

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ELÉTRICO EM ROCHAS CRISTALINAS NA REGIÃO DE IRAUÇUBA, NORTE DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

José Alberto Ribeiro¹
Fernando A. C. Feitosa¹
Edilton Carneiro Feitosa²
Paulo de M. da C. Pedrosa³

RESUMO

Esse trabalho é o resultado de 11.780 m de perfis de eletrorresistividade e 3 SEV's realizados no âmbito do Projeto *Otimização de Metodologias de Prospecção de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas*, em execução pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na porção norte do estado do Ceará. Na interpretação dos perfis, ficou evidente um comportamento de zonas alternadas de maior e menor resistividade aparente, sendo que na direção W-E esse comportamento apresenta-se bem mais definido, sugerindo que, nos locais estudados, essas zonas estão orientadas predominantemente na direção norte-sul. O melhor exemplo é o da localidade Carnaubinha, 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. O interessante desse comportamento elétrico, é que Feitosa (1994) já havia admitido a sua existência na região de Alagoinha-PE. Entretanto, esse autor, ressalta que a disposição espacial dessas zonas possa ser aparente, como resultado da distribuição dos perfis de eletrorresistividade priorizados para a investigação de descontinuidades N-S evidenciadas em fotografias aéreas.

1. INTRODUÇÃO

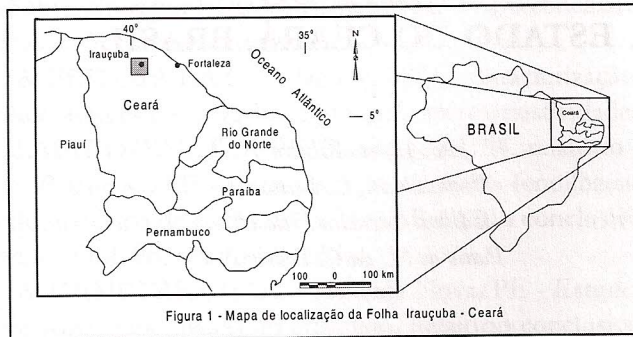
A área de trabalho abrange a Folha Irauçuba (SA.24-Y-D-V), localizada a 160 km de Fortaleza, delimitada pelos meridianos 39°30' e 40°00'W e pelos paralelos 3°30' e 4°00' S (figura 1). Engloba total e/ou parcialmente os municípios de Irauçuba, Itapagé, Itapipoca, Miraíma, Sobral, Tejuçuoca, e Uruburetama, com área de 3.025 km². O acesso é feito a partir

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

² Professor da UFPE, Pesquisador do LABHID/UFPE - Cidade Universitária, Recife – PE, Fone (081) 3271 8239, e_mail: jaga@npd.ufpe.br

³ Técnico do Laboratório de Hidrogeologia da UFPE – LABHID – Cidade Universitária Fone (081) 3271 8239 Recife – PE

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 Miraiúma.



Esse trabalho representa a fase inicial do estudo de geofísica terrestre do Projeto *Otimização de Metodologias de Prospecção de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas*, onde já foram realizados 11.780 metros de perfis de eletrorresistividade. O objetivo, além da otimização do uso dessa metodologia na prospecção de água subterrânea em rochas cristalinas, é a evolução do conhecimento da ocorrência da água subterrânea em meios anisotrópicos, na busca de modelos que permitam caracterizar condicionantes que possam efetivamente melhorar o rendimento das locações de poços.

Os trabalhos estão sendo executados pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil auxiliada por um convênio de cooperação técnica entre o Canadá e o Brasil, firmado através do GSC - *Geological Survey of Canadá* e 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 o desenvolvimento dos trabalhos. Além disso, o convênio Canadá-Brasil agregou uma série de parceiros, tanto a nível estadual como federal que estão contribuindo no desenvolvimento do Projeto.

2. 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 esta 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 1200-1500mm. Nas encostas de toda a serra de Uruburetama, o clima subúmido predomina com precipitações anuais entre 800-1200mm 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 800mm e temperatura média de 30 °C. A rede hidrográfica local é representada pelos rios Caxitoré, Aracatiaçú, 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.

3. METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia adotada para a caracterização elétrica foi baseada no conhecimento prévio de produtividade de poços existentes. Foi feita a opção, inicialmente, de utilizar como referencial poços com altas vazões, na tentativa de verificar se existia um comportamento elétrico padrão associado a alta produtividade. Assim, foram selecionados 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 e cujos dados são apresentados na tabela 1.

Foram aplicadas as técnicas denominadas de exploração vertical (Sondagem Elétrica Vertical - SEV) e a exploração horizontal (Perfil de Resistividade). Em ambos os casos foi adotado como dispositivo de medição das resistividades aparentes, o quadripolo linear simétrico AMNB de *Schlumberger*, tendo sido utilizado como equipamento um resistivímetro PER-80/PROEL, fabricado pela DPM-Engenharia. Os 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. No poço da localidade Fumo, devido ao fácil acesso, foram realizados além desses perfis (principais) mais quatro perfis (secundários) com aproximadamente 400 metros de extensão, paralelos aos perfis principais, cujos centros estão a 200m do poço nas direções norte, sul, leste e oeste e 3 sondagens elétricas verticais.

Localidade/município	Coordenadas do poço (UTM)	Teste de produção (m ³ /h)	Perfis (m) elétricos
Alegria/Tejuçuoca	439.927 / 9.571.450	13,20	2.200
Logradouro/Tejuçuoca	443.942 / 9.567.278	8,00	2.000
Carnaubinha/Miraima	400.032 / 9.594.471	15,00	1.980
Fumo/Irauçuba	398.025 / 9.586.436	8,00	3.540
Costa 1/Irauçuba	402.876 / 9.586.543	5,50	2.060
Total			11.780

Tabela 1- Dados dos poços utilizados como referência para os perfis de eletrorresistividade

O método de eletroresistividade não permite, naturalmente, obter diretamente as resistividades verdadeiras das diferentes rochas presentes no volume de terreno envolvido na medição. Obtêm-se as resistividades aparentes cujos valores dependem dos valores das resistividades verdadeiras das rochas presentes. Para a obtenção da resistividade aparente, mede-se a diferença de potencial elétrico dV , criada entre os eletrodos internos M e N do quadripolo quando se faz circular no solo, através dos eletrodos externos A e B, uma corrente elétrica contínua de intensidade i conhecida. Tanto no caso da Sondagem Elétrica Vertical como no caso do Perfil de Resistividade, a resistividade aparente para um dado arranjo do quadripolo AMNB é obtida a partir da expressão abaixo:

$$R_a = K \cdot dV / i \quad (1) \quad \text{onde:}$$

R_a = Resistividade aparente em ohm.m

K = Constante adimensional dependente do arranjo geométrico AMNB

dV = Diferença de potencial elétrico, em mV, medida entre os eletrodos internos M e N do quadripolo.

i = Intensidade da corrente elétrica contínua, medida em mA, que circula no solo através dos eletrodos externos A e B.

A técnica da exploração horizontal, ou perfil de resistividade, consiste em efetuar medições de resistividade aparente ao longo de um perfil, deslocando-se o quadripolo como um todo, à cada nova medição. Como o comprimento da linha AB permanece sempre constante, este procedimento permite investigar o sub-solo lateralmente a uma profundidade constante. Se mantivermos fixo o centro do quadripolo AMNB e realizarmos uma série de medições de resistividade aparente, aumentando o espaçamento AB a cada nova medição, simetricamente em relação ao centro, estaremos fazendo uma exploração vertical, pois em cada nova medição a corrente elétrica circulará mais profundamente que na medição anterior. Os valores de resistividade aparente assim obtidos, plotados graficamente em papel bilogarítmico contra os respectivos valores de $AB/2$, permitem obter uma curva que é a representação gráfica da função $R_a(AB/2)$. Esta curva é comumente denominada de curva de resistividades aparentes ou diagrama elétrico ou, simplesmente, sondagem elétrica. As sondagens elétricas fornecem portanto informações sobre a variação vertical das resistividades aparentes e esta última, criteriosamente interpretada, permite avaliar a natureza e a estrutura do sub-solo.

4. RESULTADOS

A eletroresistividade é o método elétrico tradicionalmente de maior emprego na pesquisa de água subterrânea, sendo uma técnica não invasiva de custo relativamente baixo. No caso específico das rochas cristalinas, procura identificar no terreno zonas ou faixas menos resistivas à passagem da corrente elétrica, traduzindo-as como áreas de maior favorabilidade para perfuração de poços, uma vez que as zonas úmidas e/ou fraturadas são consideradas de baixa resistividade. Os resultados desses perfis elétricos são apresentados a seguir, através da visualização gráfica e de comentários referentes a cada uma das localidades estudadas. Na interpretação dos perfis a cor vermelha indica zonas resistivas, a verde escuro zonas condutivas e a verde claro zonas muito condutivas.

· Alegria

Na localidade Alegria, município de Tejuçuoca, foram realizados 2.200 metros de caminhamento elétrico em dois perfis nas direções NW-SE (1.000m) e NE-SW(1.200m), conforme ilustrado na figura 2.

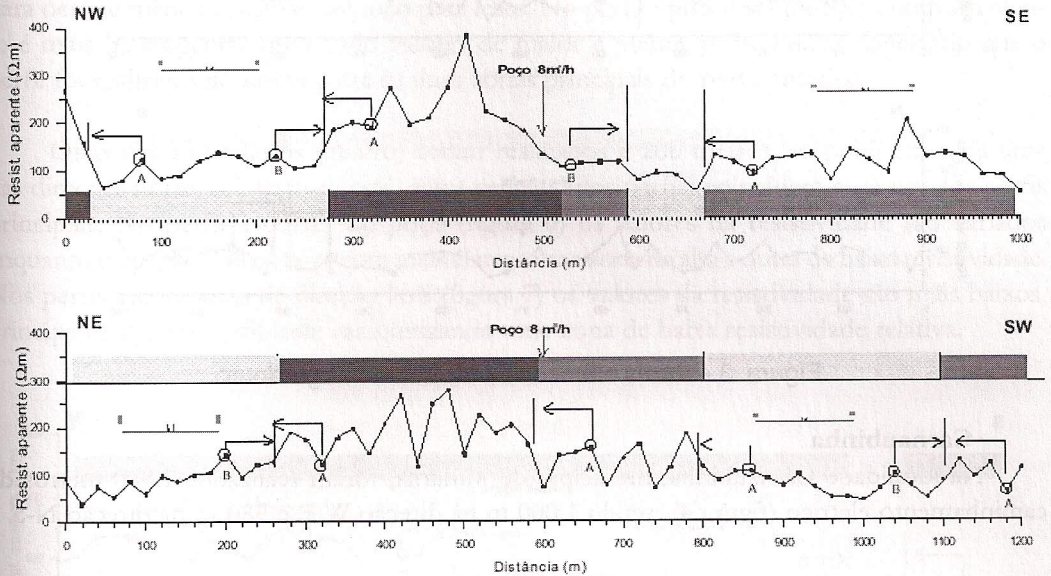


Figura 2 – Perfis elétricos da localidade Alegria

Em todo o trabalho esses perfis são os únicos que não foram realizados obedecendo às direções norte-sul e leste-oeste. Nos dois gráficos mostrados acima 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.

· Logradouro

Na localidade Logradouro, município Tejuçuoca, foram realizados 2.000 metros de perfis de eletrorresistividade, sendo 1.000 m em cada direção (norte-sul e oeste-leste). Os resultados dos perfis estão expressos na figura 3, evidenciando comportamento distinto segundo suas direções. O perfil W-E mostra uma alternância de zonas menos resistivas e zonas mais resistivas sugerindo que o poço teria sido locado de maneira apropriada. Já o perfil N-S, 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 perfil, ou seja, N-S.

· Alegria

Na localidade Alegria, município de Tejuçuoca, foram realizados 2.200 metros de caminhamento elétrico em dois perfis nas direções NW-SE (1.000m) e NE-SW(1.200m), conforme ilustrado na figura 2.

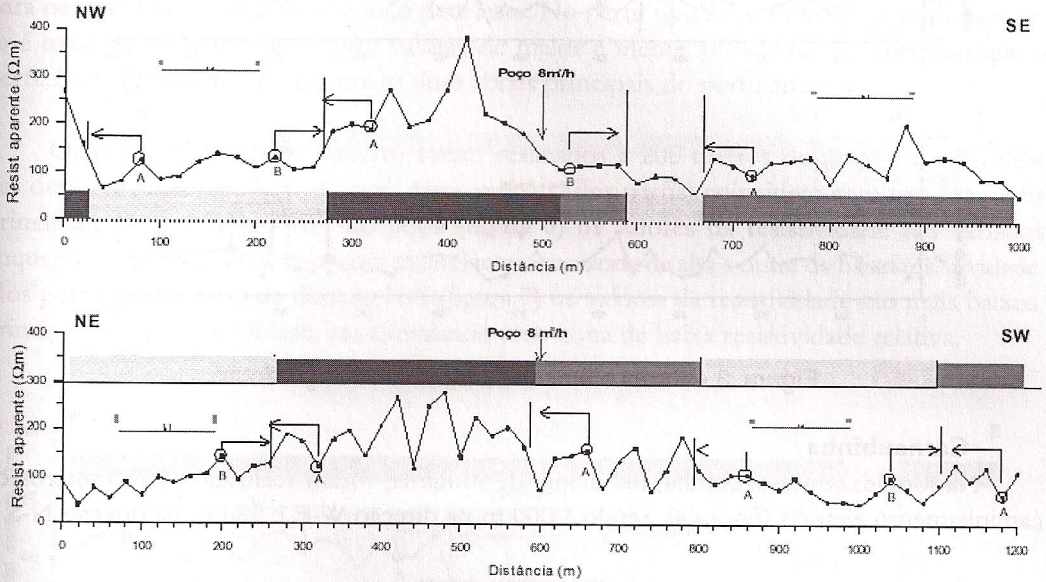


Figura 2 – Perfis elétricos da localidade Alegria

Em todo o trabalho esses perfis são os únicos que não foram realizados obedecendo às direções norte-sul e leste-oeste. Nos dois gráficos mostrados acima 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.

· Logradouro

Na localidade Logradouro, município Tejuçuoca, foram realizados 2.000 metros de perfis de eletrorresistividade, sendo 1.000 m em cada direção (norte-sul e oeste-leste). Os resultados dos perfis estão expressos na figura 3, evidenciando comportamento distinto segundo suas direções. O perfil W-E mostra uma alternância de zonas menos resistivas e zonas mais resistivas sugerindo que o poço teria sido locado de maneira apropriada. Já o perfil N-S, 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 perfil, ou seja, N-S.

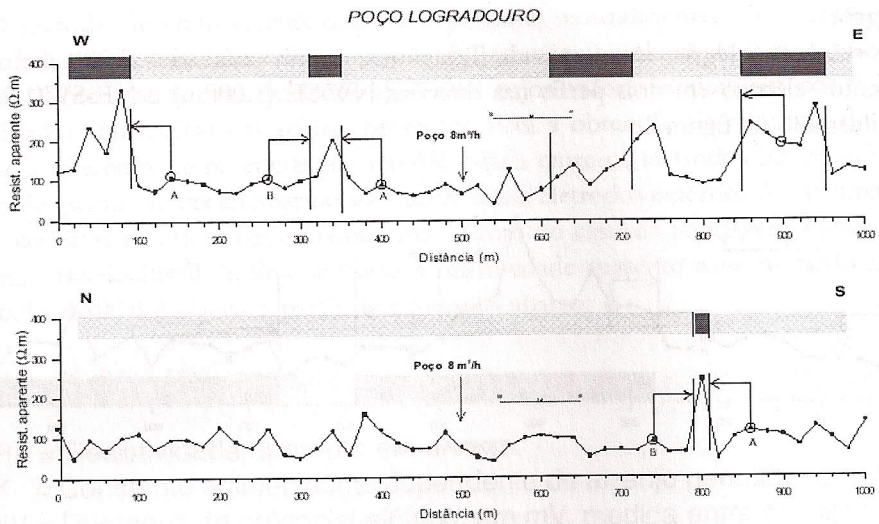


Figura 3 – Perfis elétricos da localidade Logradouro

• Carnaubinha

Na localidade Carnaubinha, município de Miraíma, foram realizados 1.980 metros de caminhamento elétrico (figura 4), sendo 1.000 m na direção W-E e 980 m na direção N-S.

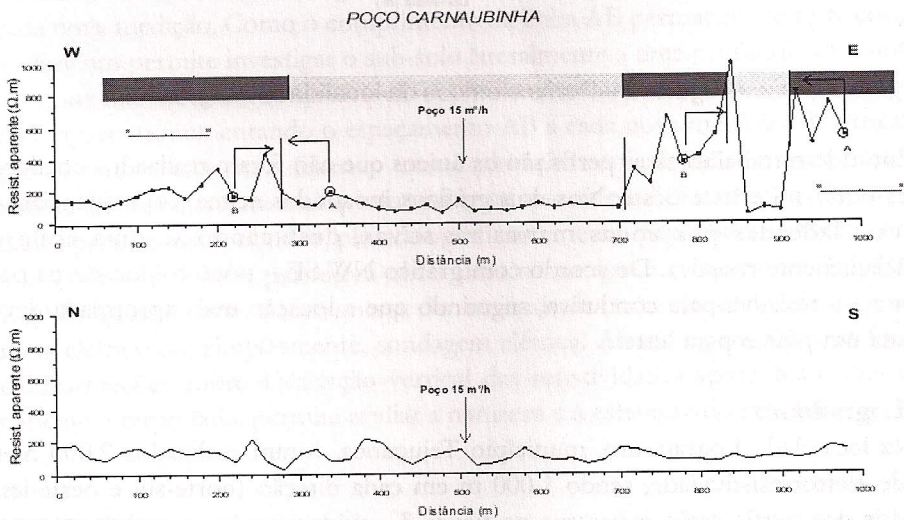


Figura 4 – Perfis elétricos da localidade Carnaubinha

Esses perfis foram os que caracterizaram melhor a continuidade N-S das zonas condutivas em torno dos poços selecionados nesse 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.

Fumo

Na localidade Fumo, município de Irauçuba, foram realizados 3.540 metros de perfis de eletrorresistividade, segmentados em seis perfis sempre orientados norte-sul ou oeste-leste. Com a análise dos dois perfis principais, mostrados na figura 5, (o poço no centro de cada perfil), notadamente no perfil W-E, evidencia-se um comportamento mais resistivo do poço para oeste e menos resistivo do poço 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.

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 6) 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 7) os valores da resistividade são mais baixos, principalmente no perfil leste caracterizando uma zona de baixa resistividade relativa.

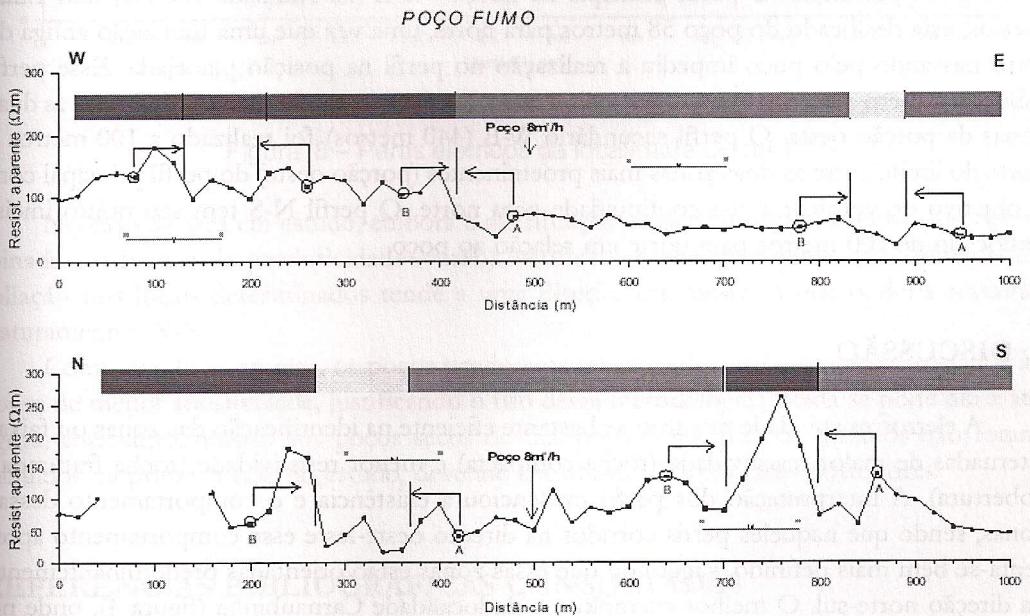


Figura 5 – Perfis elétricos principais da localidade Fumo

200 metros a norte do perfil principal

200 metros a sul do perfil principal

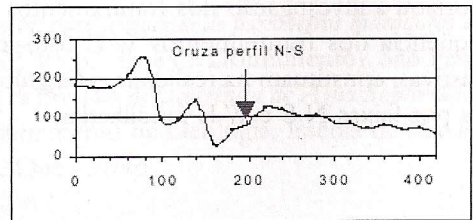
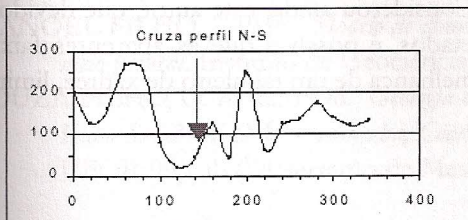


Figura 6 - Perfis secundários W-E

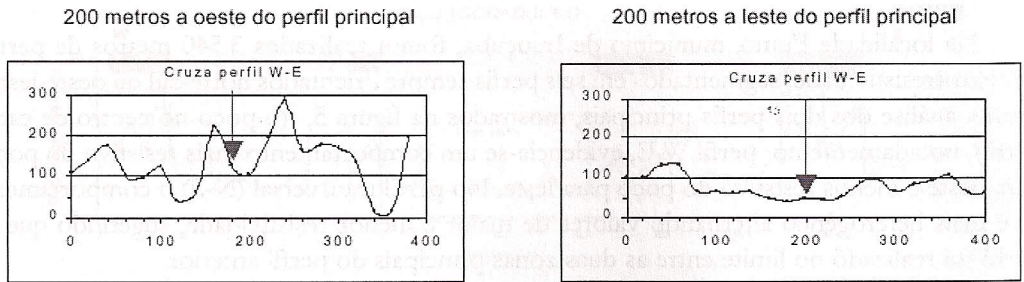


Figura 7 - Perfis secundários N-S

Costa 1

Na localidade Costa 1, município de Irauçuba, foram realizados 2.060 metros de caminhamento elétrico distribuídos em três perfis (figura 8), embora nenhum dos três contenha o poço perfurado. O perfil principal na direção W-E (na realidade 100°Az) tem 1.220 metros, está deslocado do poço 58 metros para norte, uma vez que uma tubulação antiga de ferro passando pelo poço impediu a realização no perfil na posição planejada. Esse perfil esboçou a alternância de várias zonas mais e menos resistivas, sendo melhor definidas as duas zonas da porção oeste. O perfil secundário W-E (440 metros) foi realizado a 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.

5. DISCUSSÃO

A eletrorresistividade mostrou-se bastante eficiente na identificação das zonas ou faixas alternadas de maior resistividade (rocha compacta) e menor resistividade (rocha fraturada/cobertura). A interpretação dos perfis evidenciou a existência e o comportamento dessas zonas, sendo que naqueles perfis corridos na direção oeste-leste esse comportamento apresenta-se bem mais definido, sugerindo que essas zonas estão orientadas predominantemente na direção norte-sul. O melhor exemplo é o da localidade Carnaubinha (figura 4), 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. Convém ressaltar que Feitosa (1994) já havia sugerido a existência desse alinhamento N-S de zonas eletricamente condutivas, 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. Considerou ainda, este autor, que devido à freqüência dos fraturamentos W-E foto-interpretados, é possível que as aparentes faixas resistivas, constituam na realidade retângulos à semelhança de um tabuleiro de xadrez, limitados por faixas N-S e W-E fendilhadas.

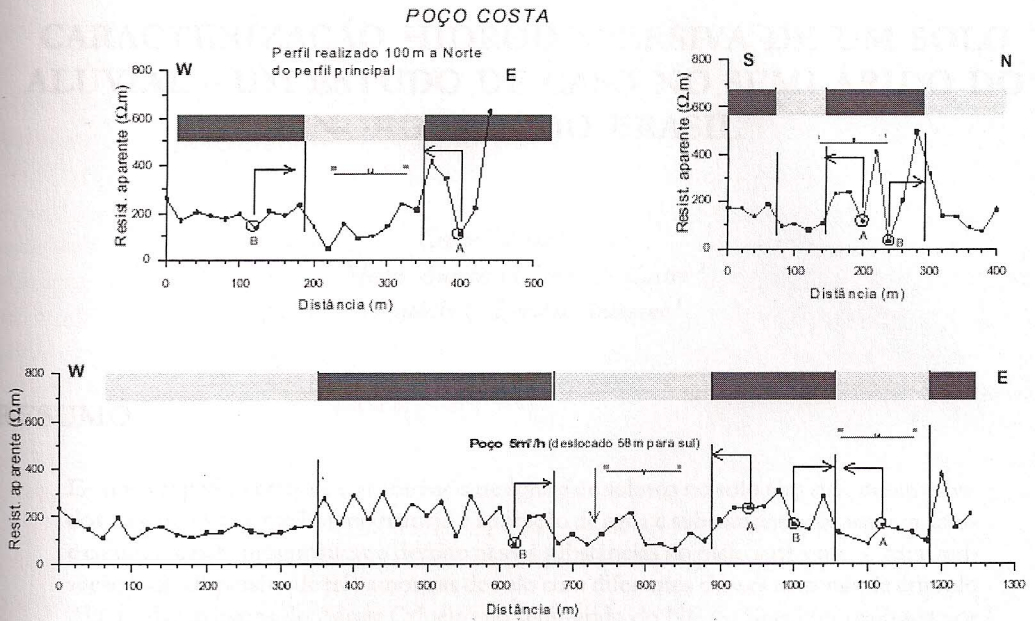


Figura 8 – Perfis elétricos da localidade Costa 1

No caso da área em estudo, embora a distribuição espacial dos poços tenha sido determinada em função da produtividade (vazão), verificou-se posteriormente que a direção da foliação nos locais determinados tende a uma direção este-oeste, o que poderia ressaltar fraturamentos N-S.

Como era de se esperar, os poços produtivos selecionados estão sempre associados às zonas de menor resistividade, justificando o uso dessa metodologia. Nada se pode dizer até agora, entretanto, quanto aos poços secos ou mal produtores, pois os mesmos não foram incluídos na primeira fase do estudo, devendo ser priorizados em fases posteriores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

- FEITOSA, E. C. 1994. Alagoinha – *Caracterização de zonas fendilhadas no cristalino através do método geofísico de eletroresistividade*. LABHID – UFPE. 63p. 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.
- MANOEL FILHO, J. 1996. *Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural*. Instituto de Geociências – USP. 196p. (Tese de Douramento). São Paulo
- SOUZA FILHO, O. A. de, 1998. *Geologia e Mapa de Previsão de Ocorrência de Água Subterrânea - Folha S.A.24-Y-D-V – Irauçuba, Ceará*. Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP. 99p. il. (Dissertação de Mestrado). Ouro Preto