



Locação de poços com o método eletromagnético SLINGRAM – Ações emergenciais contra a seca de 2013 no Piauí

Oderson A. de Souza Filho (CPRM/NUBA), Luiz G. R. Pinto (CPRM/DIGEOP), Cipriano G. de Oliveira (CPRM/RETE)

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th 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

Due to the draught event in 2013 in the semi-arid Northeastern Brazil, the Geological Survey of Brazil/CPRM was demanded to locate water-wells in the most affected municipalities. Here is reported the strategy chosen when it was used a frequency-domain SLINGRAM system together with tectonic features analysis in the state of Piauí. During two weeks of May, eleven localities in five municipalities were visited. Apart of system problems and proximity to urban areas and power lines, most of the localities could have been surveyed and well locations were indicated.

Introdução

Em virtude do prolongamento do período de estiagem entre 2012 e 2013, o Serviço Geológico do Brasil/CPRM foi convocado pelo governo federal para avaliar as condições de locação de novos poços de abastecimento ou a possível recuperação de poços existentes. Essas ações copõem o **Programa de Convivência com a Seca**, que objetiva dotar os municípios do semiárido nordestino de infraestrutura hídrica mínima para abastecimento humano e rebanhos durante as estiagens que periodicamente assolam a região.

De acordo com o Projeto Básico elaborado e proposto pela CPRM foram definidas as ações (Galvão, 2013):

- Perfuração de 20 poços tubulares “estratégicos” em áreas de bacias sedimentares, com expectativa de vazão para suprir demandas atuais e futuras. Poderá abastecer municípios vizinhos, dentro do domínio de rocas cristalinas;
- Revitalização de 100 poços existentes, com sistemas simplificados: bomba + tubulação + caixa d’água + chafariz + instalação elétrica + bebedouro;
- Perfuração e instalação de aproximadamente 100 poços em localidades em domínio de rochas cristalinas do semiárido. O projeto inclui sistema de bombeamento submerso, caixa d’água e chafariz. (Figura 1).

Este trabalho relata a estratégia utilizada pela CPRM para local poços em municípios da região sudeste do Piauí no período entre 6 e 21 de maio de 2013. O método eletromagnético serviu para corroborar ou modificar as

locações feitas previamente por geólogos da CPRM-Teresina. As atividades consistiram na caracterização geológico-estrutural em afloramentos vizinhos e de caminhamentos eletromagnéticos. Em 2014, o Exército Brasileiro perfurou os poços e instalou bombas submersas ou cataventos naqueles produtivos. Apresentamos aqui, exemplos de insucesso e de sucesso na locação de poços em rochas cristalinas.

O modelo conceitual para a ocorrência de água subterrânea no domínio de rochas cristalinas é regido pela presença de descontinuidades, sejam feições tectônicas (fraturas, falhas, foliação) ou contatos litológicos. Quanto maior o número, a interconectividade e a abertura destas descontinuidades, maior serão as probabilidades de água em volume disponível para exploração. A utilização conjunta do método eletromagnético e da avaliação geológico-estrutural de afloramentos seguiu premissas que se alinham ao modelo conceitual:

- Devido aos seus constituintes minerais principais (quartzo, feldspato, micas e anfibólios), a rocha em geral é eletricamente resistiva. Todavia, a presença de água e substâncias minerais dissolvidas diminui a resistência elétrica, aumentando a condutividade do meio rochoso. Portanto o uso do método eletromagnético pode detectar zonas mais condutivas na rocha que podem ser associadas à presença de água (Telford, 1984; Fitterman e Labson, 2005);
- A análise estrutural em escala de afloramento e a interpretação de fotolineamentos podem identificar feições tectônicas com tendência para aberturas de fraturas, que favorecem ao acúmulo de água. Quanto mais interconectadas maior a possibilidade de extração por poços que interceptem essas estruturas (veja Jardim de Sá *et al.*, 2008);
- Depósitos superficiais (aluviões e coluviões) e bolsões de intemperismo contribuem para o aumento da infiltração e diminuição da evaporação da água da chuva. Serve como um “aquífero de transferência” da água da chuva para o aquífero fraturado subjacente (veja Jardim de Sá *et al.*, 2008).

Método

Os princípios do método eletromagnético com fonte controlada podem ser resumidos na seguinte premissa: um corpo condutivo em subsuperfície, sob a ação de um campo eletromagnético gerado em diferentes frequências, produzirá campos magnéticos e elétricos secundários que variarão proporcionalmente ao arranjo de aquisição, à frequência e intensidade do campo

emitido e às propriedades eletromagnéticas do substrato rochoso encaixante e do alvo condutivo (descontinuidades com água subterrânea), suas dimensões e orientação.

O equipamento utilizado PROMIS-10 (Iris Instruments®) é um sensor portátil, composto por uma bobina transmissora-Tx e um sensor receptor-Rx conectados por um cabo de comunicação, além de baterias de suporte (Figuras 2a,b). Opera no domínio da frequência, com disponibilidade de leituras automáticas nas frequências 110 a 56320 Hertz e variadas separações-s entre Tx e Rx, a depender dos cabos de 20, 50, 100, 200 e 400 m. São medidos os valores em fase (Ip, %) e de quadratura (Op, %) das três componentes Hz, Hx e Hy do campo eletromagnético secundário, induzido por uma anomalia condutiva em subsuperfície. Como eixos de referência, Z possui sentido ortogonal para cima, X é orienta-se no sentido do caminhar e Y na direção ortogonal ao caminhar. O campo secundário é muito menor do que o campo primário, por isso os valores usuais das componentes secundárias são dados em porcentagem em relação às componentes do campo primário.

Quando possível, os caminhamentos eletromagnéticos foram orientados de maneira a cruzarem drenagens e estruturas tectônicas (falhas ou fraturas) em localidades previamente determinadas. Tais locais foram escolhidos pela equipe da CPRM/Teresina por meio da interpretação de fotoloteamentos.

Os levantamentos foram realizados conforme o arranjo coplanar-HLEM, com bobina transmissora horizontal (Figura 2) e recepção na mesma direção, que produz um campo eletromagnético “dipolo vertical” e, adquirindo nas frequências 440, 880, 1760, 3520, 7040 e 14180 Hertz. Utilizaram-se separações Tx-Rx de 50 e 100 m, com leituras a cada 5 ou 10 m. As coordenadas das estações foram tomadas no Sistema UTM, Datum WGS-84, Zona 24, com aparelho GPS Garmin 60C-X, de precisão máxima horizontal de 5 m e vertical de 15 m.

O processamento dos dados esteve focado na qualidade da aquisição e possibilidade de detecção de anomalias associadas à ocorrência de água subterrânea em zonas de alteração na rocha, fraturas, foliação e contato geológico. Portanto, consideram-se mais relevantes: as anomalias negativas das respostas das componentes em fase e de quadratura medidas e; os contrastes de resistividade aparente calculados, que podem ser associados a estruturas ou interfaces rocha – regolito, ou rocha - alúvio. Os valores absolutos das resistividades calculadas não teriam importância neste trabalho. Questões relativas ao modelo geofísico mais adequado e resistividades reais necessitariam de processos mais demorados de inversão de dados, que estão fora do objetivo desta atividade.

A qualidade dos dados brutos e o pré-processamento foram verificados no programa EMSys (IRIS-Instruments, 2012), do fabricante do equipamento PROMIS. As medidas foram avaliadas com relação às voltagens das baterias do sensor, potência do campo primário emitido, valores espúrios, ajustes de inclinação do Tx e Rx e frequências ruidosas. Todos os levantamentos realizados foram referenciados pela estação inicial. O EMSys gera

gráficos e seções das leituras Ip, Op e de resistividade aparente, o que permite uma primeira identificação de anomalias ao longo do caminhar. As seções de resistividade aparente foram comparadas com aquelas calculadas pelo programa EMIGMA (PetRos EiKon®) para auxiliar na interpretação inicial dos dados.

A profundidade de investigação é a máxima profundidade em que o campo induzido é perceptível pelo equipamento e distinguível de ruídos. É, pois, dependente da frequência utilizada (maior investigação com menores frequências), condutividade do terreno (maior profundidade em terrenos mais resistivos) e proporcional à separação Tx-Rx. Na prática (Fitterman e Labson, 2005), esta profundidade de investigação é da ordem da metade das separações-s Tx-Rx de 50 a 100 m utilizados, ou seja, entre **25 e 50 m**.

Resultados

MUNICÍPIO DE ACAUÁ - Sede

A locação original na Sede que estava em loteamento, próximo a 130 m de cemitério e a 200 de esgoto corrente. Esta locação foi deslocada para a margem NE do rio Canindé, próximo ao acesso pela antiga linha ferroviária e ao rio, coordenadas: Lat. 8°12'44.32"S e long. 41°4'46.39"W. As justificativas para esta nova locação são a proximidade de um rio importante e cujo trecho encontra-se encaixado em lineamento N50W, proximidade com linha de energia a 100-200 m e distante de fontes poluidoras urbanas, por se encontrar na margem oposta da cidade e a montante da cidade.

O levantamento ocorreu com separação TX-Rx de 100 m e leituras a cada 5 m. A proximidade com a rede elétrica interferiu muito nas leituras em todas as frequências. Portanto, o critério geofísico não foi considerado nesta locação.

O local é parte de uma importante paleoplanície aluvionar, que se estende por 60 m além da margem e contém depósitos de cascalhos e blocos (Figura 3). O substrato destes depósitos é um granito-gnaiss extremamente fraturado (abertura centimétrica). As famílias principais de fraturas são feixes verticalizados de direção N-S; E-W.

O poço foi perfurado a 100 m a norte da locação, com 60 m de profundidade, porém, dado como seco, vazão 0 m³/h.

MUNICÍPIO DE PAULISTANA – Localidade de Boa Vista

Localidade com muitas cercas de arame farpado e redes elétricas em direções ortogonais entre si que prejudicaram os dois levantamentos geofísicos realizados (Figura 4). Encontra-se num vale aberto, com interflúvio superior a 200 m entre margens. O substrato é uma zona de cisalhamento, aflorando xisto com foliação anastomosada de alto ângulo com direção N30W e injeções graníticas. Há uma capa de cascalho grosseiro nas elevações e cobertura coluvionar pouco desenvolvida, inferior a 1 m de espessura, podendo ser mais espessa no centro do vale. O regolito pode aprofundar-se por mais de 2 m até a rocha sã.

Foram executados levantamentos com separação TX-Rx de 50 m, com leituras a cada 5 m e separação TX-Rx de 100 m e leituras a cada 10 m. Devido às interferências com as redes elétricas e cercas, apenas os dados nas frequências 7040 Hz e 14080 Hz foram utilizados. Pelas Figuras 5a,b, existem anomalias nas estações E-75 para o levantamento s50 e na E-60 no levantamento s100.

Tais posições interceptam uma ravina (Figura 4). As pseudo-seções de resistividade aparente acentuam as anomalias condutivas entre as estações E-70 e E-100 (Figura 6 a,b) como descontinuidades geofísicas em ambos os levantamentos.

Foi escolhida como ponto de locação a anomalia na posição E-80 encontrada no levantamento com separação de 50m, com coordenadas, Lat. 8°5'56.99"S e Long. 41°13'39.93"W. O poço com 60 m, perfurado na E-90 (Lat. 8°5'56.63" e Long. 41°13'39,56") e obteve vazão 4 m³/h, foi instalado com bomba submersa.

MUNICÍPIO DE BETÂNIA – Localidade Abelha Branca

Localidade em relevo ondulado, com sugestão de locação em vale aberto com interflúvio com distância superior de 200 m (Figura 7). Rede elétrica e cercas de arame farpado estão a distâncias superiores a 350 m.

O substrato rochoso é composto por anfibólio-biotita-gnaiss com foliação N20E/54SE, visto em pequenos afloramentos nas encostas e nos fundos de barreiros escavados no centro do vale. A cobertura de solo é representada por 1,5 m de cascalho mais colúvio. Nos barreiros evidencia-se o lençol freático entre 2 e 3 m de profundidade. Lineamentos marcam as quebras e cotovelos da drenagem nos azimutes N30E, N60W, N-S e N55E e são marcantes próximo ao cruzamento dos levantamentos (Figura 7).

Os levantamentos foram realizados no sentido S-N, com extensão de 200 m e espaçamento de leituras de 10 m e sentido W-E, com extensão de 60 m e leituras a cada 5m. Ambos acompanharam a drenagem e o cruzamento destes levantamentos está próximo ao cotovelo da drenagem e a cacimbas.

As curvas $I_p \times O_p$ e a pseudo-seção de resistividade aparente no perfil longitudinal (Figura 8a) sugerem uma feição tabular/fratura fechada na estação E-145 que limita zonas mais condutivas. Esta posição está alinhada a trechos da drenagem encaixada em fraturas N30E em associadas a zonas condutivas no levantamento longitudinal, estação E-80 (Figuras 8b e 9b). Portanto, a locação foi sugerida na zona condutiva da E-115 (Lat. 8° 8'20.91"S; Long. 40°45'53.62") do levantamento S-N, coincidente com trechos condutivos do levantamento W-E (E-80 a E90) através de provável conexão pela fratura orientada N30E.

A perfuração foi deslocada da locação em 30 m para noroeste, e perfurado até 60 m de profundidade, porém, revelou-se improdutivo (vazão 0 m³/h). Neste caso, foi nítido o distanciamento do poço ao lineamento N30E observado no campo.

MUNICÍPIO DE BETÂNIA - Localidade Mulungu

Região de morrotes, com sugestão de locação em vale aberto com interflúvio com distância superior a 200 m. Afloramentos de mármore em blocos movimentados nas encostas e nos fundos de cacimbas escavados no centro do vale. A cobertura está representada por camada de até 0,5 m de cascalho, seguida de 1 m de colúvio-elúvio. Pela cacimba, evidencia-se que o lençol freático está abaixo de 4 m de profundidade. Lineamentos regionais com direções NNE-SSW e E-W são marcantes próximo ao cruzamento dos levantamentos.

Foram realizados dois levantamentos com leituras a cada 5 m e separação Tx-Rx de 50 m nos sentidos N-S e NE-SW, acompanhando o vale principal. Outros dois levantamentos com leituras a cada 10 m e separação Tx-Rx de 50 e 100 m sobrepostos, foram realizados no sentido NE-SW, ortogonal à drenagem na sua porção a montante. A rede elétrica interferiu em parte dos levantamentos. Portanto, foi analisado neste estudo apenas um segmento do levantamento N-S longitudinal e os levantamentos ortogonais.

Foi indicada como posição prioritária para locação, a estação E-50 (Lat. 8° 9'41.97"S; Long. 40°40'13.39"W) do perfil NE-SW transversal, por ser mais característica de brusca descontinuidade lateral e por atravessar completamente a anomalia. Tais observações consideram as pseudo-seções de resistividade aparente destes levantamentos e a proximidade ao lineamento NW-SE.

A perfuração ocorreu na posição indicada, alcançando 60 m de profundidade. Todavia, não foi encontrada água subterrânea.

Conclusões

A portabilidade e praticidade de operação com o PROMIS-10 permitiu num período de 14 dias a rápida aquisição de dados em cinco municípios, onze localidades, embora sem o detalhamento necessário para a finalidade. Neste trabalho, apresentamos os resultados das interpretações que orientaram a perfuração de três poços secos ou improdutivos e um poço com vazão de 4 m³/h. Houve perfurações em mais as sete localidades, todas produtivas, com vazões entre 0,2 e 3 m³/h. Porém, suas localizações necessitam confirmação pois as distâncias das locações sugeridas são superiores a 100 m, não sendo consideradas nesta apresentação.

O trabalho também serviu para o ganho de experiência da equipe, onde mesmo fatores estruturais favoráveis, surpresas desagradáveis podem ocorrer. As locações de poços para abastecimento no domínio do cristalino continuarão a ser desafiadoras, sem deixar de serem intrigantes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CPRM pela autorização de publicação e à Residência de Teresina pelo suporte operacional. Ao Exército Brasileiro pela informação de perfuração e instalação dos poços.

Referencias

Fitterman, D. V., V. F. Labson, 2005, Electromagnetic induction methods for environmental problems. In: Butler, D. K., Near Surface Geophysics, Part 1: Concepts and Fundamentals, chapter 10. Soc. of Explor. Geophys. DOI: <http://dx.doi.org/10.1190/1.9781560801719.ch10>. p. 301-355.

Galvão, M. J. da T. G. (org.), 2013, Locações de poços tubulares em rochas cristalinas. Programa de convivência com a seca. Relatório Interno. CPRM, Recife.

IRIS-Instruments, 2012, EMSys v.02.03, programa de gerenciamento de dados eletromagnéticos do PROMIS, disponível em www.iris-instruments.com, acesso em 05 maio 2011.

Jardim de Sá, E. F., C. C. N. Silva, A. C. F. Coriolano, W. E. Medeiros, 2008, Conceitos de análise estrutural aplicados à hidrogeologia de terrenos cristalinos. In: FEITOSA FAC, J. MANOEL FILHO, E. C. FEITOSA, J. G. A. DEMETRIO, 2008, Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 97-120.

Telford, W. M., L. P. Geldart, R. E. Sheriff, D. A. Keys, 1984, Applied geophysics, Cambridge University Press. New York, U. S. Chapters 7 and 8, p. 500-700.



Figura 2: Equipamento PROMIS-10: a) monitor e receptor-Rx; b) bobina e transmissor-Tx e baterias no cinturão, onde são gerados os campos primários. Transmissor e receptor estão conectados por cabo de transmissão de dados.



Figura 3: Acauã: a) Paleo-terraços aluvionares com 3 m de espessura; b) Padrão de fraturamento e foliação em afloramentos alterados de granito-gnaise.

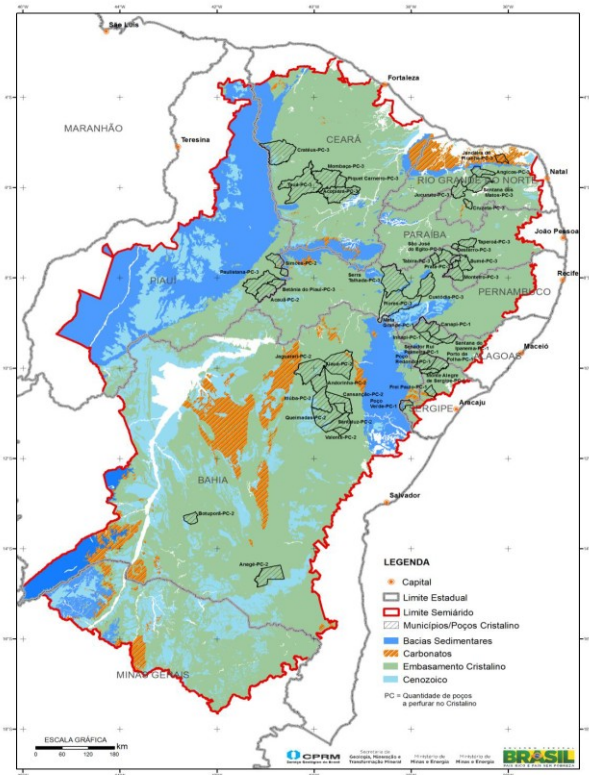


Figura 1: Municípios sobre o domínio de rochas cristalinas no Nordeste do Brasil que foram contemplados com poços pelo Programa de Convivência com a Seca. Fonte: Galvão, 2013.

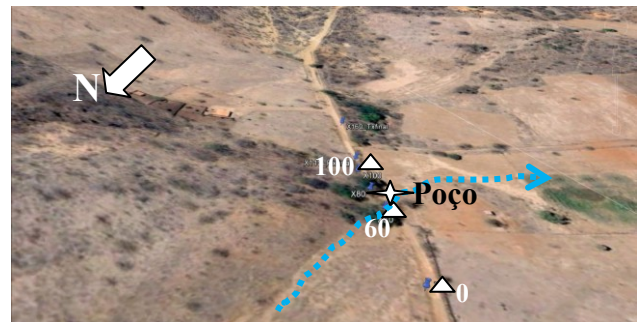


Figura 4: Paulistana/Boa Vista: locação do poço do poço tubular (estrela), ravina em pontilhado azul e estações em triângulos brancos. Poço (estrela branca). Imagem Google Earth®.

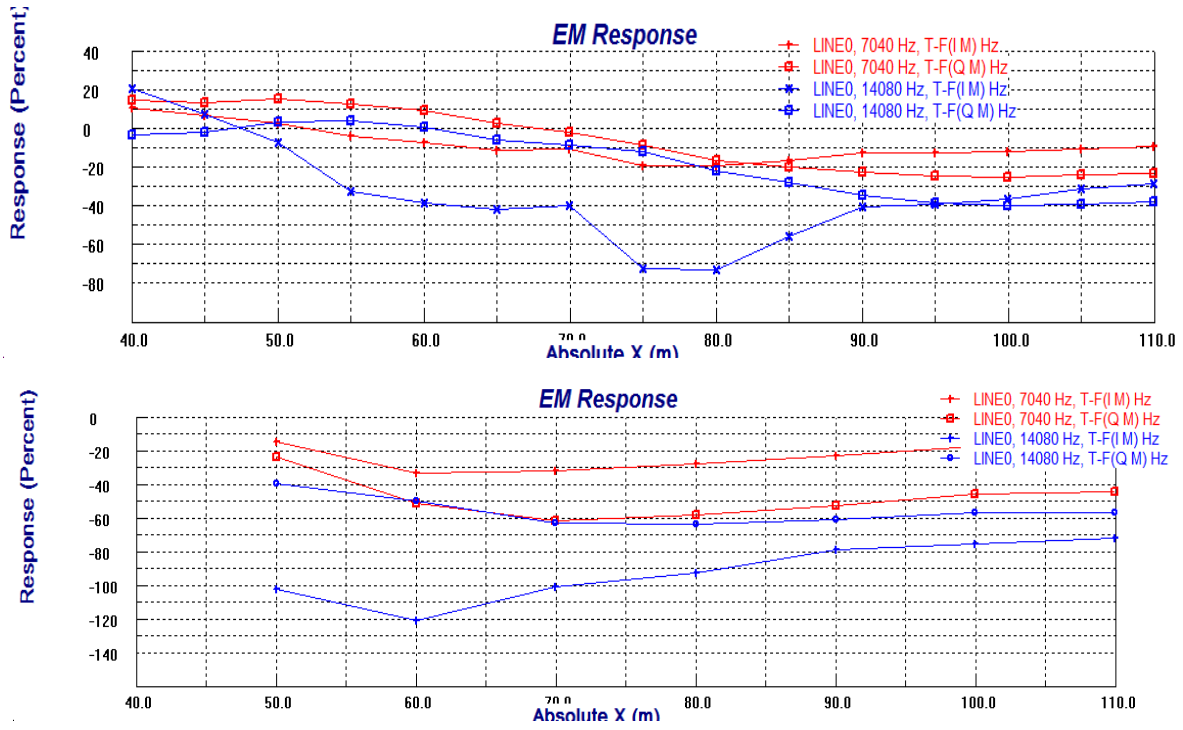


Figura 5: Paulistana/Boa Vista. Valores em-fase (I_p) e quadratura (Q) para levantamento a) separação TX-Rx de 50 m e leitura a cada 5 m; b) separação TX-Rx de 100 m e leitura a cada 10 m.

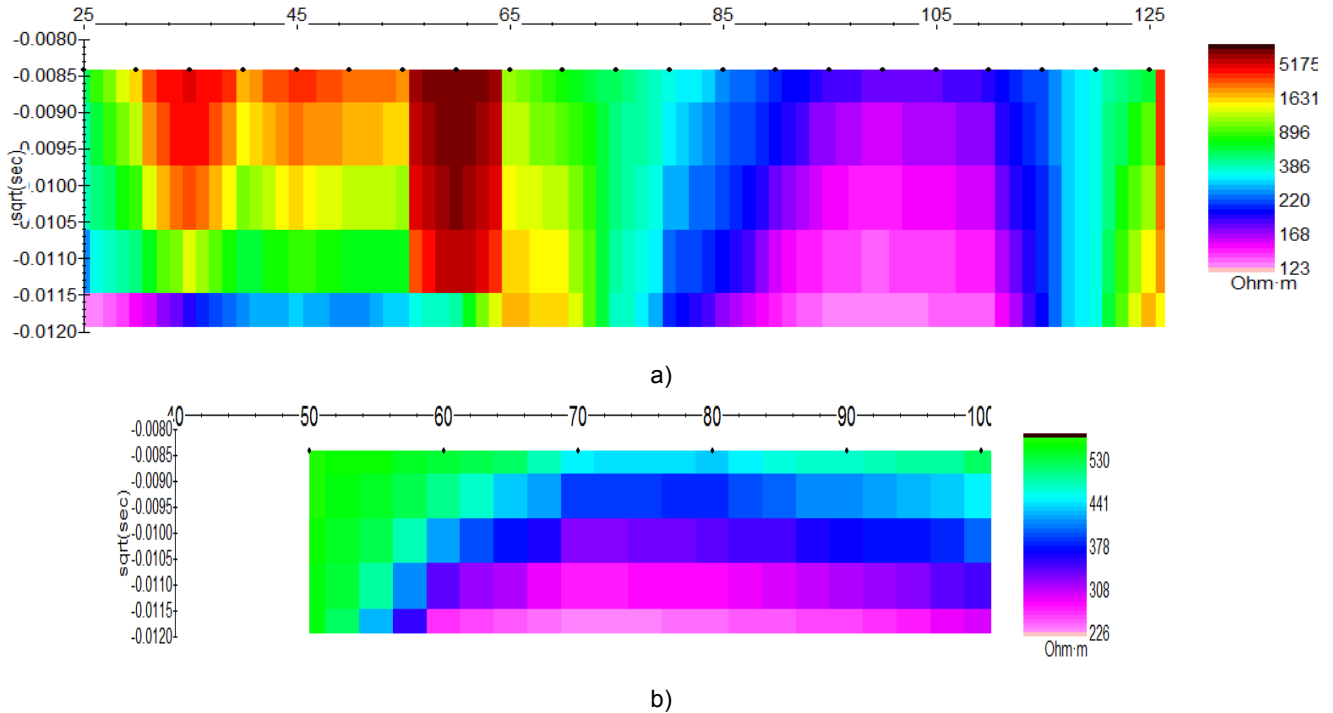


Figura 6: Paulistana/Boa Vista. Pseudo-seção de resistividade aparente calculada com dados de quadratura: a) levantamento com separação TX-Rx de 50 m; b) separação TX-Rx de 100 m. Eixo-Y é ao período da onda eletromagnética para cada frequência de aquisição.



Figura 7: Betânia/Abelha Branca: disposição dos levantamentos S-N (branco) e W-E (em laranja), ao longo do vale. Ambos os levantamentos acompanham a drenagem. Lineamentos em pontilhado traços pretos. Imagem Google Earth®.

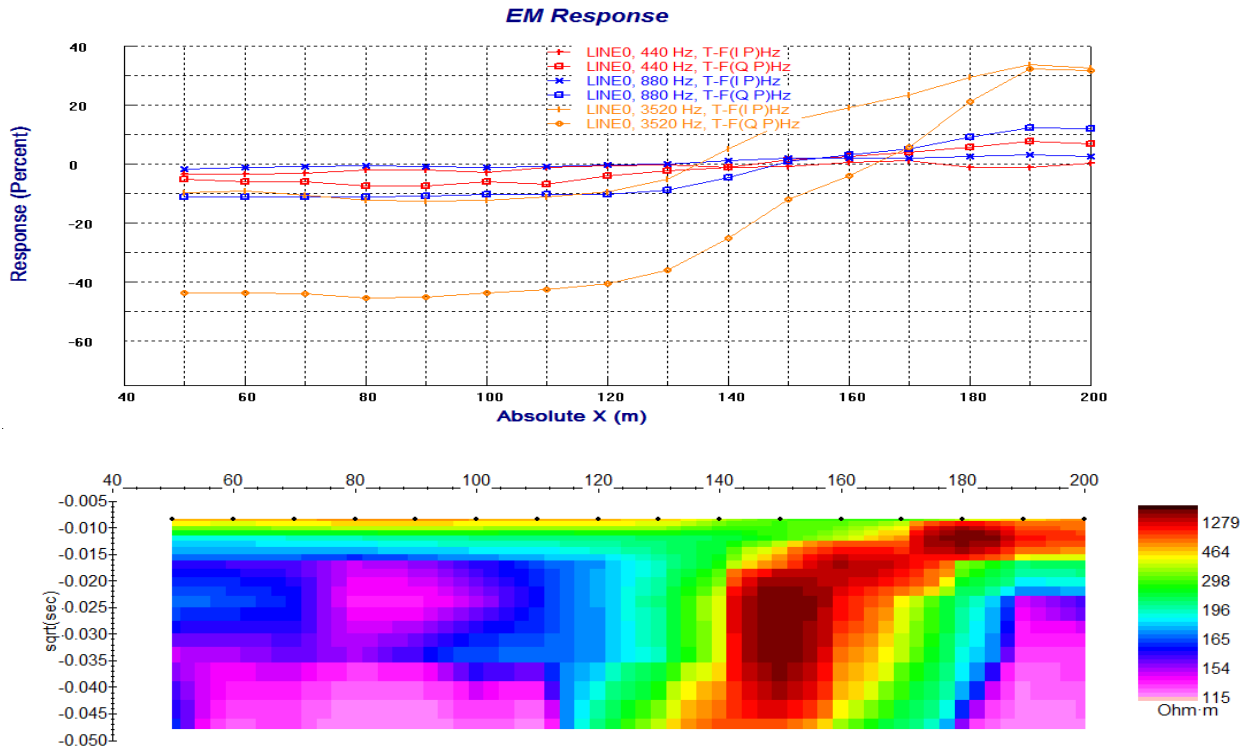


Figura 8: Betânia/Abelha Branca: a) curvas de valores em fase (Ip) e quadratura (Op) para o levantamento S-N, acompanhando a drenagem principal. Notar a feição inclinada para sul com alta resistividade na estação E-145 que separa domínios menos resistivos (rosa), sugerindo ser o lençol freático.

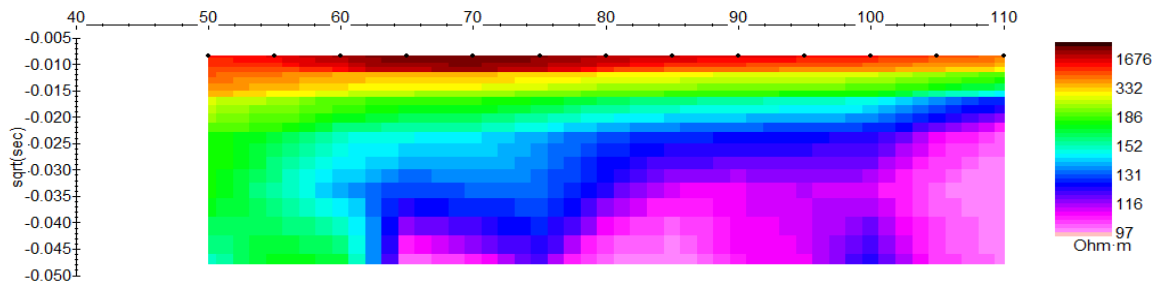


Figura 9: Betânia/Abelha Branca: a) curvas de valores em fase (Ip) e quadratura (Op) para o levantamento W-E, acompanhando a drenagem principal. Notar disposição aparente inclinada para oeste das camadas geolétricas. O lençol freático pode estar representado pelo domínio inferior, menos resistivo (cor rosa)