vista.

A ocupação da área urbana após o Igarapé Caraná é recente e teve início nos anos 2000 com a construção do residencial Cidade Satélite pela Imobiliária Potiguar (hoje Erasmo Sabino). Atualmente o bairro se estende por uma área de aproximadamente 5.000 km², possui cerca de 5.940 moradores e conta com 450 metros de calçamento e 1 km de pavimentação (IBGE, 2018), com acesso pelas avenidas Parimé Brasil, Carlos Pereira de Melo e Padre Anchieta.

A localidade está posicionada em uma região limítrofe entre as formações Boa Vista e Apoteri da Bacia do Tacutu (CPRM, 2014); por conse-

quência, a pesquisa resultou igualmente em uma caracterização inicial do SABV no contato destas formações (Figura 1).

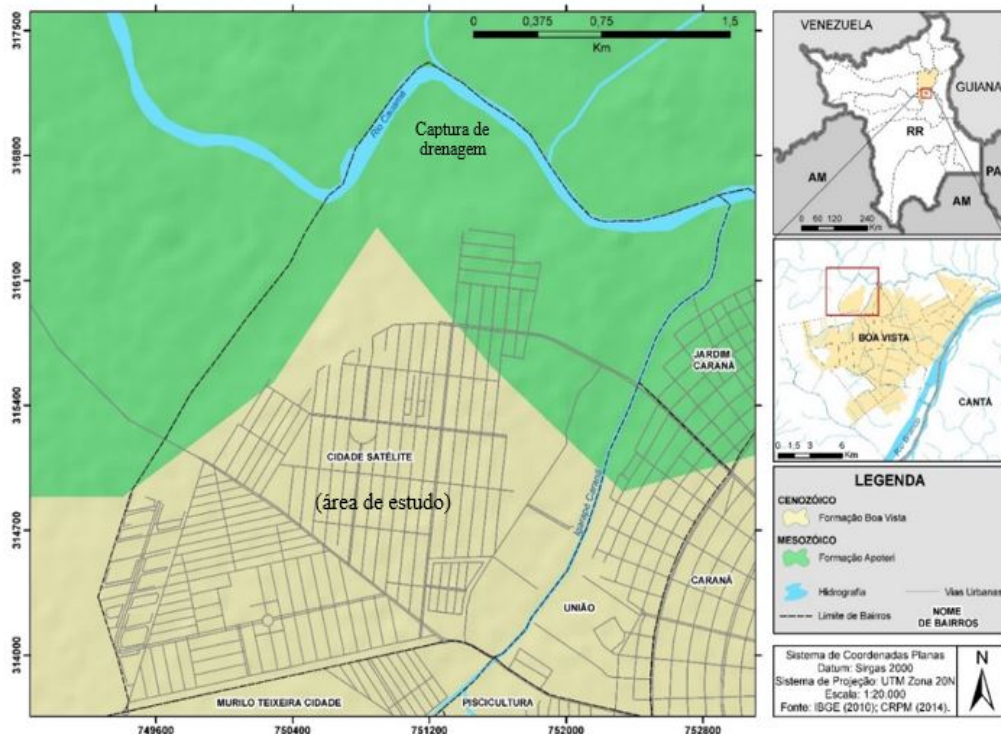


Figura 1 - Localização da área de estudo, com destaque para o contexto geológico local (Modificado com base em IBGE, 2010 e CPRM, 2014).

Os impactos à qualidade da água na região são principalmente originados do mau uso pela população (Figura 2), como lançamentos de dejetos e esgoto doméstico de forma irregular, diretamente nas valas de drenagem que escoam ao igarapé como também a ocupação das margens (Veras & Souza, 2010). A Política Ambiental voltada para os Recursos Hídricos de Boa Vista (Boa Vista, 2006)

resguarda uma faixa de preservação de 100 m para o Rio Cauamé, e uma faixa de preservação de 50 m para o Igarapé Caraná, que definem os limites de ocupação do Bairro Cidade Satélite. Este é um dos maiores bairros da capital e uma área estratégica de Boa Vista para ordenamento e estruturação habitacional, considerado como região para direcionamento da expansão urbana da cidade.

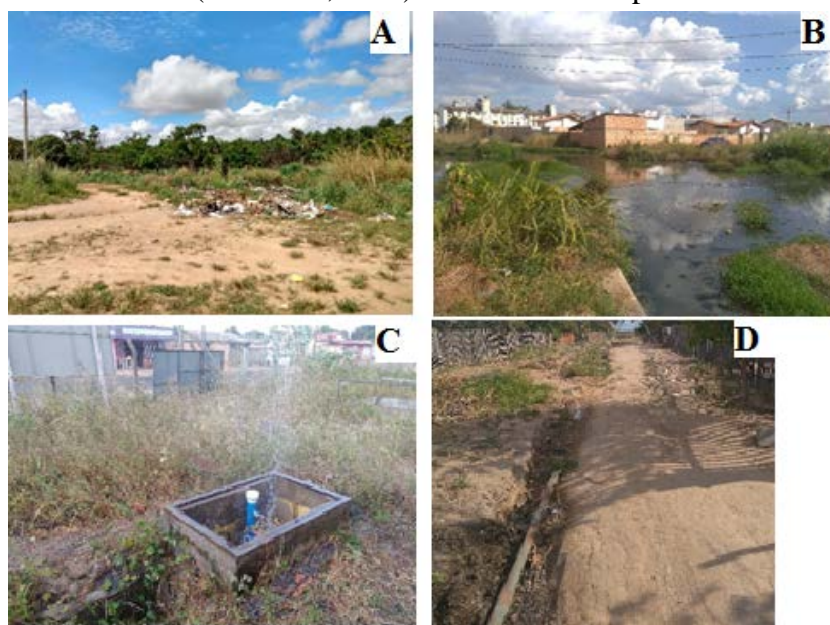


Figura 2 - Impactos à qualidade da água no Bairro Cidade Satélite. A) Lançamento de lixo em área de preservação ambiental. B) Esgoto a céu aberto.; C) Instalação da Companhia de Águas e Esgoto de Roraima, em estado de abandono e com poço jorrando; D) Tubulação para abastecimento de água.

Aspectos geológicos

A cidade de Boa Vista está localizada na região nordeste do estado de Roraima, dentro do domínio Guiana Central do Cráton Amazonas. A litologia da área é resultado dos depósitos neógenos referentes a Bacia do Tacutu, assentados sobre a Formação Apoteri, constituída principalmente por basaltos (Figura 1) (Eiras & Kinoshita, 1990). Sobrejacente ocorre a Formação Boa Vista com predominância de arenitos e secundariamente argilitos com níveis conglomeráticos, eventualmente laterizados, possivelmente depositada no fim do Pleistoceno (Figura 1).

Sobreposta a Formação Boa Vista está a Formação Areias Brancas, constituída de areias predominantemente eólicas, parte fluvial, considerada o produto do retrabalhamento dos depósitos da Formação Boa Vista (Vaz et al., 2007). Depósitos aluviais recentes (areais, cascalhos e, menos frequentemente, argilas) ocorrem nos leitos e terraços dos principais cursos d'água que drenam a região (Montalvão et al., 1975) relacionados a denudação e assoreamento no Holoceno.

Caráter hidrogeológico

Dados da CPRM (2007) indicam que o estado de Roraima está situado na Província Hidrogeológica do Escudo Setentrional, onde os melhores aquíferos ocorrem em areias e arenitos finos, médios e grosseiros, que constituem os terraços aluviais pertencentes ao Cenozoico.

De maneira geral, o SABV é um aquífero de elevada permeabilidade e vazão de quase 80 m³/h (dados de poços tubulares de 40 m de profundidade), composto por sedimentos coluvionares e aluvionares do Neógeno e Quaternário (inclusive a Formação Areias Brancas), sedimentos semiconsolidados arenosos e argilosos do Neógeno (Formação Boa Vista) e rochas areníticas do Cretáceo (Formação Serra do Tucano) (Wankler et al., 2012). Sua espessura varia de 15 m a 120 m (Reis et al., 2003; Vaz et al., 2007). Outra fonte de abastecimento para a capital Boa Vista, é proveniente da água superficial do Rio Branco (Figura 3). A capital está localizada nas margens do Rio Branco, principal recurso hídrico regional e entre seus afluentes, com destaque para o Igarapé Grande e o Rio Cauamé, principal afluente pela margem direita do município (Farias et al., 2013).

A bacia hidrográfica do Rio Cauamé compreende uma de área de 3.165 km² e média de 59 poços a cada 1.000 km² (CPRM, 2016). Em grande parte da bacia ocorre terreno sedimentar. Contudo, duas áreas contrastam geologicamente: basaltos no baixo curso e metassedimentos (para-gnaisses e *meta-cherts*) nas cabeceiras. Na área dos basaltos o destaque é para a serra Nova Olinda. Na zona oeste de Boa Vista (área de estudo) é comum a ocorrência de depósitos lateríticos e de saprólitos formados pelo intemperismo dos basaltos, atualmente explorados para recuperação de estradas (CPRM, 2002).

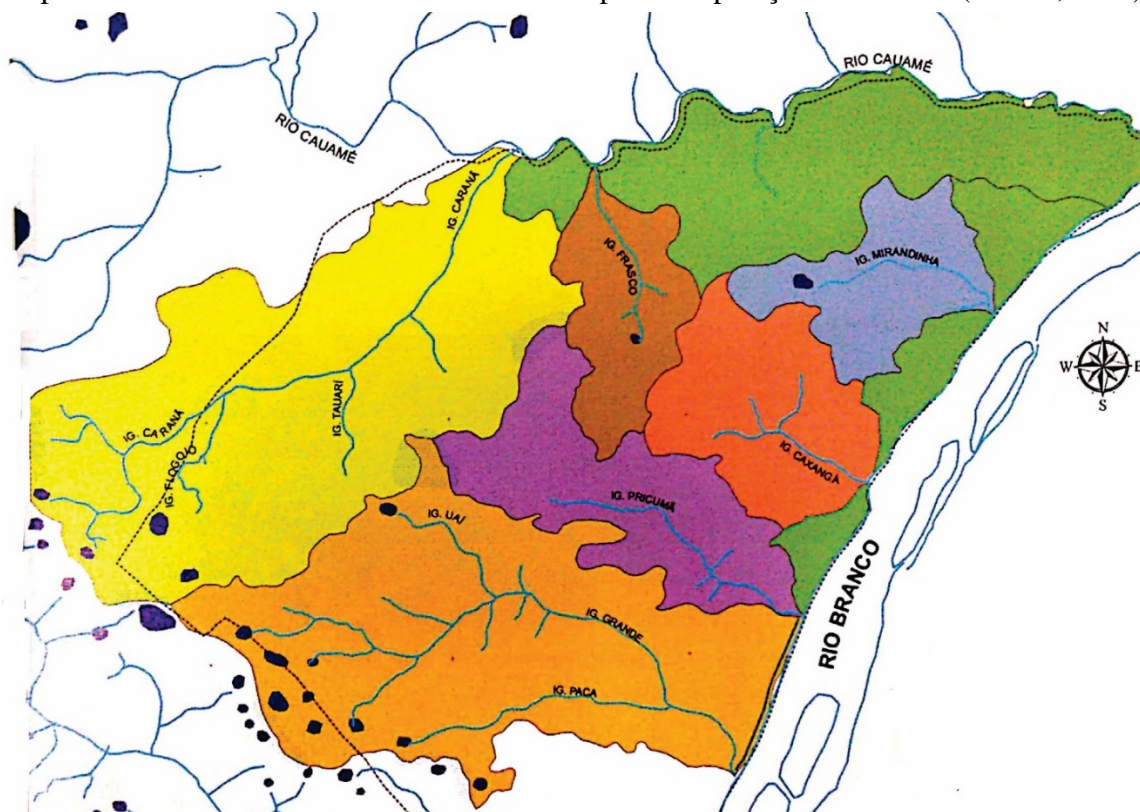


Figura 3 - Bacia Hidrográfica do Rio Branco e Rio Cauamé (Modificado de Souza et al., 2010).

A bacia hidrográfica do Igarapé Caranã é uma microbacia do Rio Cauamé geograficamente distribuída dentro de uma área predominantemente urbana, na qual estão inseridos cerca de 11 bairros da capital na margem direita e outros 3 na margem esquerda, área foco deste estudo (bairro Cidade Satélite). A microbacia do Igarapé Caranã nasce em uma declividade próxima aos bairros mais populosos da cidade de Boa Vista e percorre 9,2 km até sua foz com o rio Cauamé (Nascimento et al., 2017).

Ainda conforme dados do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, 2018) o aquífero é do tipo granular, representado por rochas sedimentares do tipo arenito arcoseano e, por vezes, arenito conglomerático, com baixo grau de faturamento. No limite da área dos poços ocorre o aquífero de embasamento fraturado indiferenciado, domínio hidrogeológico formado por derrames basálticos da Formação Apoteri. As rochas dessa região possuem um baixo grau de faturamento e são compostas de granitoide, vulcânica, meta-vulcânica, metassedimento, gnaiss, migmatito, granulito, xisto e quartzito.

Eletrorresistividade

Pertencente ao grupo dos métodos geofísicos elétricos, a eletrorresistividade fornece parâmetros relacionados ao fluxo de corrente elétrica. Os valores de resistividade aparente variam com

inúmeros fatores, sendo os principais a constituição mineralógica, textura e estrutura interna dos materiais, conteúdo de fluidos e grau de saturação (Oliva & Chang, 2007).

Quanto a medidas de resistividade elétrica dos materiais geológicos, é necessário o uso de procedimentos específicos. A técnica da sondagem elétrica vertical (SEV) é muito empregada em situações onde se deseja investigar a variação vertical da resistividade sem a necessidade de escavações (Oliva & Chang, 2007).

Neste estudo foi utilizado o Resistímetro GeoTest RD-1000A. O equipamento é constituído por uma unidade transmissora (*Geotest RD-1000 TX*) e outra receptora (*Geotest RD-1000 RX*). A unidade transmissora é alimentada por duas baterias de 12 V em série com tensão de saída entre 5V a 800V, enquanto a unidade receptora é alimentada por oito pilhas alcalinas de 1,5 V (Figura 4).

O dispositivo de medida é composto por quatro eletrodos metálicos não polarizados, pois o equipamento trabalha sobre o princípio de corrente contínua, sendo dois eletrodos de corrente (A e B) e dois eletrodos de potencial (M e N) (Figura 4). Os eletrodos de corrente e os de potencial são conectados por cabos a uma fonte de corrente elétrica contínua ou alternada de baixa frequência disposta em série a um amperímetro conectados em série a um voltímetro.

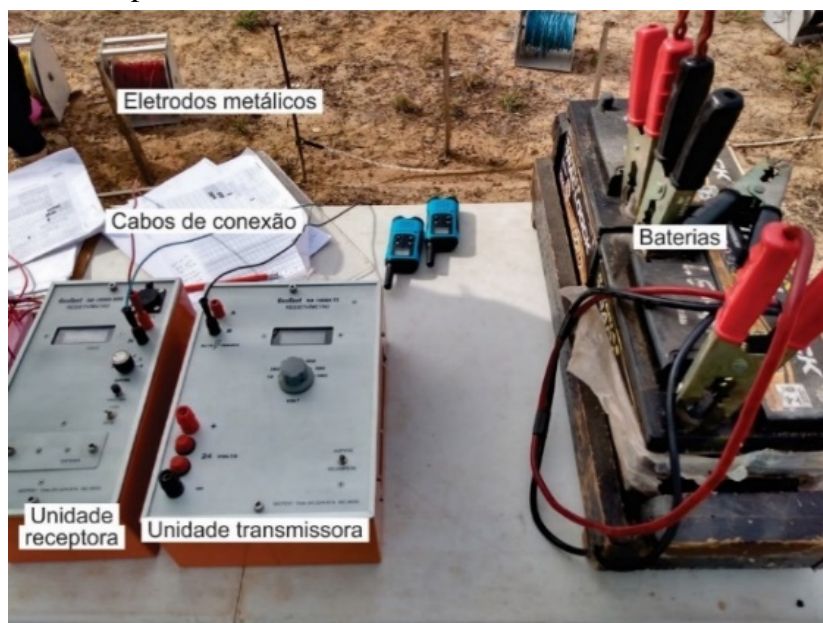


Figura 4 - Equipamento Resistímetro Geotest RD-1000A.

O dispositivo de medida é composto por quatro eletrodos metálicos não polarizados, pois o equipamento trabalha sobre o princípio de corrente contínua, sendo dois eletrodos de corrente (A e B) e dois eletrodos de potencial (M e N) (Figura 4). Os eletrodos de corrente e os de potencial são conectados

por cabos a uma fonte de corrente elétrica contínua ou alternada de baixa frequência disposta em série a um amperímetro conectados em série a um voltímetro.

A disposição dos eletrodos na superfície do terreno é denominada de arranjo e determina como

acontecerá a sondagem e o utilizado foi *Schlumberger*. Para aumentar a profundidade de investigação, separam-se os eletrodos A e B (eletrodos de corrente) progressivamente e simetricamente ao centro O enquanto a distância que separa os eletrodos M e N (eletrodos de potencial) é mantida fixa e tende a zero (Oliva & Chang, 2007). O modelo geoeletrico final obtido através da interpretação dos dados, é atribuído ao ponto central do arranjo (Figura 5).

Ao introduzir, no subsolo, a corrente elétrica (I) por meio dos eletrodos A e B, resulta que entre os eletrodos M e N mede-se a diferença de potencial (ΔV) criada. As medidas obtidas são utilizadas para o cálculo da resistividade elétrica aparente, que

ainda leva em consideração o coeficiente geométrico (k), por meio da equação 1:

$$\rho_a = k \cdot \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

(Equação 1)

Desta forma são medidos os valores de diferença de potencial e corrente, anotados numa ficha de campo para o cálculo da resistividade aparente e representados por meio de uma curva bilogarítmica, utilizada para avaliação inicial do comportamento do terreno. Em seguida os dados são processados utilizando o programa de inversão *IPIWin2* (*Geoscan-M Ltda*).

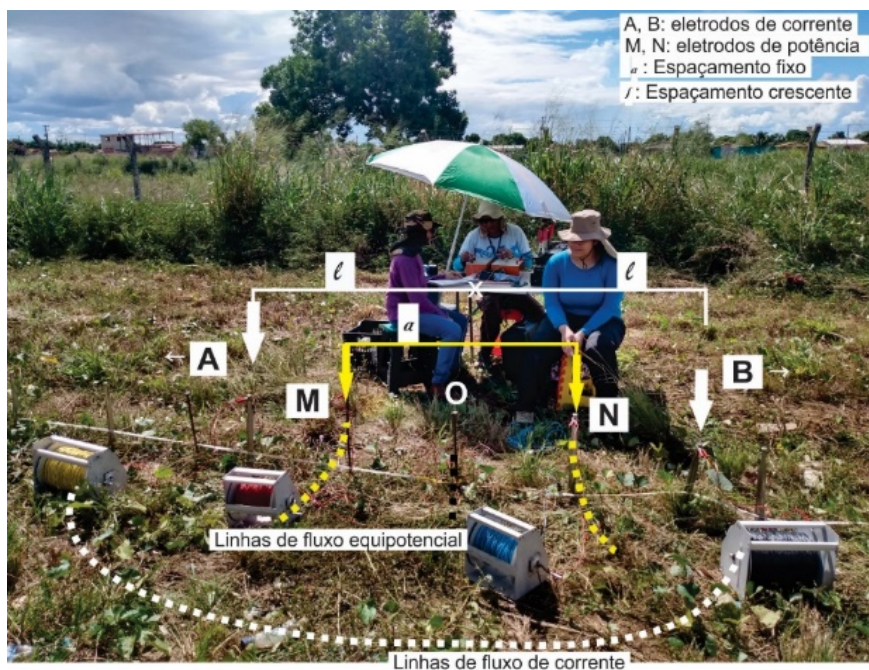


Figura 5 - Disposição dos eletrodos durante a sondagem elétrica vertical, segundo arranjo *Schlumberger*.

APRESENTAÇÃO DE DADOS

Levantamento eletrorresistivo

O estudo geofísico compreendeu oito Sondagens Elétricas Verticais (SEV) com profundidades de investigação mínima de 32 m e máxima de 180 m, num total de dezenove níveis de investigação (Figura 6).

Os locais de coletas estavam próximos a áreas pavimentadas, e por isso atentou-se para que a sondagem acontecesse sempre em situação de pouca variação topográfica e ao longo de uma linha reta. A quantidade de sondagens, assim como a profundidade de investigação (abertura dos eletrodos) e direção da coleta foi definida pela disponibilidade de espaço em cada caso. É válido mencionar que na figura estão posicionados os poços tubulares utilizados no presente trabalho, segundo dados do SIAGAS (2018),

estes foram produzidos pela CAER e a CMT - Engenharia, e aparentemente instalados nos anos 1990 e 2013.

Para a interpretação foram utilizados dados de poços disponibilizados pelo SIAGAS, que serviram como ponto de partida para posicionamento e discriminação da malha para investigação geofísica, para uma tentativa de correlação entre o perfil litológico do poço e o dado elétrico obtido. Desta forma, foram estabelecidos modelos geoeletricos factíveis ao contexto hídrico subterrâneo para os diversos pontos investigados. Os resultados foram reunidos em dois grupos distintos em termos de contraste nos valores de resistividade e perfil litológico.

Assim, as SEV 01, 03, 05, e 07 englobam o conjunto geoeletrico A (Figura 7), atingindo mais

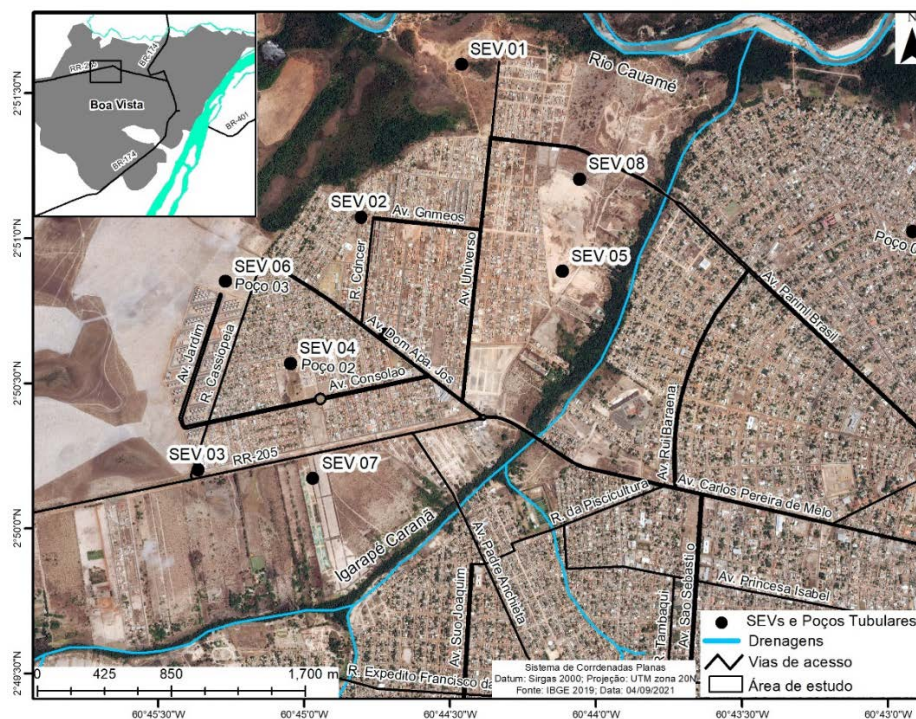


Figura 6 - Mapa de pontos: Sondagem Elétrica Vertical (SEV 01 a 08) e poços (01 a 03) no Bairro Cidade Satélite-zona oeste no município de Boa Vista/RR.

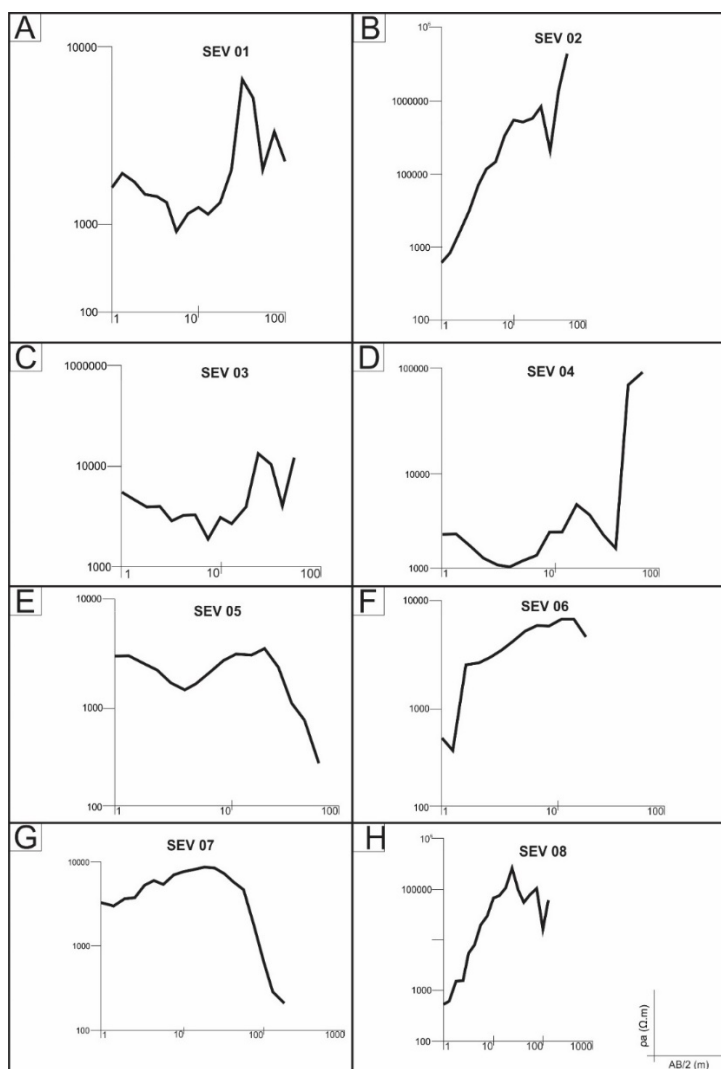


Figura 7 - Curvas de sondagens elétricas verticais realizadas no bairro Cidade Satélite. A numeração no topo de cada curva identifica a SEV.

de 55 m de profundidade sem apresentar valores de resistividade aparente associados a rocha ígnea, enquanto as SEV 02, 04 e 08 formam o conjunto geoeletrico B (Figura 7) e apresentaram valores de resistividade associados a rocha vulcânica em profundidades inferiores a 55 m, conforme apresentado nos subitens abaixo. A SEV 06 teve como profundidade máxima de investigação o intervalo de 32 m, com ocorrência apenas de valores de resistividade relacionados a sedimentos arenosos, porém muito próximo ao local da coleta está um poço do SIAGAS cujo perfil construtivo indica o aparecimento da rocha ígnea a menos de 55 metros de profundidade, e por isso, a SEV 06 foi incorporada ao conjunto geoeletrico B.

Conjunto Geoeletrico A (SEV 01, 03, 05 e 07)

A SEV 01 está localizada nas imediações das cicatrizes da planície de inundação do Rio Cauamé, distante aproximadamente 5 km deste rio, cuja profundidade de investigação girou em torno de

100 m, i. e., abertura máxima entre eletrodos de corrente igual a 200 m ($AB/2 = 100$ m). As SEV 03 e 07 foram prospectadas na região sul da área estudada e a SEV 05 na porção leste. A SEV 03 teve como profundidade máxima de 55 m, à medida que a SEV 05 alcançou 75 m e a SEV 07 atingiu 180 m.

No leito do rio Cauamé, cuja margem está em um desnível de mais de trinta metros com relação ao local da sondagem da SEV 01, afloram rochas basálticas da Formação Apoteri. Este local é utilizado como área de recreação da população local, conhecido pelo nome de Praia da Cachoeirinha.

A disposição das rochas desta Formação é restrita a blocos rolados de tamanhos centimétricos a matações, por vezes, exibem estruturas de alívio de pressão, além de esfoliação esferoidal. As fraturas apresentam direção principal NE/SW com algumas E-W. A exposição rochosa está levemente intemperizada e visivelmente fraturada (Figura 8).

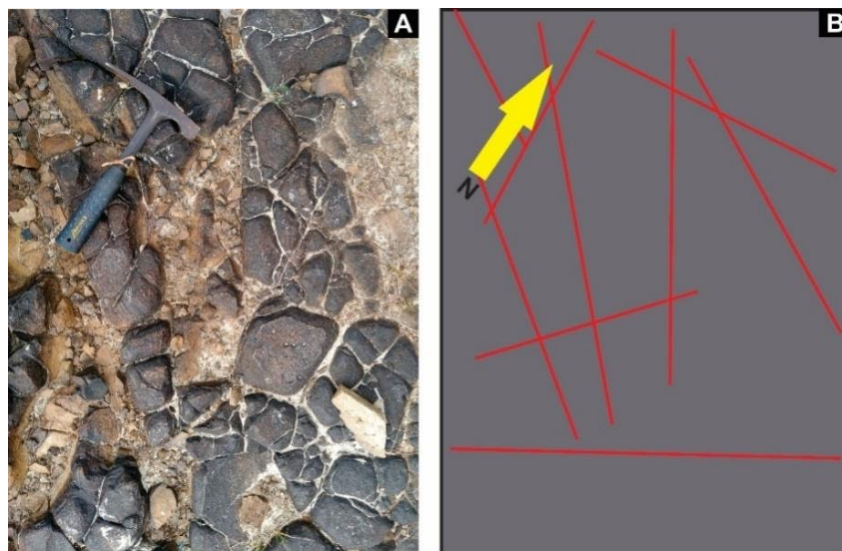


Figura 8 - Afloramento de rochas vulcânicas da Formação Apoteri. Local: margem esquerda do rio Cauamé. Croqui com destaque para a direção das principais fraturas observadas.

Em outra parte da drenagem que perfaz a área correspondente a Formação Boa Vista fora confeccionado um perfil litológico em um afloramento existente na margem direita do Igarapé Caranã, próximo as imediações da SEV01 (Figura 9), cuja descrição corresponde a: 1ª. camada (base) - espessura de 50 cm, composta por areia muito fina, rica em argila cinza clara com oxidação de basaltos (basalto na margem esquerda do igarapé), completando horizonte saprolítico com estrutura maciça e adentra o rio; 2ª. camada - espessura de 80 cm, constituída por areia fina, rica em silte e argila cinza escura e com maior quantidade de areia que a camada inferior; e 3ª. camada (topo) - espessura em torno

de 3 m, formada por areia fina com presença subordinada de silte.

Outro perfil litológico foi igualmente confeccionado para região da SEV 03 a partir de seção vertical de uma escavação para fossa séptica (Figura 10), com aproximadamente 3 metros de profundidade. A descrição para o presente perfil retratou quatro camadas areníticas (granulometria variável de silte a areia grossa) com contato irregular e estrutura maciça.

A SEV 05 tem sua localização distando aproximadamente 250 m da margem direita do igarapé Caranã, próximo a microbacia deste Igarapé está o Poço 01 (Figura 4). Este apresenta profundidade em torno de 45 m com um perfil colunar indicando

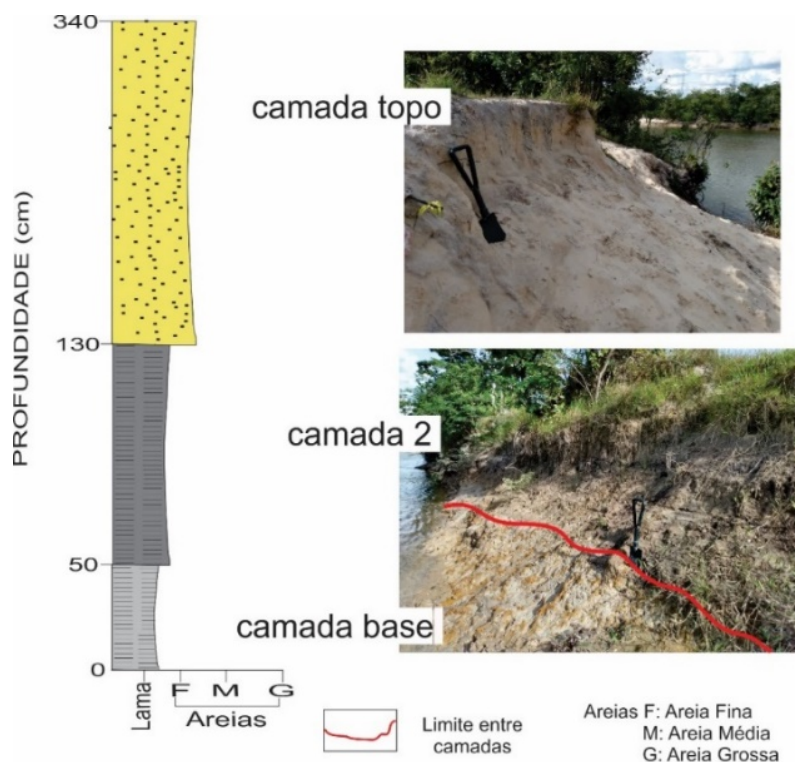


Figura 9 - Seção colunar litológica nas imediações da SEV 01.

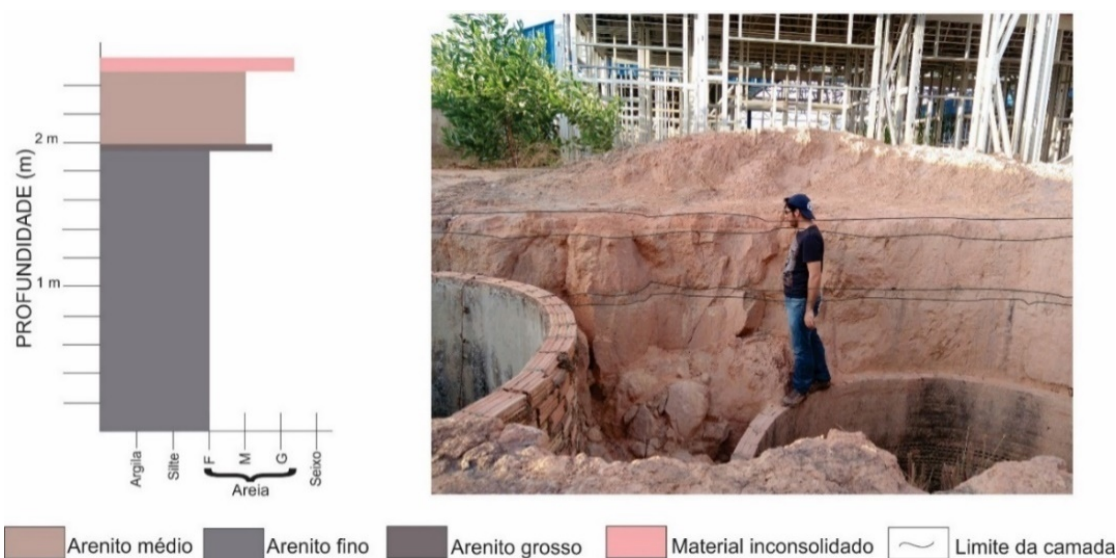


Figura 10 - Seção colunar litológica descrita no local da SEV 03.

a presença de sedimentos majoritariamente argilosos, desde argilito-arenoso (27%), arenito médio/grosso argiloso (40%), e argilito (33%) reunidos na Formação Boa Vista (SIAGAS, 2018) (Figura 11).

É importante mencionar que nas áreas de coletas das SEV 01 e 05 os pacotes sedimentares mais superficiais observados são do tipo arenargiloso. Contudo, para os sedimentos superficiais das SEV 06 e 07 um caráter arenoso e bem coeso por conta da grande quantidade de argilominerais na matriz é observado (Figura 12).

O estudo de Ávila (2007) identifica uma maior predominância de níveis arenosos em relação aos argilosos bem representativo para o

Bairro Cidade Satélite, através dos trabalhos de perfurações de poços na cidade de Boa Vista. Assim, até a profundidade de 5,5 m o levantamento geoeletrico indica a existência de pacotes sedimentares arenosos ainda com grande quantidade de argila, como observado no perfil descrito na área com aproximadamente três metros de profundidade (Figura 10).

A partir da profundidade de 7,5 m predominam sedimentos argilo-arenosos até 18 m de profundidade. Uma maior concentração de sedimentos finos (silte e argila) é indicada pela diminuição dos valores de resistividade em sedimentos arenosos.

A intercalação de material arenítico de diferentes

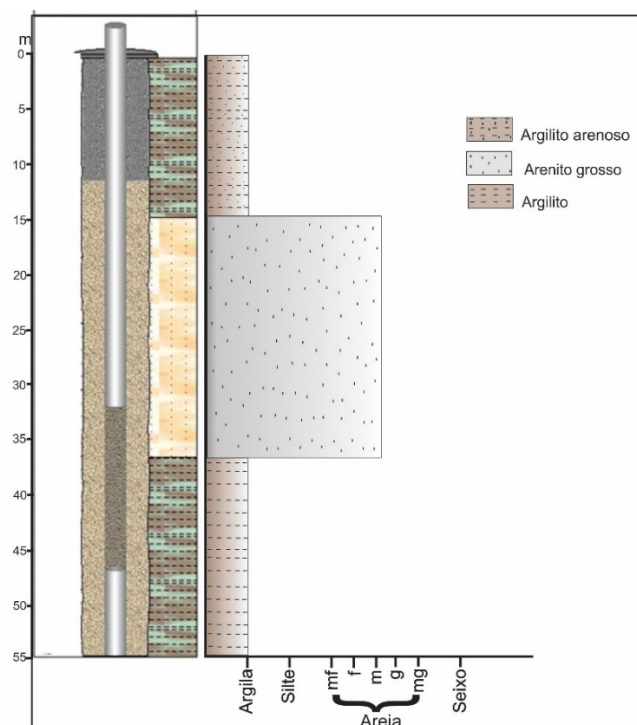


Figura 11 - Perfil descritivo baseado na Ficha Técnica Completa do Poço 01 (Adaptado da Ficha Técnica Completa de Poço – SIAGAS, 2018).



Figura 12 - Detalhe do tipo de solo encontrado no local da sondagem número 06 e 07.

granulometrias com pelitos, os quais são predominantes na Formação Boa Vista, pode ser observada no perfil litológico descrito no local da SEV 03, onde uma delgada camada de arenito grosso está compreendida entre pacotes de arenito fino e médio (Figura 10).

A predominância de material com característica mais arenosa próximos a superfície, é por exemplo observado nas informações disponíveis no perfil descritivo do poço 01 (Figura 11). Em seguida os sedimentos estão mais argilosos apesar da quantidade de areia.

A característica cíclica da deposição de sedi-

mentos arenosos e argilosos é igualmente evidenciada no comportamento geofísico da curva de resistividade elétrica da SEV 05. Os menores valores de resistividade elétrica, entre 315 Ω .m e 1.698 Ω .m, remetem a um material argiloso, enquanto valores de resistividade aparente entre 2.111 Ω .m e 3.545 Ω .m indicam predomínio de sedimentos arenosos amplamente distribuída ao longo da Formação Boa Vista (Reis et al., 2003).

Dessa forma, os valores muito baixos de resistividade (entre 306 Ω .m e 510 Ω .m) discriminados na SEV 01, mostram provável intercalação de

materiais arenosos a argilosos, com destaque para maior presença de argila. A forte presença de argilominerais, mesmo nos pacotes sedimentares arenosos também é comprovada pela observação de que a área de coleta é utilizada para retirada de barro para terraplanagem e de piçarra (associados a basaltos) os quais vêm sendo explorados para recuperação de estradas (CPRM, 2002).

Valores de resistividade entre 82 e 254 $\Omega.m$ na SEV 01 e menores que 315 $\Omega.m$ nas SEV 05 e 07 estão relacionadas as condições operacionais, de um modo geral, não muito favoráveis pelo fato do ambiente ser altamente condutivo, o que provoca elevados valores de corrente e baixos valores de potencial. Em contrapartida, diversos autores, entre eles Elis & Zuquette (2002), Fachin et al. (2006), Nunes & Luiz (2006), Pereira & Lima (2007) e Cunha & Shiraiwa (2011) destacam que anomalias de resistividades extremamente baixas comparadas com os valores de materiais litológicos não contaminados são indícios de contaminação. No entanto, não foi identificada atividade potencialmente contaminadora na localidade estudada, logo os menores valores de resistividade elétrica são tratados como pertencentes a pacotes sedimentares quase inteiramente formados por argilominerais, muito comum na região.

Em virtude da extensa ação da ciclicidade e variação dos sedimentos, as melhores zonas permoporosas estão localizadas entre a profundidade superior a 32 metros e inferior a 42 metros. Os valores médios de resistividade elétrica entre 10.445 $\Omega.m$ e 13.118 $\Omega.m$ na SEV 03, e valores de resistividade aparente na ordem de 2.740 $\Omega.m$ a 4.418 $\Omega.m$ na SEV 01, além da diminuição dos valores de resistividade aos 32 m de profundidade na SEV 07, podem estar sugerindo pacotes majoritariamente arenosos saturadas em água. Os sedimentos coletados na área são predominantemente de arenitos médios a grosso, com boa porosidade e permeabilidade, ideais para exploração de água subterrânea. Portanto, perfurações a essa profundidade evitam pacotes sedimentares com grande presença de argila, comuns no local.

Além disso, a expressiva queda dos valores de resistividade aparente para a profundidade de 42 metros (4.047 $\Omega.m$) pode caracterizar um possível aumento no grau de saturação do arenito. Em seguida voltam a conter maior quantidade de argila, possivelmente intercalado

com lentes de argila em pacotes areníticos de diferentes granulometrias. A partir dos 100 m de profundidade a SEV 07 registou valores de resistividade aparente entre 657 $\Omega.m$ e 201 $\Omega.m$, indicativo de constituição mais argilosa e neste caso podem funcionar como formação aquítarde, por conta da baixa permeabilidade dos sedimentos.

Os demais valores de resistividade das areias argilosas da região também apresentam níveis saturados em água, porém correspondem ao nível freático raso e não consistem em uma profundidade recomendada para alocação de poços. Por estarem mais próximo a superfície são mais susceptíveis a contaminação por afluentes de esgoto sanitário local.

Ademais, em estudo na região metropolitana de Manaus, Souza (2005) distinguiu três tipos de litologias para o aquífero local: argilosa, arenosa e areno-argilosa com as mais variadas dimensões. Estas duas últimas litologias apresentaram elevado potencial aquífero diante do menor teor de argila.

Deste modo, a diminuição progressiva dos valores de resistividade mostra provável intercalação de materiais arenosos com níveis variáveis de consolidação e granulometria. Níveis siltosos e argilosos ocorrem com destaque para maior presença de argila nos intervalos de maior profundidade.

Conjunto Geoelétrico B (SEV 02, 04, 06 e 08)

A SEV 02 está localizada ao limite da área de preservação ambiental do Rio Cauamé, cuja profundidade de investigação girou em torno de 55 m, i. e., abertura máxima entre eletrodos de corrente igual a 110 m ($AB/2 = 55$ m). As SEV 04 e 06 foram prospectadas na região sudeste da área estudada, enquanto a SEV 08 foi posicionada na porção leste. A SEV 04 teve como profundidade máxima de alcance 75 m, à medida que a SEV 05 alcançou 130 m e a SEV 07 atingiu apenas 32 m.

Durante visita *in loco*, fora observada a presença de um corpo no formato de lago resultante do lançamento de esgoto a céu aberto e na ocasião foi classificada como ponto de possível contaminação para o Sistema Aquífero Boa Vista (figura 13). Apesar disso, não houve a constatação de recarga por infiltração de esgoto lançado em fossas (sépticas e irregulares).

Nas imediações da área de coleta da SEV 04 há o poço 02. Este possui profundidade de 100 m, sendo que depois dos 24 m inicia-se a rocha inalterada. No topo da rocha inalterada os sedimentos são classificados em solo areno-argiloso (33%), argilito (25%) e arenito grosso (45%) em



Figura 13 - Lago formado em decorrência do lançamento de esgoto à céu aberto. Registro dia 18/10/2018, verão (período de estiagem) na cidade de Boa Vista.

sua base, que estão sobre o andesito da Formação Apoteri (SIAGAS, 2018) (figura 14).

Um segundo poço descrito está localizado a menos de 300 m do local da SEV 06 (Figura 15), obtido a partir de informações do banco de dados do SIAGAS (2018). Apresenta profundidade em

torno de 50 m, sendo que até os 30 m ocorre material sedimentar depositado sobre a Formação Apoteri. Em seu perfil colunar ocorre apenas areia, desde solo arenoso (30%), areia média (20%), e areia grossa (50%) assentada sobre a rocha vulcânica que constitui a base.

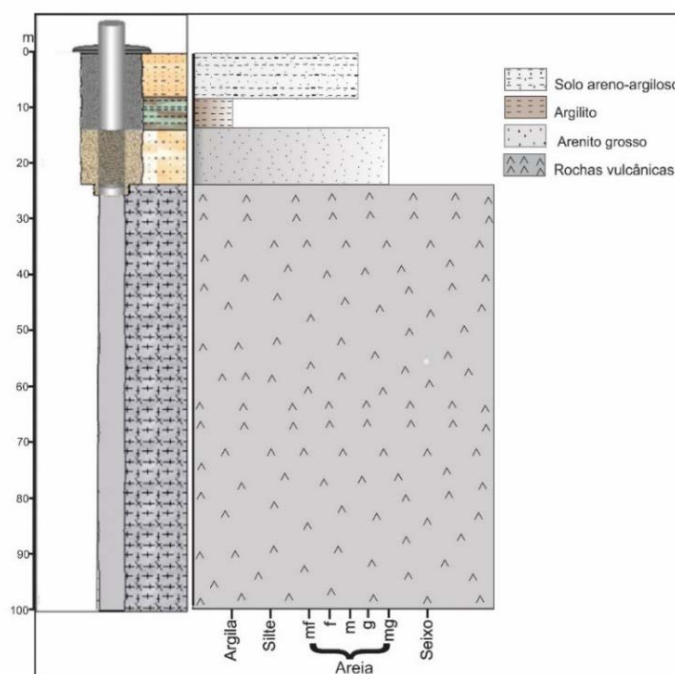


Figura 14 - Perfil descritivo baseado na Ficha Técnica Completa do Poço 02 (Adaptado da Ficha Técnica Completa de Poço – SIAGAS, 2018).

Por último, cerca de 500 metros do local da SEV 06 foi confeccionado um perfil litológico em uma área de escavação para retirada material de terraplanagem (Figura 16).

Este é assim discriminado: 1ª. camada (base) - composta por conglomerado de arcaibouço fechado e estrutura maciça, cujos grânulos variaram de 5 a 100 mm. Os grânulos maiores são fragmentos de crosta laterítica com pouca matriz; 2ª. camada - formada por arenito médio

a grosso com matriz silto-argilosa de coloração alaranjada, estrutura sedimentar do tipo maciça e tabular; dentro desta mesma camada existem duas subcamadas, onde a mais basal apresenta estratificação plano-paralela, tabular e maciça, e a segunda, correspondente ao topo, com estrutura de escavação e deposição; e 3ª. camada (topo) - constituída por arenito fino a médio, com estruturas maciça e laminação cruzada cavalgante.

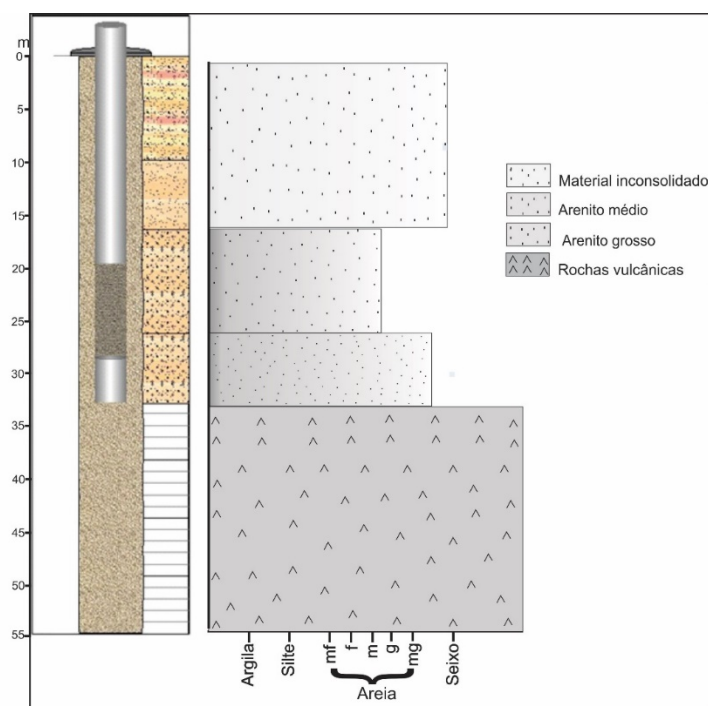


Figura 15 - Perfil descritivo baseado na Ficha Técnica Completa do Poço 03 (Adaptado da Ficha Técnica Completa de Poço – SIAGAS, 2018).

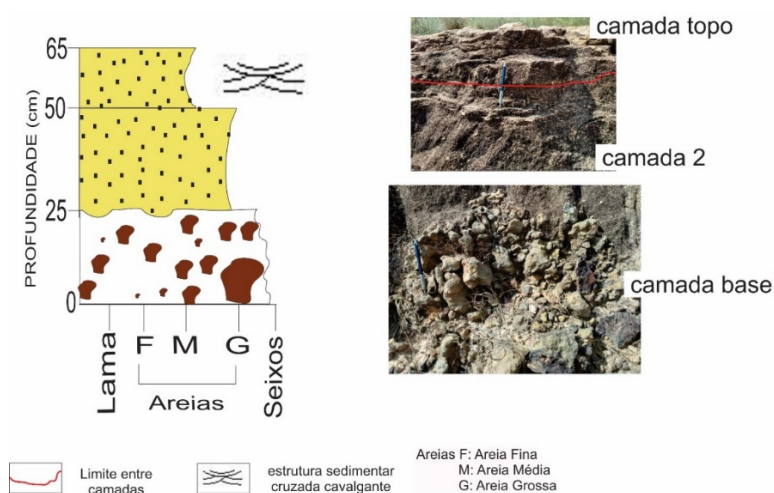


Figura 16 - Seção colunar litológica próxima a região da SEV 06.

Para o conjunto geoeletrico B, os valores mais baixos, entre $622 \Omega.m$ e $1.658 \Omega.m$, remetem a cobertura subsuperficial rica em argila, com gradação para areia em profundidade. Em estudo geofísico e hidrogeológico na cidade de Manaus, Souza & Verma (2005) constataram que os corpos arenosos apresentaram valores de resistividade extremamente altos, em torno de $5.000 \Omega.m$, quando em comparação a corpos argilosos com resistividades de quase $200 \Omega.m$.

Os valores de resistividade obtidos na SEV 04 somados ao conteúdo litológico descrito para o poço 02 e 03 (Figura 6), embora este pormenoriza a profundidade de até 15 m de material que varia entre solo areno-argiloso e argilito, fora considerado para o presente trabalho uma camada geoeletrica entre 1 e 1,3 m de profundidade como cober-

tura arenosa e outra camada entre 1,8 e 7,5 m de profundidade com predominância de níveis argilosos e clara intercalação de materiais arenosos a argilosos em toda a extensão da área, com destaque para maior presença de argila na porção mais superficial.

Em seguida, com o aumento da profundidade os valores da resistividade aumentam vertiginosamente, indicativo de alteração litológica. Diante de valores maiores que $50.000 \Omega.m$, é possível a existência de concreções lateríticas secas antes de propriamente chegar a uma profundidade onde está a rocha inalterada.

Valores entre 50.000 e $60.000 \Omega.m$ são explicados pela abundância de fragmentos de rocha, que segundo Elis & Zuquette (2001), contribuem para o aumento da resistividade. A

SEV 02 está relativamente próxima ao Rio Cauamé onde afloram rochas cristalinas, assim os maiores valores de resistividade, acima de 57.000 Ω .m, observados em torno de 24 metros de profundidade foram relacionados a material laterizado (p.e., arenito ferruginoso) por estarem a profundidade ainda muito próxima a superfície.

Na SEV 06 as profundidades de 18 e 24 metros apresentam respectivamente valores de 8.208 e 8.195 Ω .m, porém a resistividade elétrica diminui para 5.419 Ω .m na profundidade de 32 metros. Este valor diminuto de resistividade em relação aos anteriores é um indicativo da presença de camadas permoporosas. A água natural nos poros é geralmente um bom condutor de eletricidade, por causa da presença de sais dissolvidos (Kearey et al., 2009) e por isso, camadas saturadas possuem menor resistividade.

Além disso, Souza & Verma (2005) postulam que areias/arenitos com água doce são indicadas por elevada resistividade, conforme observado na profundidade de 18 m do poço 02 (Figura 14), onde ocorre a captação de água do poço instalado nas imediações. Até próximo a profundidade de 42 m, os sedimentos seguem propícios a captação de água.

Conforme aumenta a profundidade, o aparecimento das concreções lateríticas e anterior ao surgimento da rocha inalterada inviabiliza a alocação de poços com produção satisfatória. As rochas ígneas e metamórficas apresentam normalmente baixa porosidade e permeabilidade e consequentemente altas resistividades. Segundo Naime & Lahm (1998) regiões caracterizadas como zonas fraturadas apresentam a possibilidade de conterem água, porém de maneira equivalente a

rocha laterizada não constituem as melhores zonas permoporosas da região.

De acordo com os dados do SIAGAS (2018) a profundidade de topo do embasamento cristalino na área do Bairro Cidade Satélite varia entre 20 e 30 m (SIAGAS, 2018), por conseguinte, a partir da profundidade de 24 m é possível relacionar os valores de resistividade ao saprólito ou rocha ígnea descrita nos perfis construtivos para o bairro.

A partir dos valores registrados na sondagem é inferido que a rocha ocorre a profundidades maiores que 55 m. Nas SEV 02 e 08, os valores de resistividade maiores de 65.000 Ω .m foram associados a rocha alterada, ao passo que a profundidade de 75 metros na SEV 04 ser relativa ao topo da rocha inalterada.

Outra evidência que pode indicar a presença de rochas da Formação Apoteri na SEV 02, 04 e 08 é que segundo Freitas Filho (2006) nos locais onde há rochas ígneas e metamórficas fraturadas, o padrão das SEV deve iniciar com valores elevados de resistividade aparente (solo e aterro) e segue com um decréscimo (cobertura alterada) e novamente uma subida na resistividade.

De acordo com Gallas (2003), fraturas preenchidas por água apresentam comportamento de baixa resistividade (alta condutividade) mesmo em rochas de alta resistividade, como foi observado entre 32 e 42 m de profundidade, 20.622 Ω .m e 14.485 Ω .m respectivamente, da SEV 02 e com relação aos valores de resistividades na ordem de 16.408 Ω .m a 100 m de profundidade nos pacotes rochosos relacionados a presença de rochas cristalinas na SEV 08, com valores de resistividade entre 103.460 e 60.556 Ω .m.

DISCUSSÕES, INTERPRETAÇÕES E RESULTADOS

Modelo hidrogeológico do Sistema Aquífero Boa Vista

A modelagem de dados para o Bairro Cidade Satélite foi feita por meio da análise morfológica das curvas de campo conforme Oliva & Chang (2007). Gerou-se um modelo geológico inicial diretamente baseado em curvas obtidas em campo e posteriormente calibrado a partir de informações geológicas prévias da subsuperfície.

De maneira geral, as curvas obtidas nesse tipo de representação mostram a variação de resistividade com a profundidade, e por isso, após a análise e interpretação dos dados de sondagem elétrica vertical foi realizado um gráfico comparativo, no qual é observada uma sucessão vertical

de unidades geológicas com valores de baixa e alta resistividade - inclusive em ordem de grandeza - é uma característica geral da área de estudo (Figura 7).

Em função da baixa profundidade investigada, as curvas de resistividade aparente serviram de base para fornecer uma visualização geológica local da distribuição dos sedimentos dos depósitos do Quaternário (Formação Boa Vista e Depósitos aluviais recentes), e Formação Apoteri, além de possibilitar inferir, mesmo que de forma hipotética, sobre a expressão das zonas permoporosas do SABV em subsuperfície. A maioria das sondagens apresentam valores de resistividade inferiores a 4.000 Ω .m (Figura 7).

Apesar das SEV 05 e 08 distarem uma da outra em torno de um quilômetro, estas não apresentam curvas semelhantes. A SEV 08 exibe os maiores valores de resistividade, como 67.095 Ω .m logo a uma profundidade de 10 metros, enquanto a SEV 05 ostenta valores próximos a 2.644 Ω .m neste nível e nos proximais. Dessa forma, é possível que as curvas de sondagem sejam complementares e observadas como um conjunto elétrico contínuo. Tal comportamento é devido a posição topográfica da SEV 08 em uma cota mais baixa. A SEV 05 está a uma cota de 80 m, enquanto a SEV 08 está a 69 m, e por isso durante a sondagem se alcançou valores de resistividade bastante elevados relacionados a rocha inalterada ainda em profundidade subsuperficiais (Figura 7).

Diferentes resistividades na mesma profundidade, mas em locais diferentes também pode significar que os estratos não são contínuos, e por consequência, implica dizer que o Sistema Aquífero Boa Vista não se apresenta de forma lateralmente contínua na região estudada, possivelmente em resposta à espessura bastante variável dos sedimentos quaternários na região.

De acordo com Mendes & Verma (2002) é frequente ocorrer em unidades geoeletricas com baixas resistividades lado a lado de unidades apresentando resistividades médias a elevadas. Isso implica em dizer que os estratos têm sua continuação lateral interrompida, o que induz a inferir interdigitação ou gradação lateral. Sendo assim, a correlação lateral das unidades geoeletricas é pouco frequente. Apesar disso na profundidade de 42 metros há maior continuidade lateral (resistividade média dos estratos de 12.100 Ω .m). Além disso os estratos sempre apresentam valores de resistividade menores que os valores registrados no nível anterior. Na profundidade de 32 metros os pacotes sedimentares possuem resistividade média de 18.600 Ω .m (Figura 7).

Dentro de um mesmo pacote sedimentar também pode haver diferentes valores de resistividade, indicativo de mudanças composicionais e no teor de umidade (Figura 7). Quando o solo se encontra seco e acima do nível d'água, os valores são considerados atípicos e com ampla faixa de variação (por exemplo, 100 Ω .m a 10.000 Ω .m) fator que inviabiliza o reconhecimento composicional. As variações das resistividades, neste caso, refletem apenas as pequenas variações de saturação existentes (Braga, 2006).

De acordo com Mendes & Verma (2002) valores de resistividade referente à areia, grânulo, seixo (materiais permoporosos), em geral de quartzo, são tão maiores quanto o tamanho dos fragmentos, com reflexo em curvas de sondagens que variam progressivamente, ainda que de forma bem suave como as SEV 01, 06 e 07 (Figura 7).

Grandes variações nos valores de resistividades - queda dos valores - aponta para presença de sedimentos extremamente arenosos nos níveis em questão, conforme Braga (2007), ou por mudança na litologia, são expressas em curvas de sondagens bastante heterogêneas como as SEV 02, 04 e 08 (Figura 7).

Por fim, mediante a descrição individual de cada uma das sondagens e integração com as informações geológicas disponíveis para a região, foram propostas 6 camadas geoeletricas destacadas no mapa de isovalores que reúne os valores de resistividade da área (Figura 7). Afim de facilitar a interpretação do mapa de isolinhas e evitar erros, foi considerada a profundidade limite de 55 metros para todas as sondagens, com exceção da SEV 06 que alcançou apenas 32 metros (Figura 17).

O mapa de isovalores de resistividade em profundidade apresenta a área com marcante discordância de valores de resistividade (mínimo 82 Ω .m e máximo 264.497 Ω .m). Conforme apontado por Mendes & Verma (2002) na investigação feita pelas SEV os horizontes geoeletricos definidos são em geral bastante espessos, visto o baixo poder de resolução do método.

A camada 1 representa uma cobertura do tipo solo areno-argiloso a cobertura superficial rica em argila em profundidade não superior a 5,5 metros. O modelo geoeletrica também revela uma camada geralmente de 2 metros de espessura e corresponde a uma camada mais arenosa. A pequena variação de resistividade entre as camadas 1 e 2 é atribuída a semelhante composicional (Figura 17).

A camada 3 representa um horizonte subsuperficial com profundidade em torno de 8 m e espessura que pode alcançar até 22 metros, com pacotes arenosos bastante extensos com lentes de argila. A quarta camada é bem mais arenosa e com sedimentos mais saturados até profundidades próximas a 42 m. A camada 5 foi interpretada como arenito ferruginoso, ou concreções lateríticas e geralmente presentes nos perfis onde a continuidade estão sedimentos associados a sapró-

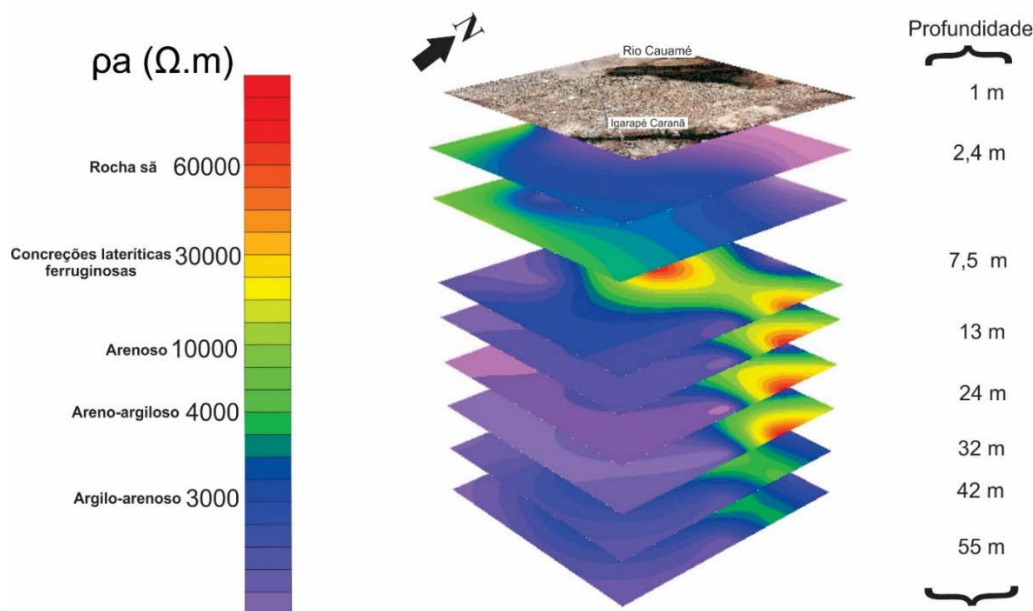


Figura 17 - Mapa de isovalores da resistividade do Bairro Cidade Satélite.

lito e espessura de 13 m para os pacotes. E a camada 6 representa o topo do embasamento e está 55 m de profundidade (Figura 17).

A escassez de dados de poços limitou a análise integrada dos aspectos geológicos aos geofísicos, ainda assim, por meio da comparação dos valores de resistividade às informações litológicas dos poços, foi possível concluir que as porções das sondagens que apresentam valores de resistividade menores que 2.000 $\Omega.m$, localizados na porção N-NW do bairro, estão associadas a materiais predominantemente argilosos (Figura 15). Estas camadas de argila funcionam como protetores de contaminação de aquíferos superficiais. Assim, os locais com mais argila também são onde o aquífero está mais protegido conforme descrito por Souza (2005) para a cidade de Manaus/AM.

Quanto aos valores de resistividade entre 2.000 e 3.000 $\Omega.m$, devem representar sedimentos sobretudo argilo-arenosos, situados na porção S-SW da área de estudo, por vezes com variações entre pelitos e areias. Valores similares com base em dados de poços da região de Urupês-SP, Leite (2013), indicou camadas geoelétricas, altamente resistivas (800 $\Omega.m$ e 3000 $\Omega.m$), correspondem ao solo (Figura 17).

Valores de resistividade entre 3.000 $\Omega.m$ e 4.000 $\Omega.m$ foram interpretados como intervalos que acomodam sedimentos arenoso-argilosos enquanto valores de resistividade entre 4.000 $\Omega.m$ e 10.000 $\Omega.m$ foram descritos como sedimentos arenosos, por vezes com variação granulométrica, posicionados na porção SW (Figura 17).

A partir da correlação entre os perfis litológicos dos poços disponíveis e os resultados das sondagens é possível inferir que os valores de resistividade entre 40.000 $\Omega.m$ e 65.000 $\Omega.m$, devem indicar a predominância de concreções lateríticas secas, região central da área de pesquisa (Figura 15). Além disso, Souza & Carvalho (2017) em pesquisa realizada na Zona Leste da cidade de Boa Vista registraram os maiores valores de resistividade em torno de 60.000 $\Omega.m$ e associaram esta condição elétrica ao arenito ferruginoso/concreções lateríticas ferruginosas.

Os perfis de poços descritos pelo SIAGAS (2018) indicam que a uma profundidade superior a 30 metros o substrato é formado por rochas vulcânicas. Valores elevados de resistividade superiores a 65.000 $\Omega.m$ foram encontrados em três sondagens a profundidade acima de 24 metros, na porção centro e noroeste do mapa (Figura 17).

Dessa forma, podemos assumir que estes maiores valores de resistividade estão relacionados com substrato formado por rochas ígneas da Formação Apoteri, como descrito na carta litoestratigráfica da Bacia do Tacutu (Vaz et al., 2007).

Na direção NW e central, próximo aos poços 02 e 03, segundo dados do SIAGAS (2018), o topo do basalto pode ser encontrado em profundidades próximas dos 30 m. Todo esse registro revela que espessura dos sedimentos cenozoicos que recobrem a Formação Apoteri é bastante variável na região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da comprovação de atividades que depositavam poluentes no local da SEV 02, como o lançamento de esgoto a céu aberto, a sondagem realizada no local não apresenta grande diferença de valores de resistividade aparente entre os estratos mais superficiais e os níveis mais profundos, portanto sem contaminação do aquífero.

A presença de possíveis fraturas na Formação Apoteri também foi inferida pelos resultados obtidos nas sondagens elétricas. É assumido como intervalos de rocha fraturada aqueles em que a partir da profundidade onde os valores de resistividade assumem uma ordem de grandeza relacionada a rochas ígneas (82.989 Ω .m na SEV 02 e 264.497 Ω .m na SEV 08 a 24 metros), ocorre diminuição na resistividade dos estratos subsequentes (20.622 Ω .m na SEV 02 e 94.975 Ω .m na SEV 08 a 32 metros), para valores que não condizem com a possível rocha ígnea inalterada referida nos níveis anteriores.

Ao analisar o modelo hidrogeológico (mapa de isovalores) do comportamento do SABV, foi constatada as zonas permoporosas mais significantes localizadas entre NW e NE, mais recomendadas para a instalação de poços tubulares. É recomendada a perfuração para captação subterrânea entre 32m e 55m de profundidade.

As porções SE e SW modelo hidrogeológico (mapa de isovalores) destacam a presença superficial de material mais argiloso, e em profundidade superior a 50m valores associados a rocha ígnea fraturada e configuraram zonas permoporosas com pouco potencial aquífero para a região.

Diferentes resistividades na mesma profundidade, inclusive em sondagens realizadas a distâncias de menos de um quilômetro uma da outra, ademais de sondagens que ocorreram em pontos mais distais, mas na mesma cota altimétrica (109.592 Ω .m, SEV 08 e 9.680 Ω .m, SEV 05, ambas no intervalo de 18 metros), indicam que o SABV apresenta variações laterais na localidade estudada, possivelmente em resposta à espessura ou grau de saturação variáveis.

São recomendados estudos futuros na área do SABV na região de contato entre as formações Boa Vista e Apoteri, como por exemplo os bairros Cauamé e Jardim Caraná, por estarem localizados próximos ao Rio Cauamé e Igarapé Caraná, onde acontecem exposições de rochas vulcânicas e sedimentares. Além disso, estes auxiliarão a uma melhor compreensão do Aquífero em localidades que apresentam as principais direções de expansão urbana da Cidade de Boa Vista.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO JÚNIOR, A.C.R. Apropriação do Espaço e Risco a inundação na cidade de Boa Vista – RR. In: Holanda, E.C.; Beserra Neta, L.C. (org.). **Geociências na Pan-Amazônia**. 1ª Ed. Boa Vista: Editora da UFRR, 2016. 276 p.
- ÁVILA, I.C.S.S. **Caracterização preliminar do subsolo da área urbana de Boa Vista-RR, a partir de sondagens de simples reconhecimento**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Programa de Recursos Naturais – PRONAT. Universidade Federal de Roraima - UFRR, Boa Vista, 2013.
- BELLO, A.M.A., MAKINDE, V., COKER, J.O. Geostatistical Analyses of Accuracies of Geologic Sections Derived from Interpreted Vertical Electrical Soundings (VES) Data: An Examination Based on VES and Borehole Data Collected from the Northern Part of Kwara State, Nigeria. **Journal of American Science**, v. 6, n. 2, p. 24-31, 2010.
- BOA VISTA (Roraima). **Lei Complementar nº 924, de 28 de novembro de 2006**: Dispõe sobre o plano diretor estratégico e participativo de Boa Vista e dá outras providências. Disp. em <https://www.boavista.rr.gov.br/prefeitura-legislacao-municipal>. Acesso em 29 dez. 2018.
- BRAGA, A.C.O. **Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas**: uma abordagem metodológica e prática. Rio Claro. 2006. 121 p.. Tese (livredocência). Universidade Estadual Paulista.
- BRAGA, A.C.O. **Módulo: Métodos Geométricos Aplicados nos Estudos de Captação e contaminação das Águas Subterrâneas**. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio
- Claro. 2007. 91 p.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil**: águas subterrâneas: escala 1:2.500.000. Rio de Janeiro: CPRM, 2007.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Programa Geologia do Brasil: **Geodiversidade do Estado de Roraima**. Ed. HOLANDA, J.L.R.; MARMOSE, J.L.; MAIA, M.A.M. Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. 256 p.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Projeto de Disponibilidade Hídrica do Brasil: Carta hidrogeológica** - escala 1:1.000.000. folha NA.20. Boa Vista: CPRM, 2016.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima**. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2002. 370 p.
- CUNHA, L.F.J. & SHIRAIWA, S. Aplicação do método eletromagnético indutivo na investigação da pluma de contaminação da água subterrânea por resíduos de cromo e de curtume. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2011.
- EIRAS, J.F. & KINOSHITA, E. M. **Geologia e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Tacutu**: Origem e evolução de Bacias Sedimentares. 2ª ed. Coord. Raja G.; MILANI, E.J. Rio de Janeiro: Petrobras, 1990. 403 p.
- ELIS, V.R. & ZUQUETTE, L.V. Aplicação integrada de métodos geológicos em áreas de disposição de resíduos industriais:

- cidade de Franca. **Geotecnia**, Lisboa, n. 92, p. 47 – 68. 2001.
- ELIS, V.R. & ZUQUETTE, L.V. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 119-134, 2002.
- FACHIN, S.J.S.; HUBER, F.; SHIRAIWA, S.; BORGES, W.R.; MIGLIORINI, R.B. Aplicação de métodos geofísicos para identificar áreas contaminadas por resíduos de um curtume. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 24, p. 129-138, 2006.
- FARIAS, M.V.A.; VERAS, A.S.S.; PAIXÃO, S.U.A. Degradação do corpo hídrico no urbano em Boa Vista- RR. **Textos & Debates**, Boa Vista, n. 18, p. 129-138. 2013.
- FREITAS FILHO, L.S. **Prospecção de água subterrânea no município de Novo Repartimento- PA aplicando métodos elétricos e eletromagnéticos**. Belém. 2006. 59 p. Dissertação (Mestrado). Curso de pós-graduação em geofísica.
- GALLAS, J.D.F. Prospecção de água subterrânea em aquíferos cristalinos com o emprego de métodos indiretos. **Revista do Instituto Geológico**, v. 24, n. 1, p. 43 – 51. 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Contagem da população**. 2010. Disp. em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 07 dez. 2018.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 438 p.
- LEITE, D. N. **Caracterização Geométrica por Meio de Inversão Conjunta 1D de SEV/TDEM na Região de Urupês-SP, Bacia do Paraná: Aplicações em Hidrogeologia**. São Paulo. 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Departamento de Geofísica, Universidade de São Paulo.
- MENDES, R.L.R. & VERMA, O.P. Prospecção de água subterrânea na região de Belém (PA) através de perfilagem geofísica de poço e eletroresistividade. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 32, n. 1, p. 87 - 94, 2002.
- MONTALVÃO, R.M.G.; MUNIZ, M.B.; ISSLER, R.S.; DALL'AGNOL, R.; LIMA, M.I.C.; FERNANDES, P.E.C.A.; SILVA, G.G. Geologia. In: **Projeto Radambrasil. Folha NA.20 Boa Vista e parte das Folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21**. (Levantamento de Recursos Naturais, 8). Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 13-136. 1975.
- NAIME, M.R. & LAHM, R.A. **Prospecção hidrogeológica pelos métodos de geofísica elétrica por corrente contínua no município de Água Boa – MS**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, X, 1998. **Anais...ABAS**, 1998 11 p.
- NASCIMENTO, G. M.; ANDRADE, C. E. M.; PAULINO, C. M.; BEZERRA, D. C.; ROCHA, D. S. Degradação dos ecossistemas às margens do Igarapé Caraná em Boa Vista-RR: trilha ecológica em ambiente impactado. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - ESTÁCIO AMAZÔNIA. 2017. Boa Vista. **Anais...Boa Vista**.
- NUNES, L. P. M. & LUIZ, J. G. Caracterização geométrica de área de curtume localizada no distrito industrial de Icoaraci, Belém-Pará. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 4, p. 467 - 481, 2006.
- OLIVA, A. & CHANG, H.K. Mapeamento do lençol freático no município de Rio Claro (SP) empregando a técnica de sondagem elétrica vertical. **São Paulo, UNESP, Geociências**, Rio Claro, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2007.
- PEREIRA, P.A. & LIMA, O.A.L. Estrutura Elétrica da Contaminação Hídrica Provocada por Fluidos Provenientes dos Depósitos de Lixo Urbano e de um Curtume no Município de Alagoinhas, Bahia. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 25, n. 1, p. 5-19, 2007.
- REIS, N.J; FRAGA, L.M; FARIA, M.S.G; ALMEIDA, M.E. A geologia de Roraima. **Géologie de la France**, Paris, n. 2-3-4, p. 121-134. 2003.
- SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO – SEPLAN. **Informações Socioeconômicas do Município de Boa Vista**. Boa Vista: 4ª Ed. Elaboração DIEP, 2014. 87 p.
- SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – SIAGAS. **Ficha Técnica Completa de Poço e Mapa de localização de poços em Roraima**. Disp. em <http://siagasweb.cprm.gov.br>. Acesso em 29 dez. 2018.
- SOUZA, L.S.B.; ANDRADE, G.G. Resistividade no entorno do aterro sanitário municipal de Boa Vista, Roraima, Brasil: implicações ambientais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 13, n. 3, p. 435-452, 2018.
- SOUZA, L.S.B. & CARVALHO, F.W.S. Contextualização geológica da porção SW do Sistema Aquífero Boa Vista, Estado de Roraima, a partir de sondagens elétricas verticais rasas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 12, n. 1, p. 91-107, 2017.
- SOUZA, L.S.B. & VERMA, O. Mapeamento de aquíferos na Cidade de Manaus/AM (zonas norte e leste) através de Perfilagem Geofísica de Poço e Sondagem Elétrica Vertical. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 227-243. 2005.
- SOUZA, L.S.B. **Mapeamento de aquíferos na cidade de Manaus (AM) – utilizando perfilagem geofísica de poço e sondagem elétrica vertical**. Curso de pós-graduação em geofísica. 2005. Belém. 84 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará.
- SOUZA, V; TAVARES JÚNIOR, S.S; OLIVEIRA, R, S. **Atlas dos igarapés urbanos de Boa Vista - Roraima**. Boa Vista: Editora da UFRR, 2010. 62 p.
- VALE JUNIOR, F. & SOUZA, M.I.L. Caracterização e distribuição dos solos das savanas de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; COSTA e SOUZA, J. M. (Eds). **Savanas de Roraima: etnoecologia, biodiversidade e potencialidades agrossilvipastoris**. Boa Vista: Boa Vista 2005, p. 79-92.
- VAZ, P.T.; WANDERLEY FILHO, J.R.; BUENO, G.V. Bacia do Tacutu. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 15, n. 2, p. 289 - 297. 2007.
- VERAS, A.T.R. & SOUZA, V. **Relatório ambiental do Igarapé Caraná**. Boa Vista, 2010. 64 p.
- WANKLER, F.L.; EVANGELISTA, R.A.O; SANDER, C. Sistema aquífero Boa Vista: “estado de arte” do conhecimento e perspectivas. **ACTA geográfica**, Boa Vista, v. 6, n. 12, p. 21-39. 2012.
- YOU, X, LIU, S, DAI, C, GUO, Y, ZHONG, G, DUAN, Y. Contaminant occurrence and migration between high- and low-permeability zones in groundwater systems: a review, **Science of The Total Environment**, v. 743, n. 4, 2020.

*Submetido em 24 de setembro de 2021
Aceito para publicação em 1º de fevereiro de 2022*