



# INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COM O MÉTODO DA ELETRORESISTIVIDADE (SEV) NA CIDADE DE AUGUSTO CORRÊA - PA

Augusto Cesar Lobo Barbosa Junior, graduado em Geofísica/UFPA, [augusto.barbosa3@gmail.com](mailto:augusto.barbosa3@gmail.com)  
José Geraldo das Virgens Alves, Instituto de Geociências/UFPA, [jgvalves.geof@gmail.com](mailto:jgvalves.geof@gmail.com)

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

## Abstract

We have developed a geophysical study by the Electrical Method, in the form of vertical electrical sounding (VES) to investigate the shallow subsurface of the seat of the municipality of Augusto Corrêa, in order to delineate aquifers in order to indicate new catchment areas to meet the proposed expansion of the water supply system in the city. The study was conducted in the streets involving both former catchment areas as new neighborhoods arising from recent urban expansion. As initial data, we used a profiling run into a hole of 120 meters which identified only 25 meters of sandy silt / clay on a package of shale continue until the end of the hole. With the polls, it was determined that the top of the package shale ranges from 24 to 36 feet deep, corresponding to a conductive substrate site and waterproof. Above that is a layer substrate sandy, crumbly, with thicknesses ranging from 5.8 to 16.7 meters and resistivity of 89 ohm m to 2297 ohm.m which should contain the confined aquifer site. On this sandy layer with a layer conductive enough resistivities around 2-5 ohm m, which must correspond to a package of clay or organic matter located in the northeastern portions, and South East area. That same horizon, the West, the layer is sandy loam which should contain the groundwater aquifer site. And up comes the cover with sandy-clay soils. To delimit the confined aquifer was used as a criterion for lateral extension considering only the portions of the sandy layer with resistivity between 500 and 2200 ohm.me, was taken as substrate for the area, the top of all conductive layers, generating, Also, a base and an aquifer for the delimitation of areas for further abstraction. The aquifer, although shallow, should be used to expand the local supply systems, positioning itself in the holes within the area proposed criteria and through ferrule system.

## Introdução

Um dos fortes indicadores do subdesenvolvimento é a qualidade da água distribuída à população. No Brasil, o índice de saneamento e abastecimento público de água nas regiões urbanas limita-se a apenas partes das

grandes cidades. A maioria das vilas e pequenas cidades não possuem um sistema de captação, tratamento e distribuição de água, ou quando tem, o sistema é incipiente e de atendimento parcial. Nessas localidades, geralmente, o abastecimento é feito direto da fonte para a rede de distribuição, mesmo sendo a fonte superficial.

Na cidade de Augusto Corrêa, localizada no nordeste paraense, não é diferente e, com o recente crescimento da cidade, esse problema de abastecimento vem se agravando. Lá, a captação de água da COSANPA se dá pelo sistema chamado de ponteiros, que é um sistema geralmente utilizado onde os aquíferos são rasos e de pequena espessura e agrupa vários poços rasos interligados a uma bomba. Neste caso, a captação da COSANPA tem 10 poços, com profundidade média de 8 metros, bombeando água para a cisterna. A água é distribuída diretamente na rede para apenas parte do centro da cidade e somente em duas oportunidades por dia. A situação piora no período de estiagem, quando a vazão dos poços cai para menos da metade.

Com a intenção de ampliar o abastecimento, a Prefeitura está construindo um grande reservatório para atender as partes norte e noroeste da cidade. Também, construiu um pequeno poço (18m, 4mm), que no período de realização deste trabalho estava em teste de bombeamento.

O problema pode ser observado a partir de uma perfilagem corrida em um poço profundo (120 metros) realizada em 15/12/2002, a qual mostra uma cobertura sedimentar de pequena espessura, em torno de 25 metros, sobre um embasamento de rocha sedimentar (folhelho) de grande espessura que vai além da profundidade do poço perfurado. Isso, conseqüentemente, significa um grande problema hidrogeológico, pois resta uma pequena espessura da cobertura, que mesmo com sedimentos friáveis não pode oferecer, portanto, potencial hídrico para o abastecimento em grande escala a partir de um único poço.

A proposta do trabalho geofísico é justamente investigar a variação lateral das camadas de sedimentos dessa cobertura, identificar e delimitar zonas aquíferas para indicar novas áreas de captação, onde a Prefeitura possa construir poços.

## Área de estudo

Augusto Corrêa é um município do nordeste do Estado do Pará, zona bragantina. Localiza-se na latitude 01°01'18" S e a uma longitude 46°38'06" W, estando a uma altitude média de 20 metros.

Para chegar ao Município de Augusto Corrêa, saímos de Belém pela Rodovia Federal – BR- 316, até o município de Capanema. Segue-se viagem pela Rodovia Federal – BR- 308 até o município de Bragança. A partir daí, segue-se numa estrada estadual que leva até Augusto Corrêa, distante cerca de 15 Km de Bragança.

A Figura 1 mostra o posicionamento das sondagens geofísicas realizadas na cidade de Augusto Corrêa.

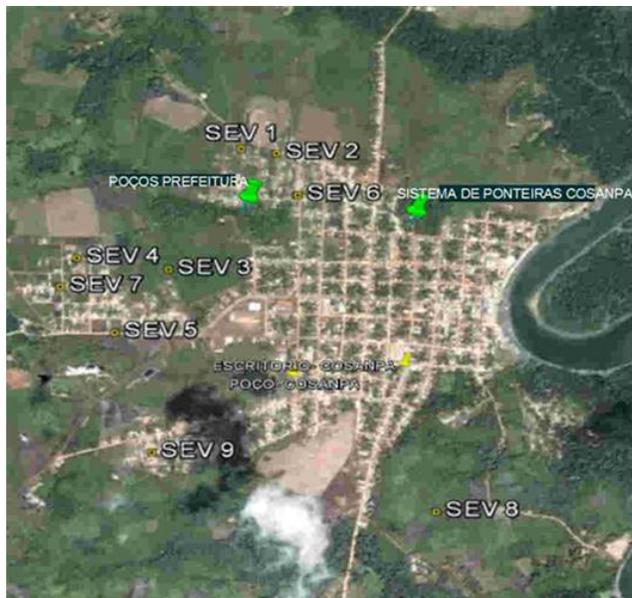


Figura 1: Mapa de localização dos levantamentos geofísicos .

## Geologia local e hidrogeologia

O arcabouço geológico do Município de Augusto Corrêa é caracterizado, predominantemente, por sedimentos de idade terciária que constituem a Formação Barreiras (arenitos, argilitos caolíticos e siltitos), compondo cerca de 90% de seu território, e por sedimentos inconsolidados do Quaternário Antigo e Recente, estes posicionados, preferencialmente, em torno da faixa litorânea, constituída das áreas de praias e zonas inundáveis. O município está localizado sobre a borda da bacia Bragança- Vizeu, sendo o embasamento constituído de rochas da Formação Chega Tudo do Grupo Gurupi.

A característica principal a sua hidrografia é a de conter, em seu território, portentosas e amplas baías litorâneas, para onde converge toda a intensa rede de drenagem do Município, com vários rios e furos com influência da maré.

## Metodologia

Neste trabalho, a investigação da subsuperfície foi realizada com o método geofísico de eletrorresistividade (SEV) através do arranjo Schlumberger , devido seus baixos custos e resultados expressivos em pesquisas hidrogeológicas. Também, fez-se uso de uma perfilagem geofísica corrida em um furo de 120 metros na área da cidade.

### SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV).

O método da eletrorresistividade consiste basicamente em injetar corrente contínua (ou de baixa frequência) no solo através de dois contatos galvânicos chamados eletrodos de corrente, os quais são comumente denominados de eletrodos **A** e **B** pela literatura, e medir a diferença de potencial através de mais dois contatos galvânicos denominados eletrodos de potencial, também chamados de eletrodos **M** e **N**.

Este método está fundamentalmente baseado na Lei de Ohm. Ao conhecermos a corrente contínua  $i$  injetada na superfície, a diferença de potencial  $\Delta V$  e o valor de  $k$  previamente tabelado para cada uma das disposições dos contatos galvânicos **A**, **B**, **M** e **N** poderemos calcular os valores de resistividade aparente  $\rho_a$  dos materiais em subsuperfície. Considerando que o meio é homogêneo e isotrópico, a resistividade é calculada pela eq. 1:

$$\rho_a = \frac{k \Delta V}{i}$$

A técnica Sondagem Elétrica Vertical (**SEV**) é aplicada quando se deseja uma informação da variação vertical da resistividade, onde as posições dos eletrodos de corrente são regular e simetricamente expandidos com relação ao ponto investigado. Os valores de resistividade aparente são calculados fornecendo a curva de resistividade aparente, a qual é interpretada quantitativamente, de modo direto e inverso, através de softwares dedicados. Os modelos resultantes das sondagens podem gerar seções geo-elétricas, as quais podem ser associadas à seção dos estratos geológicos da subsuperfície.

### PERFILAGEM

Para auxiliar a interpretação das sondagens, foi utilizada uma perfilagem geofísica corrida em um furo realizado pela COSANPA, na cidade, no ano de 2002, com registros de SP e Resistência. Essa perfilagem mostra um pacote sedimentar permeável de 25 metros de espessura, seguida de folhelho, até a base do furo em 120 metros. A figura 2 mostra os registros de SP e RSP e a interpretação correspondente.

Grupo-3 -SEV3,SEV4,SEV5 e SEV7

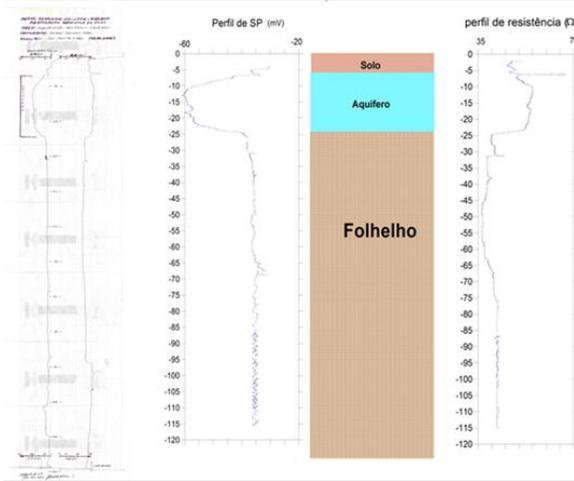


Figura 2 –Interpretação da Perfilagem.

**ANÁLISE DOS RESULTADOS**

**CURVAS DE SONDAGENS – SEV’S**

Os valores de resistividade aparente medidos nas SEV's foram representados em papel bi-logarítmico e depois suavizados para a eliminação do ruído geológico introduzido nas medidas, normalmente devido a variações laterais nas camadas geológicas. Em alguns casos, os valores não confiáveis (valores muito diferentes dos valores adjacentes) foram substituídos por outros obtidos a partir da interpolação ou da extrapolação de valores confiáveis (Figura 3).

A seguir, os dados das SEV's foram interpretados para se estabelecer os modelos geo-elétricos aproximados para a subsuperfície na posição das SEV's. Depois, foi feita a interpretação direta e inversa em computador, gerando o modelo final de cada SEV. Há dois programas de computador disponíveis: Um que foi desenvolvido pelos professores de geofísica – UFPA na década de 80 (Sev1 D) e outro que pode ser adquirido na internet (IX1 Dv2 interpex).

As SEV's apresentam um mesmo padrão, tendo dois ramos principais. O ramo inicial apresenta as variações de resistividade aparente com a profundidade, correspondentes às camadas mais rasas. Depois, vem o ramo descendente, indicando um substrato condutivo, com diferentes afastamentos para o início deste ramo. Esses afastamentos são decorrentes da variação de espessura, pelos quais, foi possível separar as curvas de SEV's em três grupos:

Grupo 1- SEV 6 e SEV 8,

Grupo 2- SEV1, SEV2 e SEV 9

O Grupo1 reúne as SEV's que indicam o substrato condutivo mais raso, tendo portanto, a cobertura de sedimentos menor espessura. E, o Grupo 3 reúne as sondagens onde o substrato está mais profundo. Isto indica que há uma variação da espessura do pacote de sedimentos acima do folhelho como indicada na perfilagem.

Figura 3 –Gráfico contendo todas as SEV's

A Tabela1 mostra os modelos obtidos para cada sondagem.

Na tabela 1 temos em destaque camadas em vermelho que representam uma camada muito condutiva com resistividades de 1 a 5 ohm.m, e em azul destaca-se a camada que caracteriza o aquífero confinado existentes em algumas Sev's.

Tabela 1: Modelos Obtidos

camada	SEV 1	SEV 2	SEV 3	SEV 4	SEV 5	SEV 6	SEV 7	SEV 8	SEV 9
1	428; 1.3	1247;0.6	1250;0.5	967;0.9	834;0.4	371;0.4	743;0.4	1147;0.2	493;0.6
2	296; 3.6	474;1.6	2832;2.3	1805;3.9	3198;5.4	1036;1.7	1241;1.3	1925;3.1	1137;3.8
3	975; 9	3499;4.1	1187;5.6	246;16.8	169;14.1	374;5.2	554;3.1	355;6.5	1309;7.2
4	3; 24.9	356;18.1	1327;12.3	4202;20.8	2297;26.9	54;8.6	2281;6.9	5;25.3	95;11.8
5	187;33.7	2;46.7	344;21.3	18;25.3	13	3;24.1	603;11.3	935;27.2	3;23.3
6	14	141;52.4	1025;36.1	1412;31		240;29.9	241;19.3	14	89;32.3
7		10	11	14		10	1207;36		10
8							16		

**SECÇÕES GEO-ELÉTRICAS**

Os modelos obtidos para cada sondagem (SEV) foram dispostos lado a lado, em escalas horizontal e vertical apropriadas, de acordo com a posição de cada centro de SEV no mapa da área. Com a correlação lateral, de modelo a modelo, foram construídas três secções geo-elétricas (Figura 4), que oferecem uma visão da distribuição das camadas da subsuperfície local. Destacam-se quatro camadas.

A superior, com resistividades variando entre 2200 e 5000 ohm.m, com espessura de 6 a 21 metros, predominantemente arenosa, que deve corresponder ao pacote de sedimentos da cobertura.

Abaixo, a segunda camada tem resistividades na faixa de 50 a 350 ohm.m com espessuras 8,5 a 21 metros. Apresenta um estreitamento e afundamento em torno da SEV4, onde a resistividade cai para 18 ohm.m, o que pode estar relacionado com um aumento da argilosidade.

Essa camada deve constituir o ambiente do aquífero freático local.

No mesmo horizonte dessa segunda camada, nas porções Norte, Leste e Sul da área, ocorre uma terceira camada com resistividade entre 1 e 5 ohm.m, com espessuras de até 20 metros. Com esses valores de resistividade, essa camada deve corresponder a algum depósito arenoso com influência de maré ou de matéria orgânica (paleo-mangue), ou mesmo argila.

Abaixo das segunda e terceira camada, ocorre uma quarta camada com resistividades entre 500 e 2200 ohm.m e espessuras entre 5 e 17 metros, que deve corresponder a um pacote arenoso e, pelos valores de resistividade, deve constituir um aquífero confinado no local. Cabe mencionar, que nesta camada ocorre uma diminuição na resistividade nas direções Norte, Leste e Sul, justamente sob a terceira camada, correspondendo a um aumento significativo de sua argilosidade.

Por fim, vem a quinta camada, com resistividade entre 5 e 20 ohm.m, que corresponde ao substrato identificado na perfilagem (Fig.2) e em todos os modelos das sondagens.

Após a análise das seções geo-elétricas (Figura 4), observou-se que onde ocorre a terceira camada há uma diminuição tanto de espessura como de resistividade na quarta camada, provocando uma redução na extensão lateral do aquífero contido nessa quarta camada. Por isso, para delimitar a porção ótima do aquífero, foi elaborado um critério pelos valores de resistividade; montado sobre a seção geo-elétrica B (SEV's 7,5,8,e 9), apresentado na figura 5. Com isso, elaborou-se um mapa de contorno, incluindo o topo do embasamento (quinta camada) e o topo da terceira camada, conseqüentemente, envolvendo as porções argilosas da quarta camada, obtendo-se, desse modo, um delimitador para a base da porção ótima do aquífero (Figura 6)

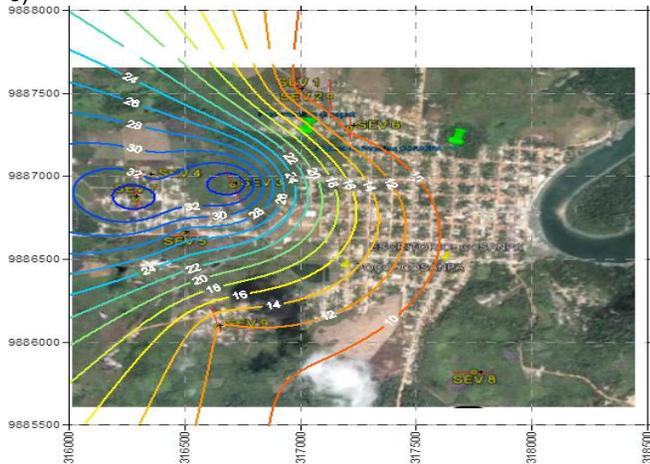


Figura 6 – Mapa de contorno de delimitação da base do aquífero

Partindo da análise das seções geo-elétricas (Figura 4), do mapa da base do aquífero (Figura 6) e acrescentando-se as isópacas do aquífero, obteve-se a delimitação do volume que deve conter o maior potencial hídrico do aquífero. Essa delimitação é apresentada na Figura 7, a qual mostra os contornos da base e da espessura da porção ótima do aquífero no mapa da cidade. Cabe destacar que em torno das SEV's 7 e 3 o aquífero apresenta a base mais profunda e as maiores espessuras.

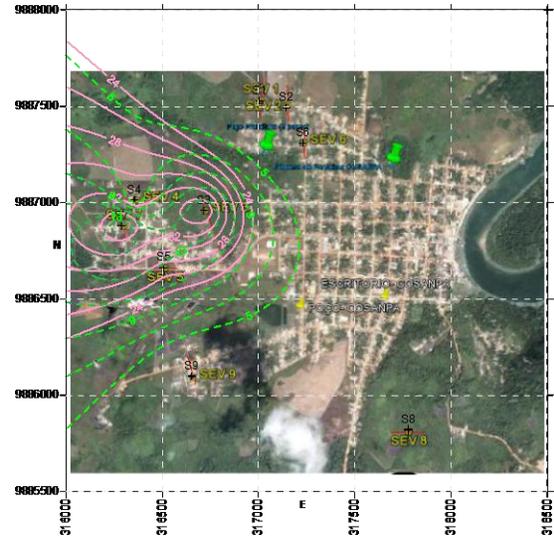


Figura 7 – Mapas de contorno do topo do embasamento(verde) e espessuras dos aquíferos (rosa) com a indicação da área para construir novos poço.

A Intersecção entre as linhas com maiores valores de base do aquífero em rosa e as linhas contendo os maiores valores de espessura do aquífero em verde (Figura 8), mostra os locais mais indicados para construção de novos poços (área hachurada).

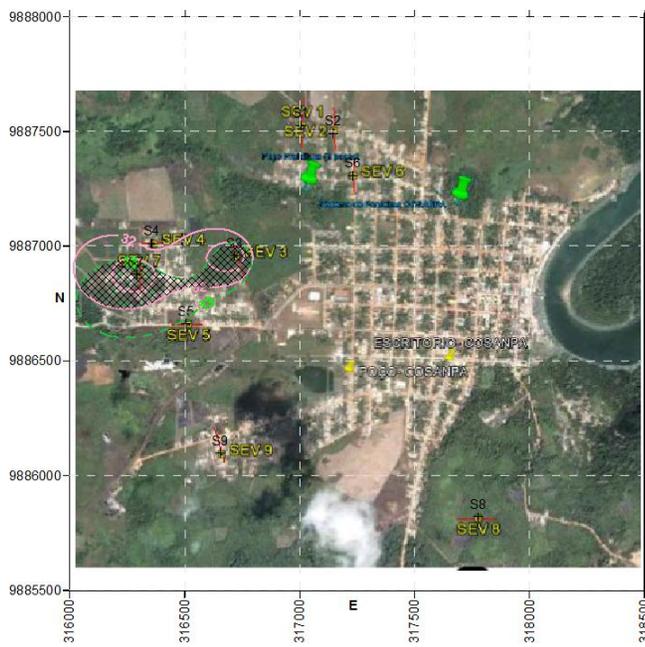


Figura 8 – Mapa com a Área ótima do aquífero. (hachurada).

## CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Com o resultado do estudo, a interpretação das sondagens revelou 4 camadas interessantes; a mais rasa, correspondente aos maiores valores de resistividade com uma característica predominantemente arenosa, a segunda camada com resistividade variando entre 50 e 500 ohm.m o que pode ser característica do aquífero freático local, após a segunda localiza-se uma terceira camada corresponde às menores resistividades variando de 1 a 5 ohm.m e bastante espessa nas direções Norte, Leste e Sul da área o que caracteriza um depósito arenoso com influência de maré ou argila ou paleomangue. A quarta camada, predominantemente arenosa com valores altos de resistividade, na porção Oeste da área e diminuindo a resistividade por conta do aumento de argilosidade, por influência da terceira camada. A porção Oeste da quarta camada apresenta-se como um aquífero confinado que pode ser utilizado para captação de água subterrânea, e, por fim, existe uma quinta camada comum a todos os modelos com resistividades variando de 5 a 20 ohm.m.

O quadrilátero SEV7-SEV4-SEV3-SEV5 forma a área mais indicada para a perfuração, sendo melhor no entorno das SEV7 e SEV3. O mapa da Figura 16 mostra essa área ótima do aquífero (hachurada), indicando sua base e a espessura, dando as informações fundamentais para propor novas áreas de captação e para o projeto de furos para a construção de novos poços de abastecimento na cidade.

## REFERÊNCIAS.

BAHIA, V. E. **Estudo hidrogeológico da área localizada entre o depósito de lixo metropolitano de Belém (Auré) e o lago da água preta.** 2003. 101f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, 2003.

LUIZ, J.G; SILVA, L.M. da C. **Curso de geofísica de prospecção.** Belém: UFFa. Centro de Geociências, 1983. 263 p. (Apostila).

BEZERRA, C. A. C. de A. **Eletrorresistividade aplicada ao estudo de água subterrânea no município de Salva Terra - Marajó - Pará.** 1979. 56 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará. Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, 1979.

CORRÊA, J.A.M. **Projeto de avaliação da qualidade de águas em aquíferos Livres na cidade de Piçarra no município homônimo.** Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 1998.7 p. (Relatório Preliminar).

GIRÃO NERY, G. **Apostila perfilagem geofísica.** Salvador: Hydrolog serviços de perfilagem Ltda., 2004. Cap. 2.

Mendes, Marcelo Fernandes. **Prospecção geofísica para delimitação do contato das formações Itapecuru e Codó no município de Jacundá-PA.** 2012.46f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geofísica) – Universidade Federal do Pará, 2012.

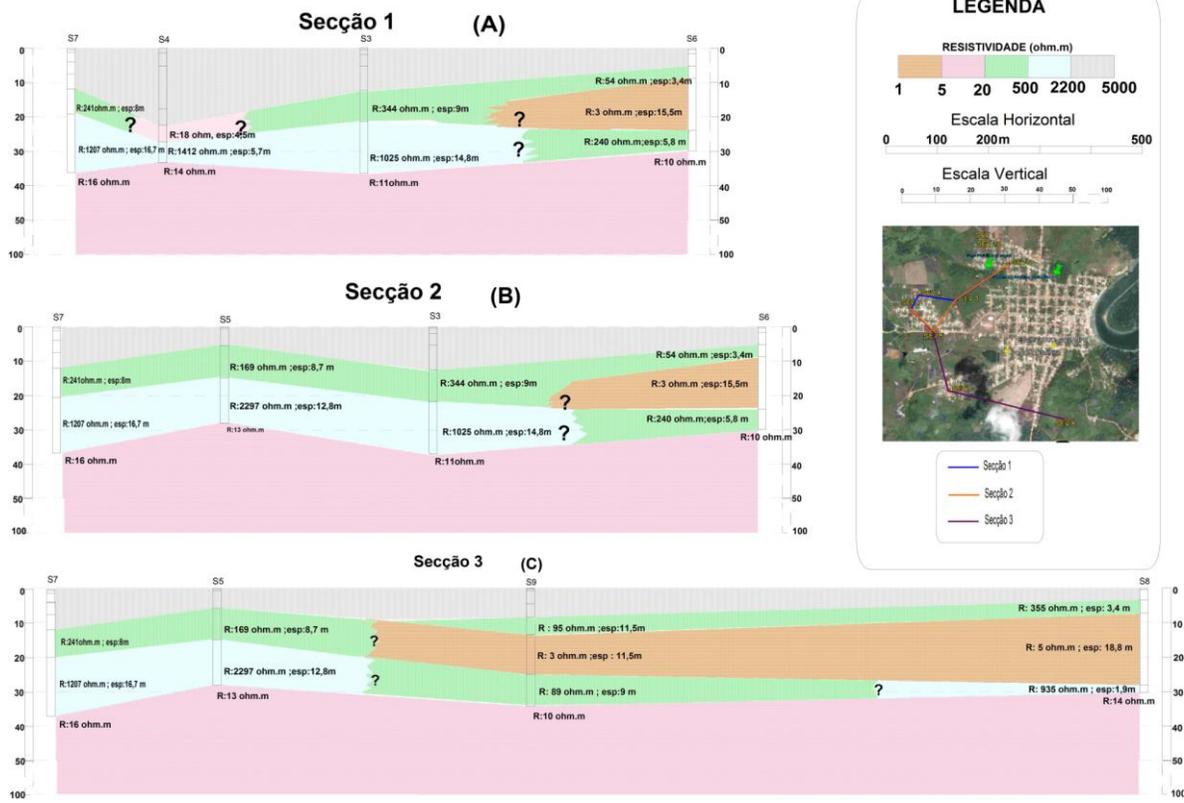


Figura 4 – Secção Geo-elétricas (a) Seção 1: S7-S4-S3-S6; (b) Seção 2: S7-S5-S3-S6; (c) Seção 3: S7-S5-S9-S8.

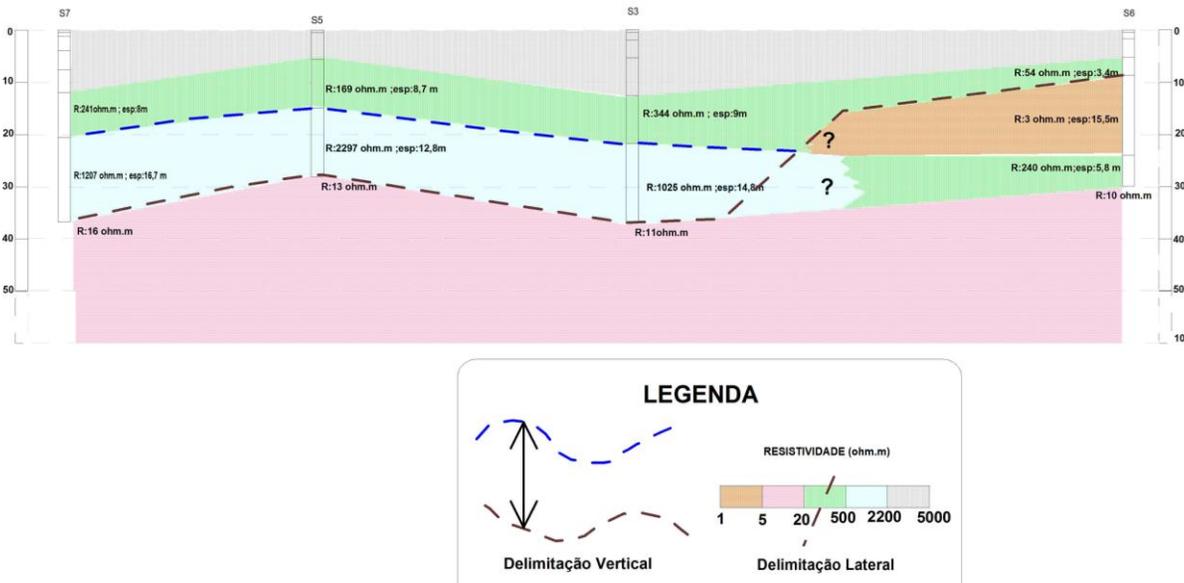


Figura 5 – Critério de delimitação vertical e lateral do aquífero.