

ZONAS (EIXOS) CONDUTIVAS EM ROCHAS CRISTALINAS NA REGIÃO DE IRAUÇUBA, NORTE DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

José Alberto Ribeiro¹, Fernando A. C. Feitosa¹, José Farias de Oliveira¹, Oderson Antonio de Souza Filho¹ e Edilton Carneiro Feitosa²

RESUMO - No Projeto *Otimização de Metodologias de Prospecção de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas*, em desenvolvimento pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na porção norte do estado do Ceará, foram realizados levantamentos de geofísica terrestre (eletroresistividade) e de aerogeofísica. Na interpretação dos caminhamentos elétricos, Ribeiro *et al.* (2001) identificaram um comportamento distinto entre os caminhamentos realizados na direção W-E e os realizados na direção N-S. Nos caminhamentos na direção W-E o comportamento elétrico configura uma acentuada alternância de zonas de maior e menor resistividades, enquanto que nos caminhamentos de direção N-S essa alternância não é tão evidente. Muitas vezes, como no caso da localidade Carnaubinha, o caminhamento N-S caracterizou um comportamento homogêneo condutivo ao longo dessa direção, sugerindo que essas zonas estão orientadas predominantemente na direção N-S. Em levantamento aerogeofísico realizado pela LASA (2001) em uma porção da área do Projeto, o mapa de condutividade aparente na frequência de 4.500 Hz mostrou a existência de vários eixos condutivos na direção evidenciada pelo método elétrico terrestre utilizado. Entretanto, feições lineares na direção N-S não são comumente destacadas nas imagens de sensores remotos da área.

ABSTRACT – Ground geophysics (electroresistivity) and airborne geophysics were executed at the north portion of the state of Ceará, Brazil being part of the institutional project of CPRM – Geological Survey of Brazil “Optimization of Methodologies of Groundwater Research in Crystalline Terrains”. In the interpretation of the ground survey, Ribeiro *et ali* (2001) identified a distinct behaviour waking along lines of W-E and N-S direction. Along lines of W-E direction, apparent resistivity values show pronounced alternate zones (axes) of higher and lower resistivity, while along N-S lines, that zone alternation is not so evident. In many sites, as the locality of Carnaubinha, the N-S survey characterized a conductive behaviour along that direction suggesting that those zones are predominantly oriented N-S. The airborne survey carried out by LASA (2001)

¹Geólogos do Serviço Geológico do Brasil - CPRM - Residência de Fortaleza - Av. Santos Dumont, 7700 - 2ºandar - Fone (085) 265.1288 - CEP: 60.190-800 - Fortaleza-CE - e-mail: ribeiroja@yahoo.com.br, ffeitosa@secrel.com.br

²Hidrogeólogo da Agência Nacional de Águas - Fone (061) 445.5288 - CEP: 70.610-200 - Brasília -DF - e-mail: ediltonf@yahoo.com.br

in part of the pilot-area, produced an apparent conductivity map at 4.500 Hz frequency which showed the existence of several conductivity axes in the same direction pointed out by the ground electric method. However, N-S lines features are not commonly enhanced in remote sensing images for the area.

Palavras-chave: Geofísica, eletrorresistividade, água subterrânea.

INTRODUÇÃO

No estado do Ceará predominam, em 75% da área, rochas cristalinas com baixa vocação hidrogeológica, onde se buscam conhecimentos que favoreçam a localização das águas subterrâneas em meios fraturados. A CPRM – Serviço Geológico do Brasil desenvolve estudos que visam a evolução do conhecimento da ocorrência da água subterrânea em meios anisotrópicos através do Projeto *Otimização de Metodologias de Prospecção de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas*, em convênio de cooperação técnica entre o Canadá e Brasil, firmado através do GSC - *Geological Survey of Canada* e da CPRM com o apoio financeiro da CIDA – *Canadian International Development Agency*. Essa cooperação visa primordialmente a transferência de tecnologia, na forma de treinamentos, capacitação e importação de tecnologias ainda não disponíveis no país para auxiliar no desenvolvimento dos trabalhos. O convênio abrange outras áreas de pesquisa no estado de Pernambuco e Rio Grande do Norte. Na área do Ceará, região de Irauçuba, além do mapeamento geológico, inventário de pontos d'água e qualidade das águas subterrâneas, foram realizados estudos de geofísica terrestre, método de eletrorresistividade com mais de 20 km de caminhamentos elétricos e levantamento aerogeofísico usando métodos eletromagnéticos em uma porção da área (Bloco Juá) do Projeto com aproximadamente 154 km².

ÁREA DE TRABALHO

A área de trabalho abrange a Folha Irauçuba (SA.24-Y-D-V), localizada a 160 km de Fortaleza, delimitada pelos meridianos 39°30' e 40°00' W e pelos paralelos 3°30' e 4°00' S (figura 1). Engloba total e/ou parcialmente os municípios de Irauçuba, Itapagé, Itapipoca, Miraíma, Sobral, Tejuçuoca e Uruburetama, com área de 3.025 km². O acesso é feito a partir de Fortaleza através da rodovia federal BR-222, cortando toda a área na direção aproximadamente leste-oeste. Em seu extremo noroeste é servida pela rede ferroviária federal (RFFSA) no trecho que liga as cidades de Itapipoca e Miraíma.

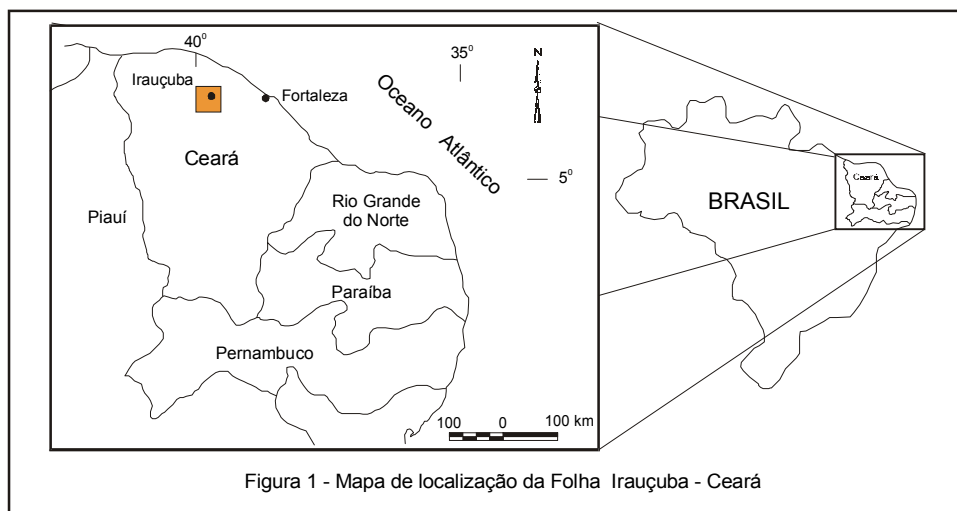


Figura 1 - Mapa de localização da Folha Irauçuba - Ceará

ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

A geologia da Folha Irauçuba segundo SOUZA FILHO, 1999, é constituída por rochas do Pré-cambriano e depósitos aluviais. No âmbito das rochas pré-cambrianas a unidade mais antiga é formada por rochas metamórficas de alto grau, predominando gnaisses migmatizados e metabasitos. A unidade seguinte constitui uma seqüência supracrustal essencialmente paraderivada, correlacionável ao Complexo Ceará, composta por gnaisses, xistos, quartzitos e metacarbonatos. Intrusivos nas seqüências descritas anteriormente, ocorrem corpos de dimensões variadas de rochas plutônicas granulares, deformadas ou não, de composição granodiorítica a granítica e diques básicos mesozóicos. Como representantes cenozóicos existem delgadas e esparsas coberturas sedimentares residuais e/ou transportadas, predominantemente areno-conglomeráticas, e depósitos aluvionares recentes. As feições geomorfológicas e seu modelado são representados na folha por depressões periféricas e interplanálticas submetidas a processos de pediplanização (depressões sertanejas) e pelos maciços residuais dissecados em formas de colinas e cristas.

A área está inserida no denominado "Polígono das Secas", com índice de probabilidade de secas na faixa de 80 a 100%. Apresenta três tipos de climas regionais, do mais seco ao mais úmido, devido à elevada compartimentação dos fatores geográficos que ocorrem para criar espaços climáticos altamente diferenciados. O clima úmido a subúmido ocorre na serra de Uruburetama, com temperatura média anual de 24 °C e precipitação entre 1.200-1.500 mm. Nas encostas de toda a serra de Uruburetama, o clima subúmido predomina com precipitações anuais entre 800-1.200 mm e temperatura média de 28 °C. A porção sul da Folha Irauçuba, denominada de zona de sombra da serra de Uruburetama é caracterizada por um clima semi-árido, com precipitações anuais inferiores a 800 mm e temperatura média de 30 °C. A rede hidrográfica local é representada pelos rios Caxitoré, Aracatiaçu, Itapagé, Missi, Livramento e Riachão, que fluem somente durante a época das chuvas. O padrão de drenagem dominante é o dendrítico, controlado por fatores estruturais.

A vegetação predominante na maior parte da área é representada pela caatinga xerofítica de médio porte e tipo arbustiva-arbórea.

DISCUSSÃO

Geofísica Terrestre

Nos trabalhos de geofísica terrestre, método de eletrorresistividade, realizados na área em estudo, Ribeiro *et al.* (2001) selecionaram cinco poços, considerados de alta produção, com vazões variando de 5,5 a 15,0 m³/h, para servirem como referência na execução dos trabalhos, cujo objetivo era verificar se existia um comportamento elétrico padrão associado à alta produtividade. Além desses poços investigados os trabalhos de geofísica terrestre prosseguiram em mais quatro localidades (poços), porém de vazões reduzidas. Na tabela a seguir estão relacionados todos os poços investigados.

Nº	Coordenadas (UTM)	Local	Município	Teste de produção (m ³ /h)	Caminhamento Elétrico (m)
01	443.942 / 9.567.278	Logradouro	Tejuçuoca	8,00	2.000
02	402.876 / 9.586.543	Costa	Irauçuba	5,50	2.060
03	398.025 / 9.586.436	Fumo	Irauçuba	8,00	3.540
04	419.560 / 9.589.902	Barreiras (2)	Irauçuba	0,43	2.000
05	400.032 / 9.594.471	Carnaubinha	Miraíma	15,00	1980
06	439.927 / 9.571.450	Alegria	Tejuçuoca	13,20	2.200
07	416.739 / 9.586.351	Pedra Ferrada	Irauçuba		1.840
08	438.509 / 9.585.839	Boa Vista	Itapagé		1.980
09	409.297 / 9.575.355	Mandacaru (2)	Irauçuba		4.280
T O T A L					21.880

Foram aplicadas técnicas denominadas de exploração horizontal (Perfil de Resistividade) e adotado como dispositivo de medição das resistividades aparentes, o quadripolo linear simétrico AMNB de *Schlumberger*, tendo sido utilizado como equipamento um resistímetro PER-80/PROEL, fabricado pela DPM-Engenharia. Os caminhamentos elétricos (perfis) foram desenvolvidos 500 metros para cada lado a partir do poço considerado, geralmente nas direções norte, sul, oeste e leste. Foi utilizado um comprimento AB de envio de corrente igual a 100 metros e um comprimento MN igual a 5 metros, sendo as estações de medição espaçadas de 20 metros.

Na interpretação dos caminhamentos elétricos, realizados nos poços produtivos, Ribeiro *et al.* (2001), mostraram a evidência de um comportamento distinto nos valores da resistividade aparente segundo as direções W-E e N-S, em quase todos os locais investigados. Os caminhamentos realizados na direção W-E mostram como característica, uma acentuada alternância de zonas (eixos) de maior e menor resistividade aparente. Já nos caminhamentos de direção N-S essa característica é muito pouco acentuada, sugerindo a existência de zonas ou eixos condutivos

orientados aproximadamente na direção norte-sul. Os resultados desses caminhamentos são apresentados a seguir, através da visualização gráfica e de comentários referentes a cada uma das localidades investigadas.

- **Logradouro**

Os resultados dos caminhamentos (Ribeiro *et al.*, 2001) W-E e N-E da localidade Logradouro estão expressos na figura 2. Na direção W-E há uma alternância de zonas menos resistivas ladeadas por zonas mais resistivas e o poço associado a uma zona menos resistiva. Já na direção N-S o perfil apresenta um comportamento mais homogêneo e como ele corta transversalmente a parte central do perfil W-E, torna-se muito sugestivo que a zona condutiva aparentemente associada ao poço, tenha continuidade na direção do caminhamento, ou seja, N-S.

- **Costa**

Na localidade Costa, Ribeiro *et al.* (2001) realizaram 2.060 metros de caminhamento elétrico distribuídos em três perfis como apresentado na figura 3. O perfil principal na direção W-E (na realidade 100° Az) esboçou a alternância de várias zonas mais e menos resistivas, sendo melhor definido as duas zonas da porção oeste. O perfil secundário W-E (440 metros) foi realizado 100 metros a norte do limite entre as duas zonas mais proeminentes (porção oeste) do perfil principal com o objetivo de verificar a sua continuidade para norte. O perfil N-S tem seu ponto inicial deslocado de 100 metros para norte em relação ao poço.

- **Fumo**

Na localidade Fumo foram realizados 3.540 metros de caminhamentos elétricos (Ribeiro *et al.*, 2001), segmentados em seis perfis sempre orientados norte-sul ou oeste-leste. Com a análise dos

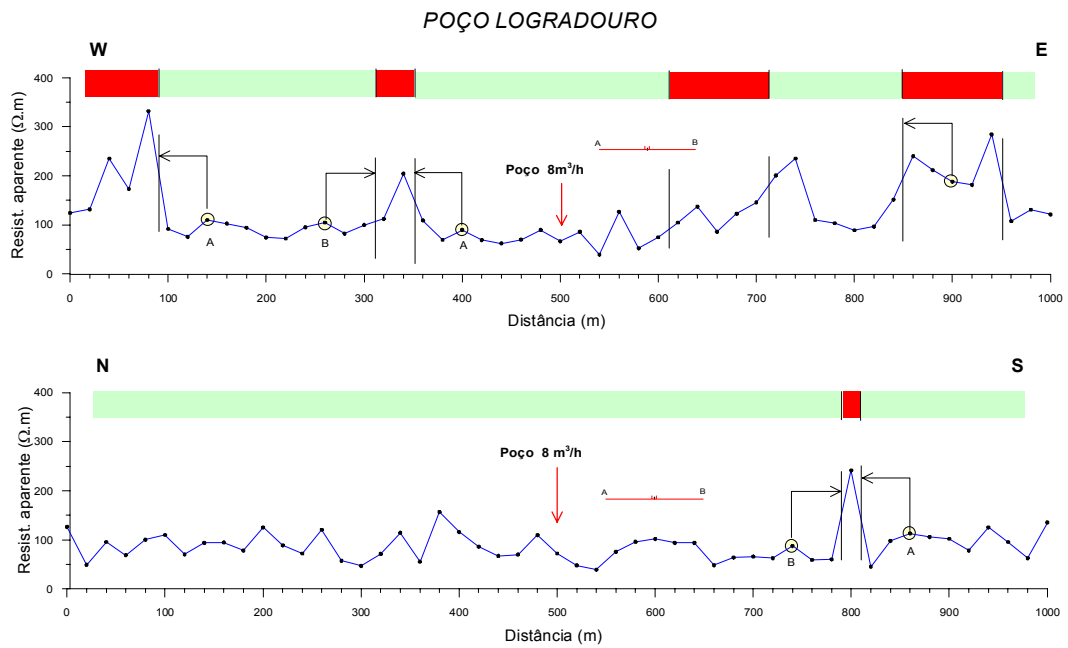


Figura 2 – Caminhamentos elétricos da localidade Logradouro (Ribeiro *et al.*, 2001)

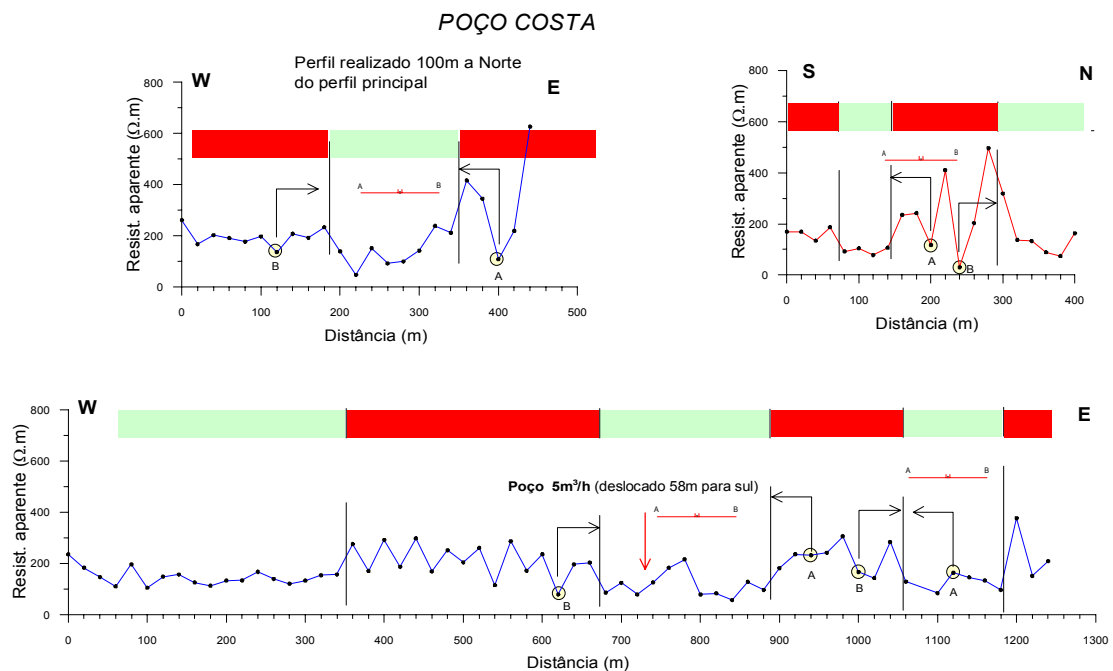


Figura 3 – Caminhamentos elétricos da localidade Costa (Ribeiro *et al.*, 2001)

dois perfis principais, mostrados na figura 4, notadamente no perfil W-E, evidencia-se um comportamento mais resistivo do poço para oeste e menos resistivo para leste. No perfil transversal (N-S) o comportamento é mais heterogêneo alternando valores de maior e menor resistividade, sugerindo que o perfil foi realizado no limite entre as duas zonas principais do perfil anterior, uma vez que esse limite não deve ser muito retilíneo.

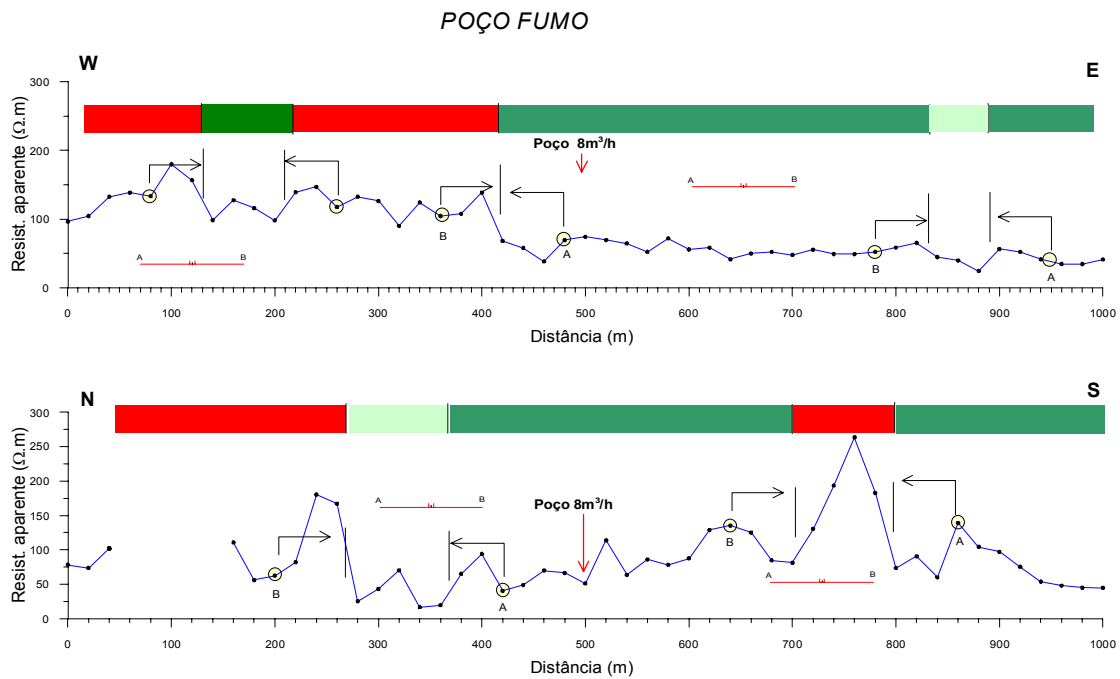


Figura 4 – Caminhamentos elétricos principais da localidade Fumo (Ribeiro *et al.*, 2001)

Os perfis secundários (quatro) foram realizados a 200 metros do poço em cada uma das direções norte, sul, leste e oeste, cujos centros (dos perfis) coincidem com um dos perfis principais. No perfil a norte do poço (figura 5) os valores da resistividade são variados enquanto no perfil a sul nota-se com mais clareza uma zona de alta e outra de baixa resistividade. Nos perfis secundários de direção N-S (figura 6) os valores da resistividade são mais baixos, principalmente no perfil leste caracterizando uma zona de baixa resistividade relativa.

- **Barreiras**

Na localidade Barreiras os caminhamentos elétricos (figura 7) mostraram um comportamento semelhante aos perfis principais da localidade Fumo, quando a direção W-E mostra uma zona mais resistiva a oeste e outra menos resistiva a leste. No caminhamento de direção N-S, como na localidade Fumo, também não ficaram bem caracterizadas essas zonas. Entretanto na localidade Fumo existe um poço considerado de boa produção, enquanto que em Barreiras o poço é pouco produtivo. Porém, os valores da resistividade aparente na localidade Barreiras são bem mais elevados.

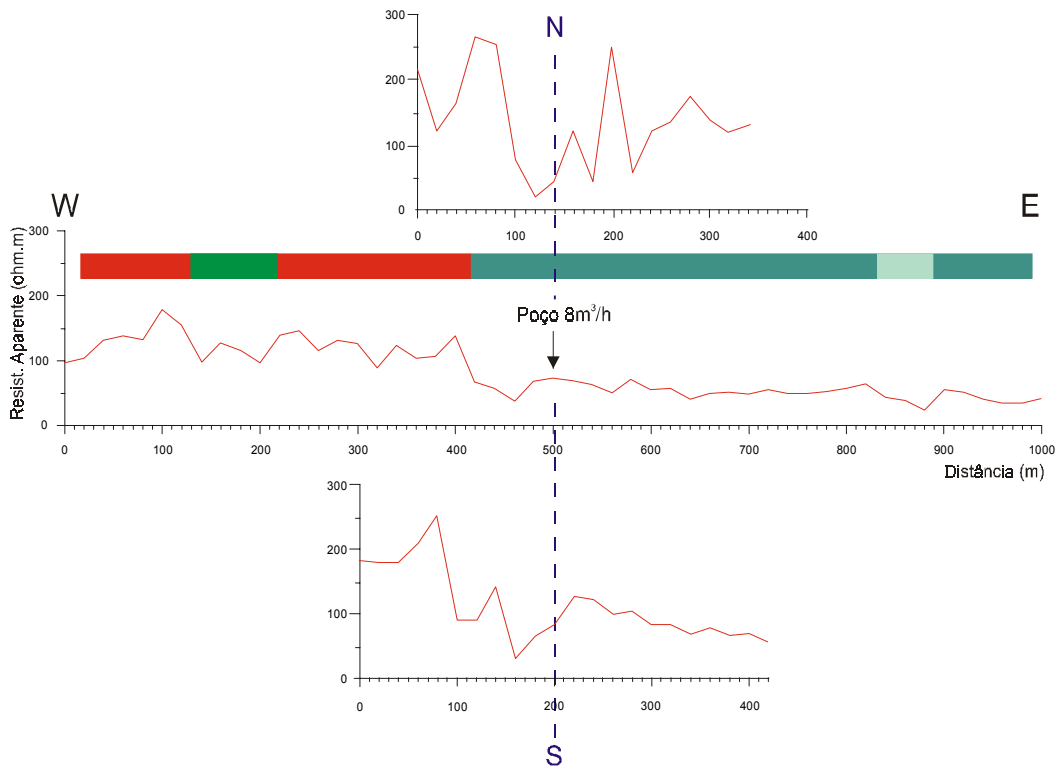


Figura 5 – Caminhamentos elétricos secundários de direção W-E da localidade Fumo (Ribeiro *et al.*, 2001)

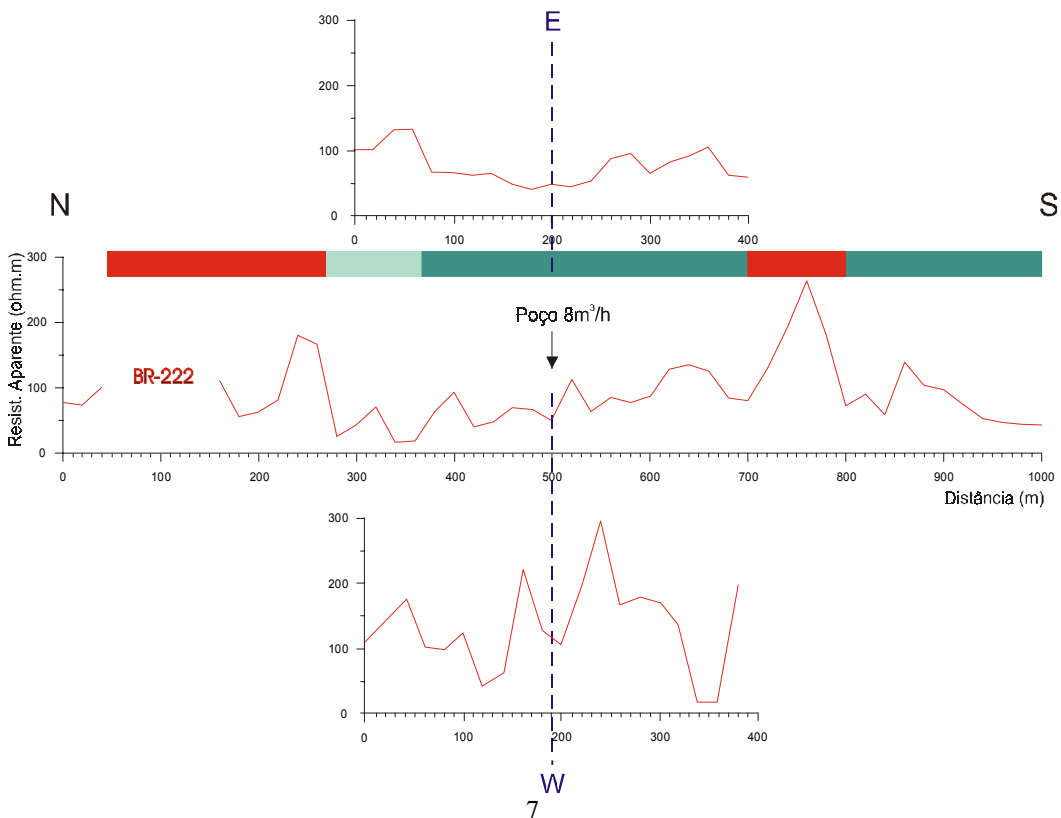


Figura 6 – Caminhamentos elétricos secundários de direção N-S da localidade Fumo (Ribeiro *et al.*, 2001)

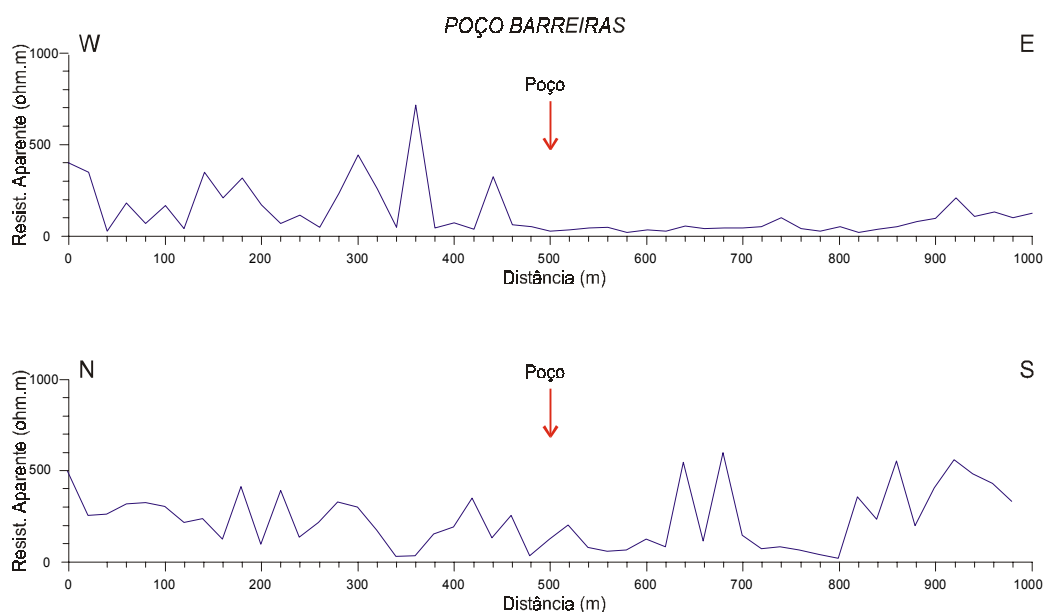


Figura 7 – Caminhamentos elétricos da localidade Barreiras

- **Carnaubinha**

Segundo Ribeiro *et al.* (2001) foram esses caminhamentos (figura 8) que caracterizaram melhor a continuidade N-S das zonas condutivas na área em estudo. No perfil W-E nota-se uma pronunciada zona condutiva ladeada por zonas resistivas, enquanto que o perfil N-S apresenta-se extremamente homogêneo com valores muito baixos de resistividade aparente. Esse comportamento elétrico homogêneo e contínuo por todo o perfil mostra claramente que a zona condutiva refletida no perfil W-E e aparentemente associada ao poço está alinhada aproximadamente N-S. Outra informação importante que deve ser considerada como relevante é a produtividade do poço, a maior da região, pois pode haver uma relação direta entre a expressividade das zonas condutivas e produtividade de poços.

- **Alegria**

Na localidade Alegria (Ribeiro *et al.*, 2001), os caminhamentos elétricos não obedeceram à sistemática N-S e W-E, sendo suas direções NW-SE e NE-SW, e talvez por isso apresentaram comportamento semelhante, conforme ilustrado na figura 9. São evidenciadas zonas resistivas, ladeadas por zonas menos resistivas, destacando-se uma zona central pronunciadamente resistiva. De acordo com gráfico NW-SE o poço foi locado na passagem de uma zona resistiva para condutiva, sugerindo que a locação mais apropriada deveria ser deslocada um pouco para leste.

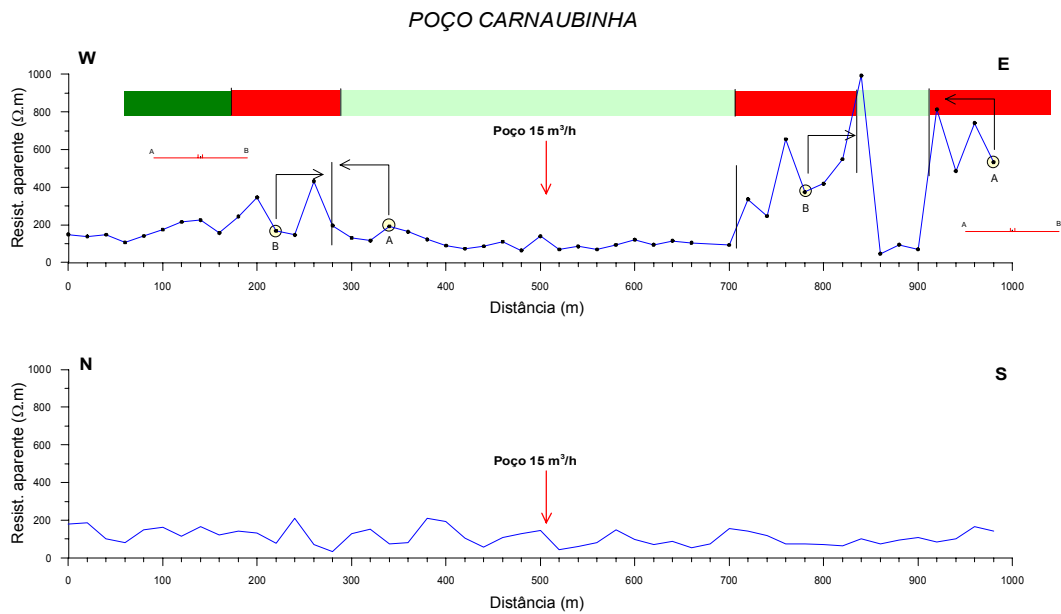


Figura 8 – Caminhamentos elétricos da localidade Carnaubinha (Ribeiro *et al.*, 2001)

- **Pedra Ferrada**

Na localidade Pedra Ferrada o caminhamento elétrico W-E (figura 10) mostra um comportamento mais homogêneo com moderada amplitude de variação nos valores de resistividade aparente, exceção do valor anômalo a 380 metros da origem oeste. O caminhamento N-S mostra uma tendência na redução dos valores da resistividade norte para sul. Nesse local o resultado da investigação geofísica não foi satisfatório quanto ao modelo evidenciado nas outras localidades.

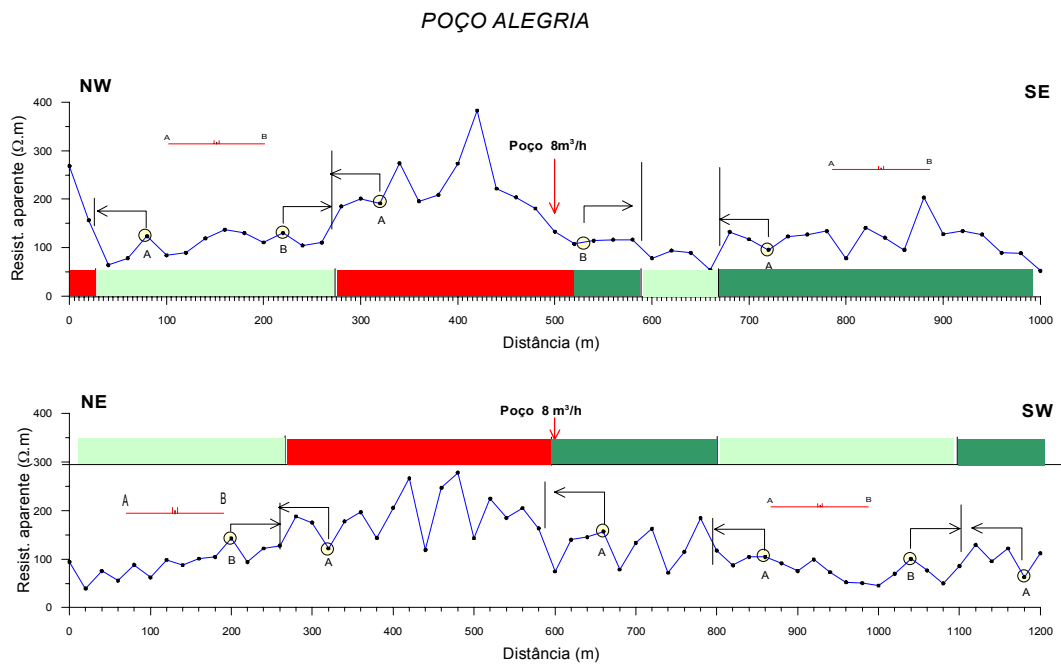


Figura 9 – Caminhamentos elétricos da localidade Alegria (Ribeiro *et al.*, 2001)

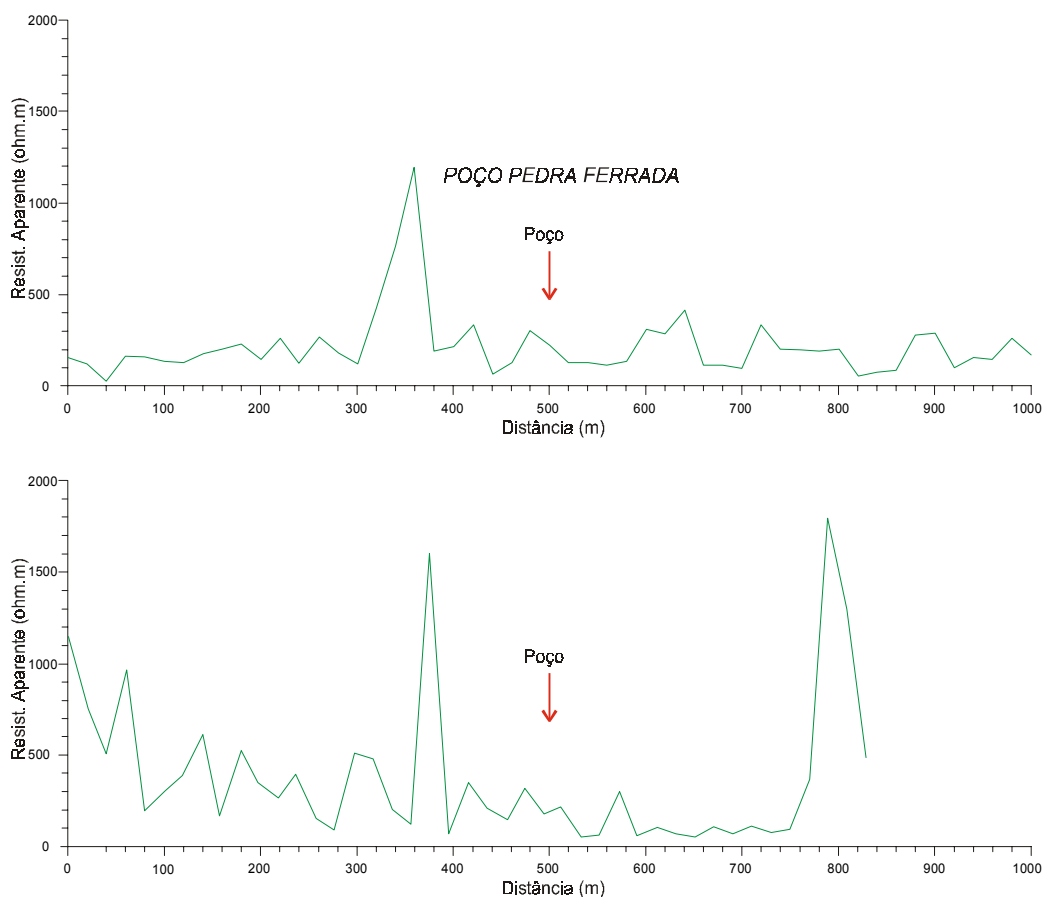


Figura 10 – Caminhamentos elétricos da localidade Pedra Ferrada

- **Boa Vista**

Na localidade Boa Vista (figura 11) os caminhamentos elétricos apresentaram um comportamento onde predominam valores elevados de resistividade. Na direção W-E zonas resistivas melhor definidas enquanto na direção N-S mostra fortes oscilações nos valores da resistividade aparente, situados entre 162,70 e 2.291,47 ohm.m.

- **Mandacaru**

Na localidade Mandacaru os caminhamentos elétricos (figura 12) tanto na direção W-E como N-S (três perfis) têm comportamentos semelhantes, mostrando pouca variação na amplitude da resistividade aparente com propensão a valores condutivos. Próximo à extremidade E do caminhamento W-E há uma tendência a valores relativamente mais resistivos.

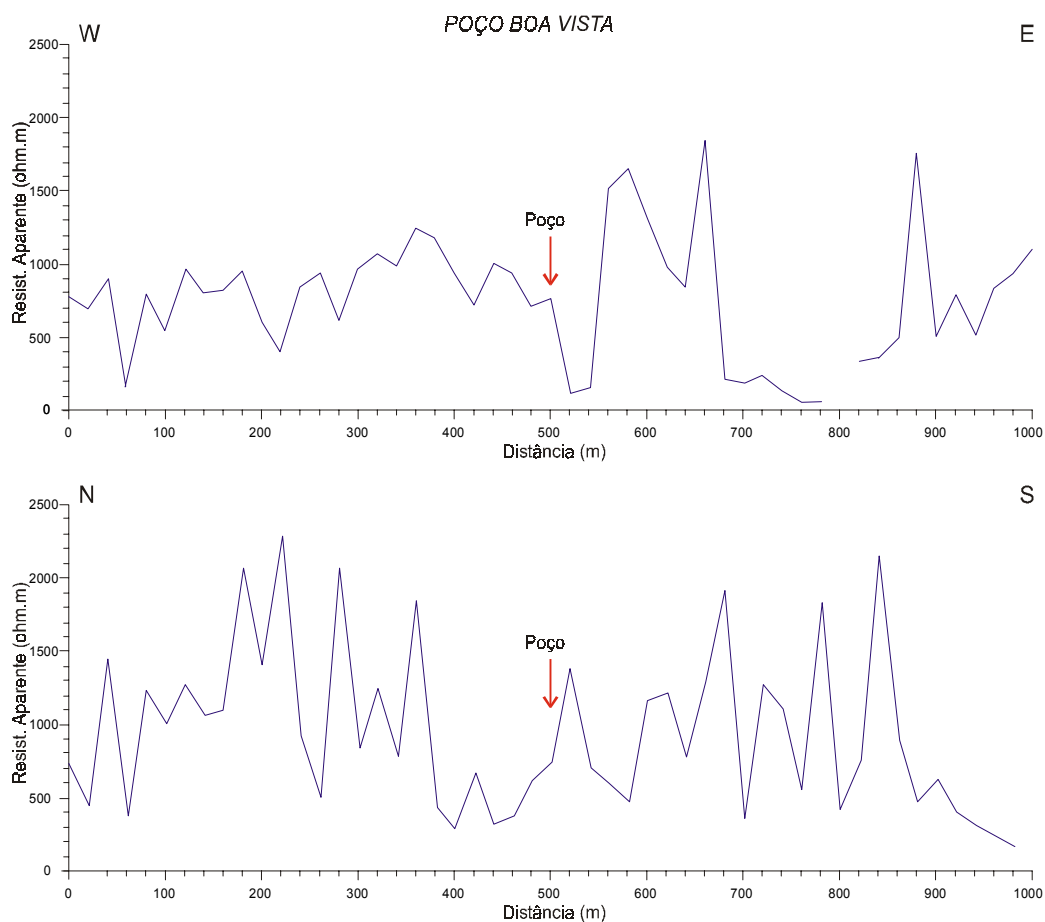


Figura 11 – Caminhamentos elétricos da localidade Boa Vista

Aerogeofísica

O levantamento aerogeofísico foi executado em 2001 pela LASA – Levantamentos Aerogeofísicos, na área de detalhe, Juá, com aproximadamente 154 km² e não contempla os locais investigados pela geofísica terrestre, exceção da localidade Mandacaru. As linhas de vôo foram na direção W-E, espaçadas de 100 metros, e as linhas de controle na direção N-S, espaçadas de 500 metros. Foram levantados no total 1.873 km de linhas.

Do levantamento aerogeofísico vamos nos reportar apenas ao mapa de condutividade aparente. O mapa apresentado foi gerado a partir do cálculo da frequência média (4.500Hz), coaxial (figura 13), na escala 1:20.000. A condutividade aparente foi calculada com base no modelo de pseudo-camada.

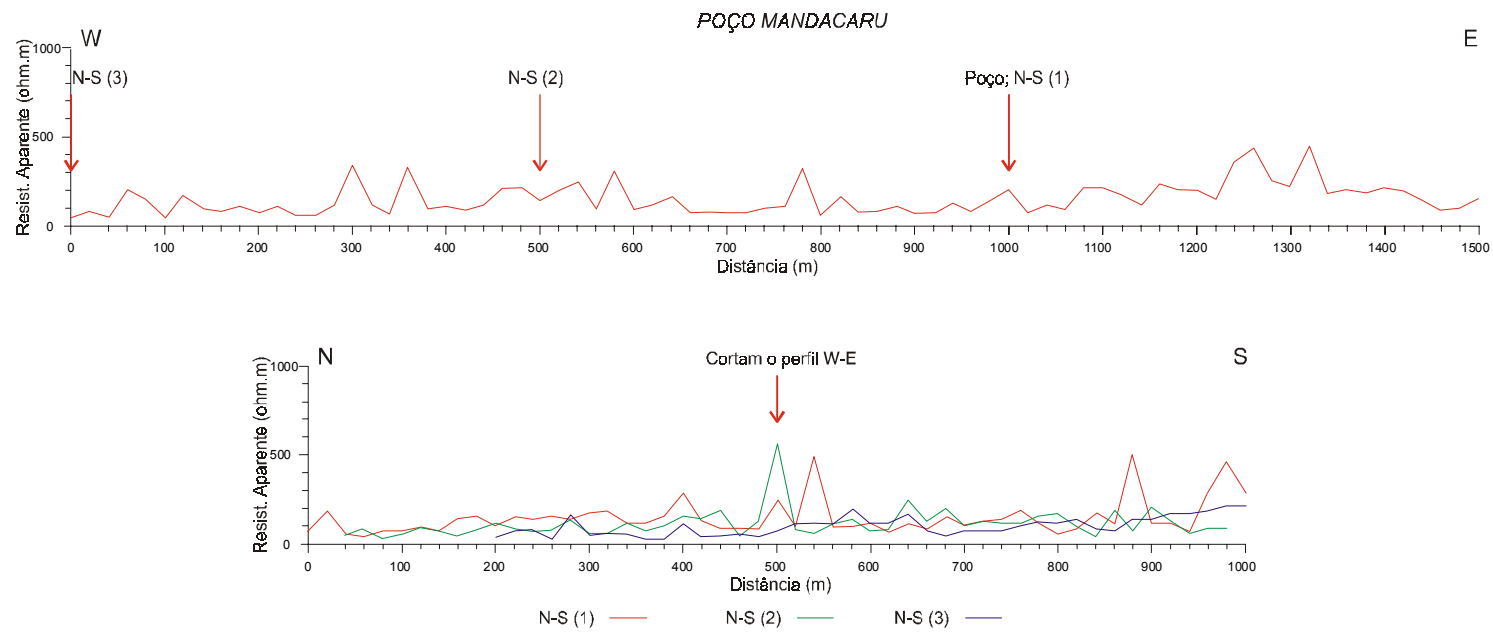


Figura 12 – Caminhamentos elétricos da localidade Mandacaru

Como se observa no mapa de condutividade aparente (figura 13), são várias feições lineares indicando “eixos de condutividade” com direção aproximadamente N-S, corroborando com a direção evidenciada pelo método elétrico. Muitas dessas feições (eixos condutivos) cortam indiscriminadamente seqüências litológicas diferentes.

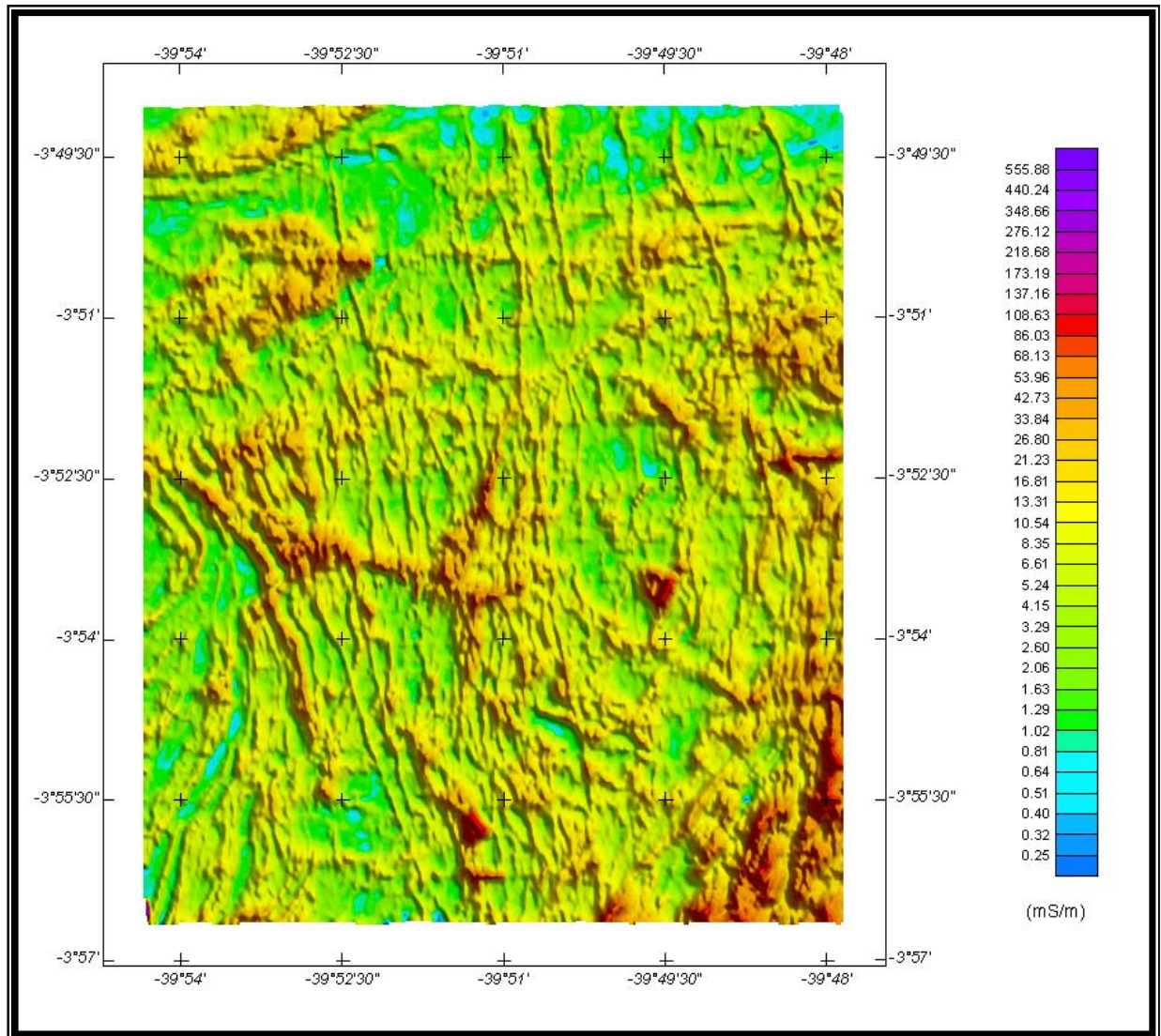


Figura 13 – Mapa Pseudo- Iluminado da Condutividade Aparente (4.500 Hz) – Bloco Juá (Azimute da Fonte Luminosa: 45°; Inclinação: 45°)

CONCLUSÕES

A existência de alinhamentos de zonas condutivas na direção N-S, foi sugerida por Feitosa (1994) na região de Alagoinha-PE. Entretanto, esse autor questiona a possibilidade dessa disposição espacial ser aparente, como resultado da distribuição dos perfis de eletrorresistividade que priorizou a investigação dos fraturamentos N-S.

O fato é que esse alinhamento foi observado também na região de Irauçuba-CE. É característico na maioria dos locais investigados com eletrorresistividade um padrão de comportamento distinto entre os caminhamentos elétricos de direção W-E e N-S. Nos de direção W-E a evidência de zonas alternadas de maior e menor resistividade aparente é melhor definida que na direção N-S. O melhor exemplo é o da localidade Carnaubinha (figura 8), onde no perfil W-E observa-se uma pronunciada zona condutiva ladeada por zonas resistivas, cuja continuidade é confirmada ao longo de todo o perfil N-S.

Outro fato interessante é que, no levantamento aerogeofísico (LASA, 2001) realizado em uma porção da área em estudo, bloco Juá, o mapa de condutividade aparente na frequência de 4.500 Hz mostrou de forma bastante expressiva a existência de feições condutivas na direção evidenciada pelo método elétrico. Deve-se ressaltar, também, que nas áreas piloto levantadas pelo mesmo método nos estados do Rio Grande do Norte e Pernambuco os eixos condutivos também aparecem, embora, de forma mais discreta.

Convém destacar que feições lineares na direção N-S não são comumente destacadas nas imagens de sensores remotos da área, e, portanto, ainda não existe uma explicação geológica consistente para justificar a existência dessas feições.

REFERÊNCIAS

- FEITOSA, E. C. 1994. *Alagoinha – Caracterização de zonas fendilhadas no cristalino através do método geofísico de eletrorresistividade*. LABHID – UFPE. 63 p. il. Relatório Inédito. Recife.
- FEITOSA, F. A. C.; SOUZA FILHO, O. A. de; VIEIRA, A. T.; VASCONCELOS, S. M. S – 1998. *Caracterização Hidrogeológica da Região de Irauçuba – CE – SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE*, ABAS, Anais, p. 35-46, il.
- SOUZA FILHO, O. A. de, 1998. *Geologia e Mapa de Previsão de Ocorrência de Água Subterrânea - Folha SA.24-Y-D-V – Irauçuba, Ceará*. Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP. 99p. il. (Dissertação de Mestrado). Ouro Preto
- RIBEIRO, J. A; FEITOSA, F. A. C, FEITOSA, E. C; PEDROSA, P. de M. da C. 2001. *Caracterização do Comportamento Elétrico em Rochas Cristalinas na Região de Irauçuba, Norte do Estado do Ceará, Brasil*. In: IV SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, ABAS, Anais, p. 225-233, il. Recife, 2001.