

## SÍSMICA DE REFRAÇÃO E ELETRORESISTIVIDADE APLICADAS À INVESTIGAÇÃO INDIRETA DE DEPÓSITOS ESTRATIFORMES NA CHAPADA DIAMANTINA

OLIVAR A.L. DE LIMA

*Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica  
Instituto de Geociências da UFBA  
Rua Caetano Moura, 123 – Federação  
40.000 – Salvador, Ba, Brasil*

RAYMUNDO W.S. SILVA e WALTER M. CONCEIÇÃO FILHO

*Companhia Baiana de Pesquisas Minerais  
Centro Administrativo (CAB)  
Salvador, Ba, Brasil*

Vertical electrical sounding and seismic refraction profiling were employed in the study of a 12 km<sup>2</sup> target area for sulfides mineralization on the northern border of the Chapada Diamantina. The work aimed at delineating in subsurface two clastic levels containing disseminated copper and lead mineralization. These levels are separated by a dolomitic horizon and, in general, are covered by metaargillites and meta-siltites, the whole sequence overlying a silicified quartzitic substratum. Eleven seismic profiles and electrical soundings were carried out along the same base lines and their results were compared with data from drill hole lithologic logs. The two clastic levels are normally characterized by low seismic velocities and electrical resistivities. Typical ranges of these properties are: 1800-3300 m/s and 60-130 Ωm for the clastics, 5000-5500 m/s for the dolomite and 5000-6500 m/s for the quartzites, with the last two lithologies exhibiting, resistivity above 300 Ωm. This strong contrast in petrophysical properties, permitted the subsurface mapping of the mineralized levels through the investigated area. New drilling locations have been selected on the basis of these results.

### INTRODUÇÃO

A Companhia Baiana de Pesquisas Minerais (CBPM), dentro de seu programa de investigações dos domínios sedimentares do Estado da Bahia realizou uma análise estratigráfica detalhada de uma área alvo de 12 km<sup>2</sup> de extensão, numa porção da Chapada Diamantina onde ocorrem mineralizações sulfetadas. Ao longo dessa atividade, foram realizadas associações com o Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica da UFBA (PPPG/UFBA) para a execução de levantamentos geofísicos como suporte a esse programa de exploração.

Assim, neste trabalho foram empregados os métodos geofísicos de eletroresistividade e de sísmica de refração, em combinação com dados de perfurações, para delinear a distribuição espacial em sub-superfície,

de dois níveis areno-argilosos metamorfisados em baixo grau, os quais contêm mineralizações de cobre (nível superior) e de chumbo (nível inferior). Esses níveis estão separados entre si por uma unidade carbonática algal, e recobertos na sua maior parte, por metargilitos e metassiltitos. Todo este pacote recobre um substrato quartzítico silicificado representado pela Formação Tombador (Conceição Filho et al. 1984).

Foram realizados 11 perfis de sísmica de refração, em geral, com extensão linear de cerca de 460 m, ao longo de linhas previamente selecionadas, com o intuito de minimizar os efeitos relacionados com a topografia acidentada da área. Ao longo de cada uma dessas linhas foram realizadas também sondagens elétricas verticais usando a configuração Schlumberger, com o máximo afastamento entre os eletrodos de corrente da ordem de 1.000 m. Duas dessas linhas foram

localizadas próximo a perfurações exploratórias, cujos perfis litológicos foram usados como suporte à interpretação geofísica.

Os métodos geofísicos elétrico e de sísmica da refração têm sido tradicionalmente empregados em estudos relacionados com a exploração de água subterrânea ou em estudos geotécnicos sobre as propriedades físicas das fundações de grandes obras de engenharia (Keller, 1967; Hobson, 1967; Formanek, 1979; Lima & Dias, 1983). O método sísmico tem um uso bem mais restrito na mineração e na prospecção de depósitos minerais (Elliot, 1967; Greig, 1969). No presente estudo, foi realizado com sucesso o emprego combinado desses dois métodos num programa de prospecção mineral indireta de mineralizações metálicas disseminadas. Os resultados desses estudos permitiram delinear a distribuição em profundidade dos níveis clásticos e do nível carbonático através da área, assim como inferir sobre algumas propriedades petrofísicas desses níveis e das litologias que lhes são adjacentes.

## SITUAÇÃO GEOLÓGICA

A área estudada corresponde ao domínio da sequência metassedimentar Mesoproterozóica da Chapada Diamantina. As unidades estratigráficas identifica-

das e mapeadas pela CBPM vem mostradas no mapa da Fig. 1. A descrição litológica que se segue é baseada no trabalho de Conceição Filho et al. (1984), e vem apresentada no sentido da base para o topo da sequência (Fig. 2):

**Unidade A1 (Formação Tombador)** – Compõe-se de quartzitos muito silicificados de granulação média e coloração escura, com abundantes estratificações cruzadas e outras estruturas primárias que permitiram interpretá-los como depósitos marinhos litorâneos.

**Unidade D1 (Formação Caboclo)** – Corresponde a uma unidade carbonática que contém duas fácies clásticas-carbonáticas. A fácies basal se inicia bastante arenosa e passa a pelítica e carbonática em direção ao contato com a fácies dolomítica algal da seção intermediária (Fig. 2). Esse nível contém mineralização disseminada de galena na parte sul da área estudada (Fig. 1). A fácies do topo é finamente laminada, menos arenosa que a da base e é composta de metassiltitos e metargilitos amarelados e avermelhados, apresentando características de ritmitos. Nessa fácies tem-se ocorrência de mineralizações disseminadas de cobre no trecho localiza-

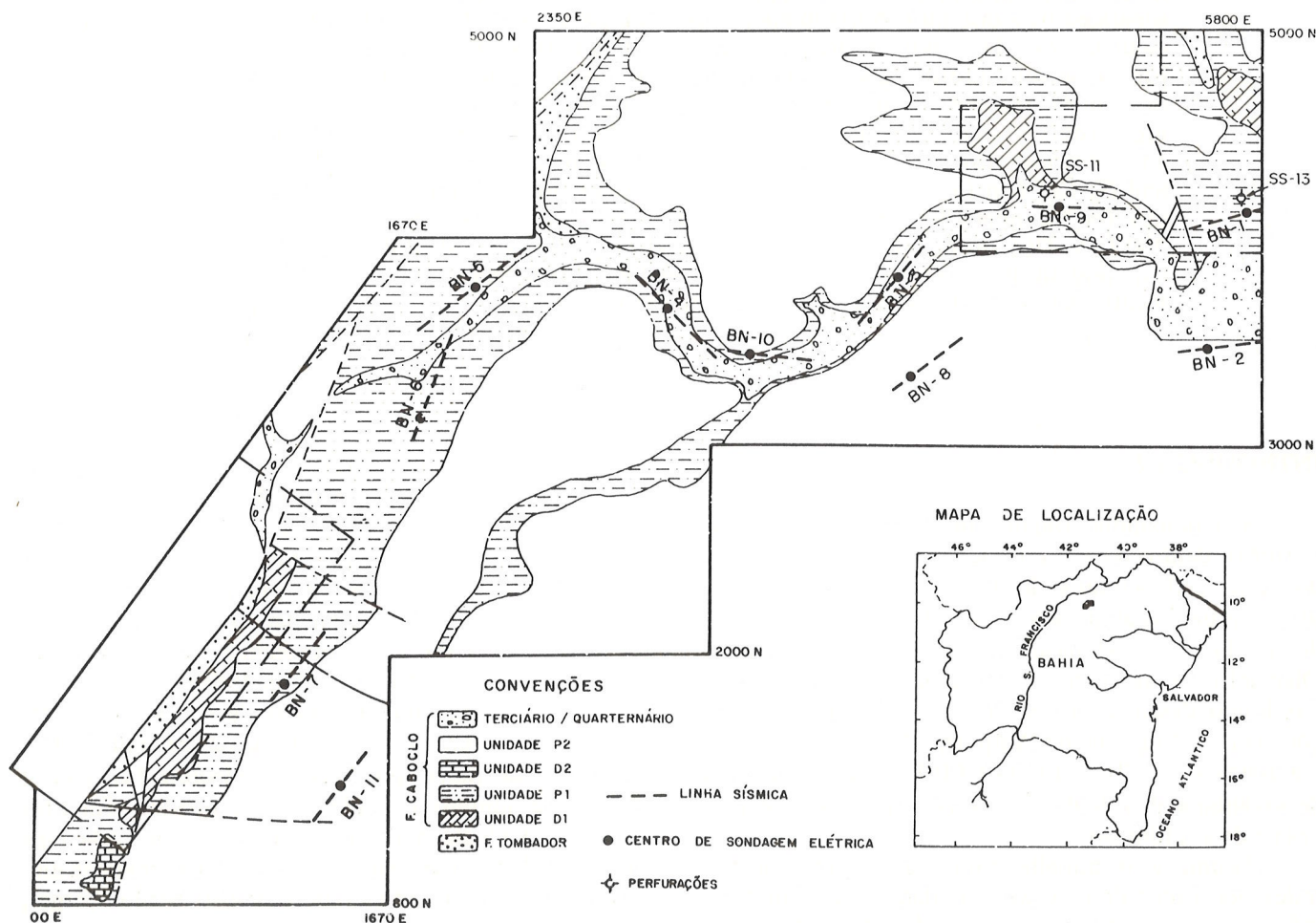
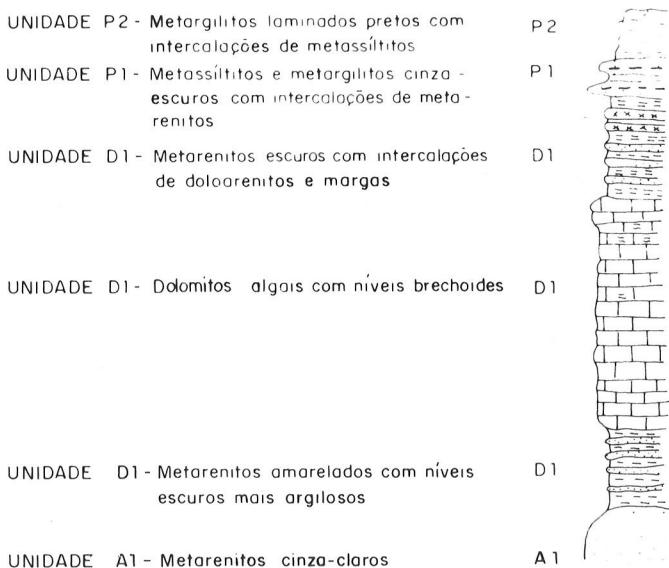


Figura 1 – Mapa geológico da região estudada contendo a localização das linhas de sísmica de refração e dos centros das sondagens elétricas. Coordenadas geográficas em metros.

do na parte norte (Fig. 1). A unidade foi interpretada como de origem lagunar transgressiva com um pulso regressivo representado por sua fácies de topo.



**Figura 2** – Unidades estratigráficas da Chapada Diamantina que ocorrem na área estudada, de acordo com Conceição Filho et al. (1984).

**Unidade P1 (Formação Caboclo)** – Compõe-se de metassiltitos e metargilitos cinza a creme, duros e compactos contendo níveis metarenosos finamente laminados, interpretados como depósitos litorâneos de sub-maré.

**Unidade P2 (Formação Caboclo)** – Constituída por metargilitos laminados, metassiltitos e metarenitos com predominância dos primeiros, todos de coloração cinza-escuro e bem compactados. Esta sequência foi interpretada como uma unidade plataformal turbidítica.

**Unidade D2 (Formação Caboclo)** – Compõe-se de calcários impuros de cor avermelhada, alternando-se com metassiltitos e metargilitos. Ocorre associada ao topo de P1 e foi interpretada como um depósito plataformal.

**Aluviões Quaternários** – Associadas aos cursos de água superficial ocorrem areias aluviais quaternárias, conforme indicado no mapa da Fig. 1.

As unidades acima descritas dispõem-se sub-horizionalmente por toda a área investigada, com mergulhos suaves para sudeste e valores entre 3° e 10°. Localmente, observa-se basculamentos para outras direções nas proximidades de falhamentos. As falhas são gravitacionais e suas direções principais alinham-se segundo NE-SW e NW-SE.

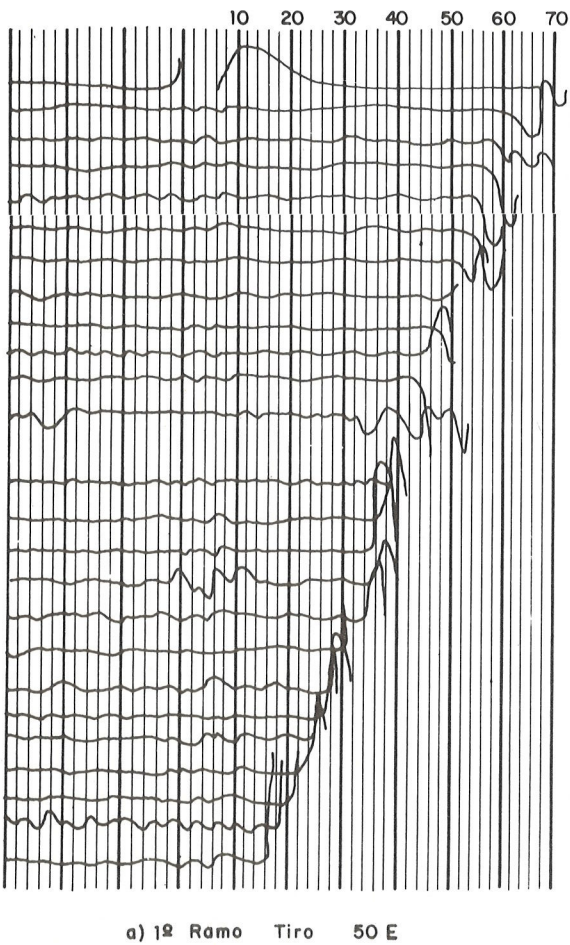
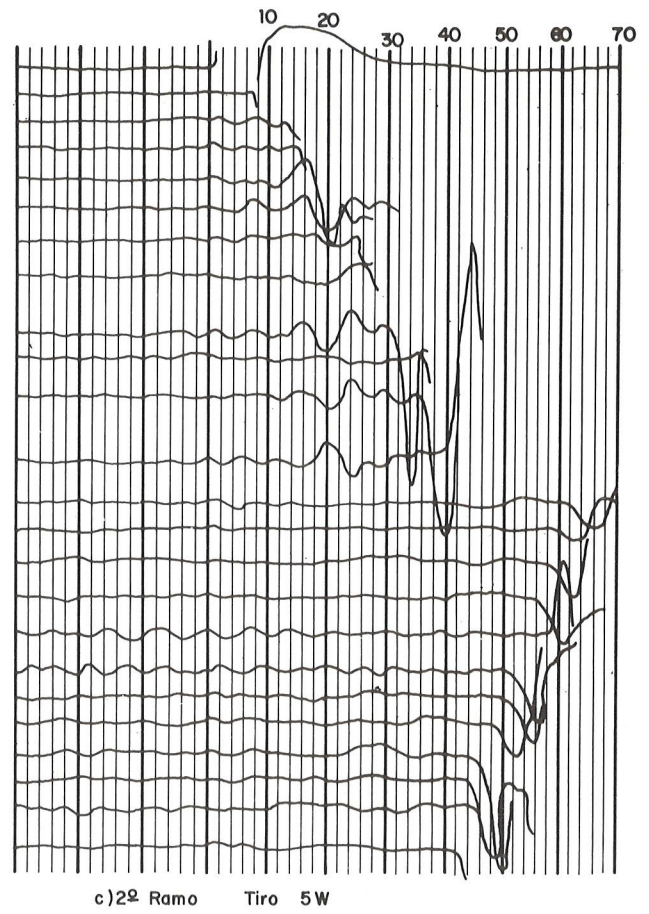
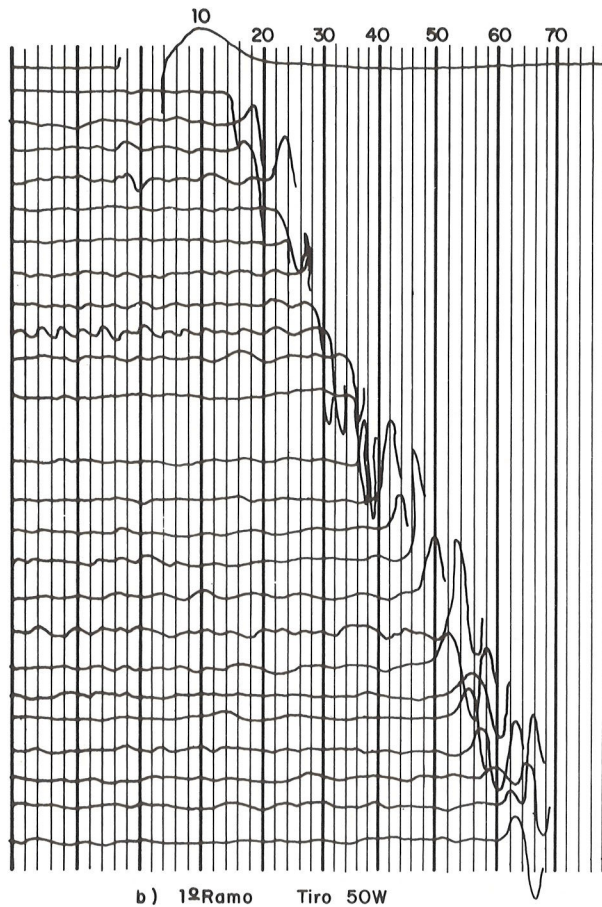
## RESULTADOS DA PERFILAGEM SÍSMICA

Foram executados na área 11 perfis sísmicos de refração conforme indicado na Fig. 1. O objetivo principal desse levantamento foi o de verificar a continuidade lateral, o padrão geométrico e o grau de uniformidade litológica das fácies clásticas e do dolomito intermediário através da área, as quais possuem ocorrências conhecidas nas duas zonas assinaladas no mapa da Fig. 1. A fácies da base possui afloramento na zona sul, e tem sido atravessada por várias perfurações rasas e trincheiras realizadas pela CBPM. A fácies do topo possui pequenos afloramentos na área norte e foi atravessada pelo furo SS-11 realizado pela CPRM (Conceição Filho et al., 1984).

Os registros sísmicos foram obtidos usando arranjos lineares de 24 geofones, espaçados na maioria dos perfis de 11 m entre si, sendo que os três primeiros de cada extremidade do arranjo foram espaçados de 5 m, com o objetivo de melhor identificar a camada intemperizada. Cada expansão foi limitada simetricamente por pontos de tiros a 2 m de cada extremidade, além de um tiro central e de tiros externos adicionais a 50,100 e/ou 232 m de ambos os lados da expansão, com o objetivo de aumentar a profundidade de investigação. Perfis contínuos foram obtidos ligando-se expansões adjacentes, através do uso de um geofone comum. Todos os perfis foram nivelados com precisão de modo a se ter um controle topográfico de cada linha levantada. No levantamento sísmico foi utilizado o equipamento ABEM TRIO mod. 5352 do PPPG/UFBA.

Os pontos de tiros foram escavados a trado ou com auxílio de uma alavanca e, geralmente, não ultrapassaram 0,70 m na maioria das vezes terminando em rocha parcialmente alterada. Como fonte de energia foi usada a dinamite britasismic em cargas moldadas com 300 g de pentolite 60/40. Em geral, para aumentar a potência dos tiros limitantes externos, foram usadas duas ou mais cargas ligadas em série, por cada ponto de tiro. A Fig. 3 ilustra o padrão típico dos registros sísmicos obtidos na área. Embora estejam presentes efeitos de ruídos de vários tipos, as primeiras chegadas das ondas elásticas produzidas na explosão são bem distintas, não havendo qualquer dificuldade em identificá-las. De modo geral, a qualidade das quebras indicadoras das primeiras chegadas permitiram determinar os tempos de percursos com precisão de até um milissegundo.

Os tempos dos registros sismográficos foram corrigidos para eliminar os efeitos da topografia e das profundidades dos tiros, transferindo a posição dos geofones para uma superfície plana passando através de pontos de tiro limitantes das expansões. Esta correção corresponde a diminuir  $(d + h)/V_0$  do tempo registrado, onde  $d$  é a profundidade do ponto de tiro,  $h$  a elevação do geofone em relação à superfície de referência escolhida e  $V_0$  a velocidade sísmica no material



**Figura 3** – Exemplos de sismogramas obtidos na área estudada ao longo da linha sísmica BN-1.

superficial (Heiland, 1940). Não foi necessária a correção de intemperismo, porque a camada superficial foi tratada como uma camada distinta.

Na interpretação dos perfis sísmicos foi utilizado o método clássico do tempo de interseção (Knox, 1967) em conjunção com o método do tempo médio (Macphail, 1967), aplicável para camadas inclinadas com mergulhos baixos, menores do que 10°.

As Figs. 4 a 8 representam alguns dos perfis sísmicos obtidos na área e servem para ilustrar as características gerais dos meios geológicos envolvidos e os padrões de distribuição das primeiras chegadas nas estações de geofones dessas linhas. Nelas são mostrados os gráficos tempo-distância, as altitudes da superfície topográfica e as profundidades das interfaces refratoras interpretadas desses dados.

A Fig. 4 contém os dados e os resultados da interpretação da linha BN-9 levantada nas proximidades do furo SS-11 do qual dispõe-se de perfil litológico, mostrado na base da Fig. 9. Tem-se, a camada de solo arenoso com diferentes graus de umidade, o que faz sua velocidade variar lateralmente de 400 a 800 m/s. Sua espessura situa-se entre 2 e 4 m ao longo do perfil. Na metade NE da seção, acima de um forte refrator de 5000-5200 m/s de velocidade, ocorrem duas camadas cujas velocidades são de 1580 m/s e 2300 m/s e espessuras médias de 17 m e 20 m, respectivamente. A camada de 1580 m/s de velocidade não tem ocorrência no ramo SW do perfil e a outra se espessa e diminui lateralmente de velocidade até 1840 m/s. Esta diminuição de velocidade certamente vem relacionada com um

aumento da porosidade dessa formação, no sentido do mergulho dos estratos. Usando os dados litológicos da perfuração SS-11 situada a 100 m a norte do perfil, foi realizada a seguinte correlação: i) a camada de 1580 m/s de velocidade foi atribuída ao preenchimento aluvionar quaternário; ii) o intervalo de 2300 a 1840 m/s foi associado com a fácies clástica do topo da unidade D1; iii) e o refrator de 5200 m/s de velocidade foi relacionado à fácies dolomítica do D1. Embora a perfuração SS-11 indique a presença em profundidade da fácies clástica basal de D1 sua espessura é muito pequena nesse local (~ 4m), daí não haver qualquer manifestação sísmica a ela associada. Os dados sísmicos dessa linha também não mostram uma distinção nítida, em termos de velocidade, entre os dolomititos e os quartzitos da Formação Tombador. A profundidade do forte refrator nesse perfil varia de 38 no extremo NE a 42 m no extremo SW.

As linhas sísmicas BN-3, BN-10, BN-4, BN-5 e BN-6 foram levantadas com o intuito de seguir o desenvolvimento das diversas fácies de D1 no setor da área estudada, no qual não existem indicações geológicas de suas ocorrências em sub-superfície. As Figs. 5, 6 e 7 foram escolhidas para exemplificar os resultados sísmicos obtidos nesse setor.

A Fig. 5, reflete uma situação geológica similar a da Fig. 4 onde, sob a camada de solo ocorrem, na metade NE do perfil, os aluviões quaternários representados pela velocidade de 1400-1500 m/s. O segundo refrator com 2000 m/s de velocidade nesse trecho da seção, apresenta um crescimento lateral para 3300 m/s a

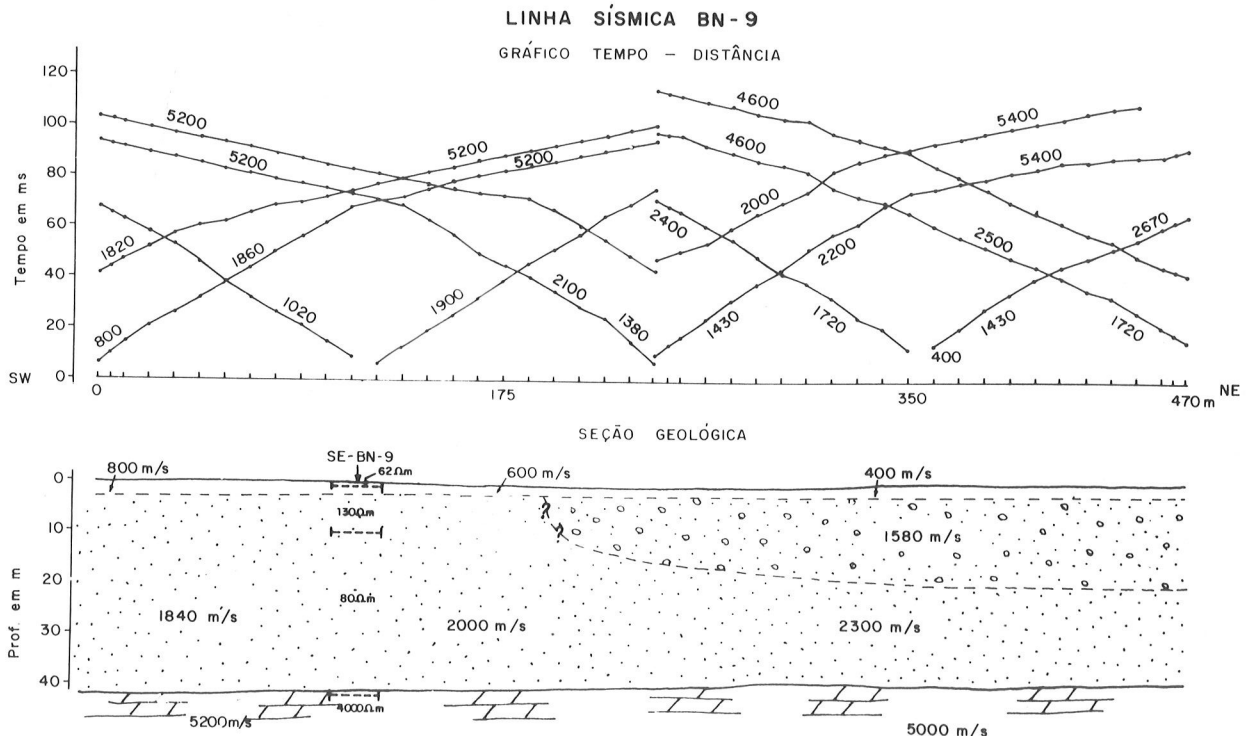


Figura 4 - Perfil de sísmica de refração BN-9 com a estrutura geológica interpretada.

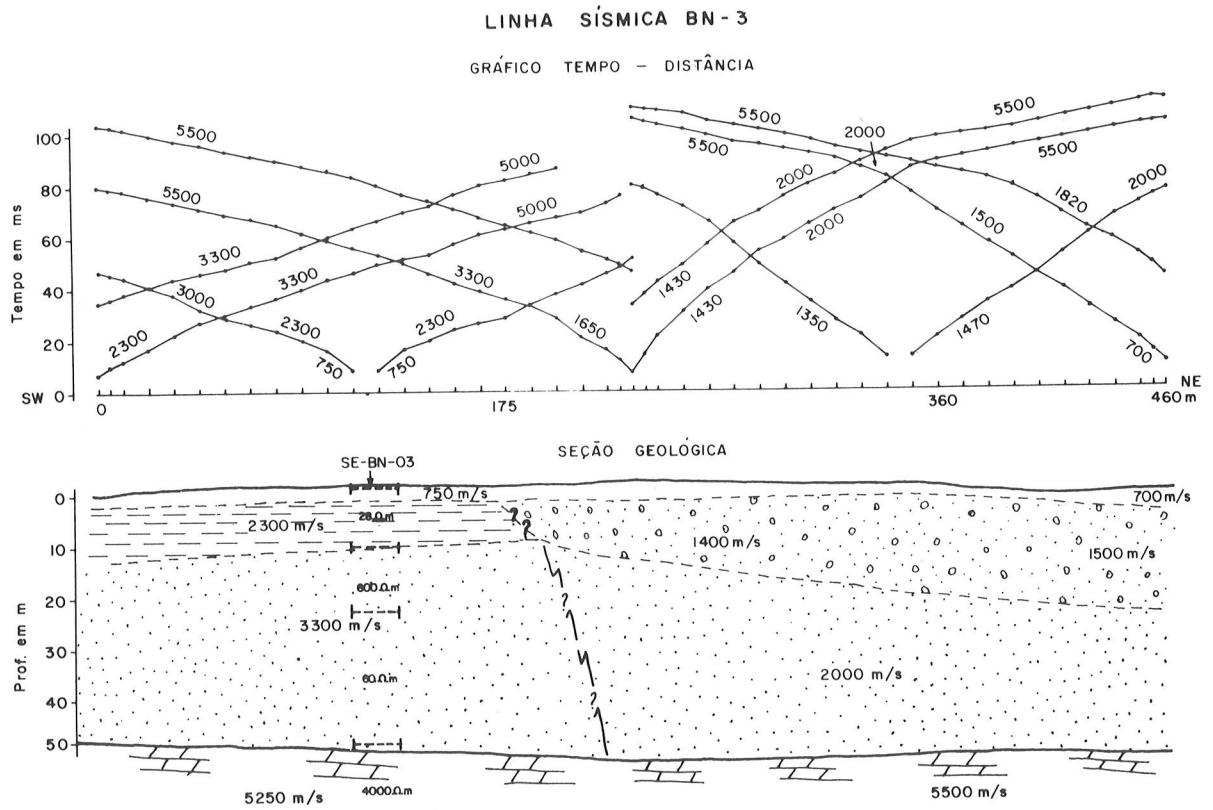


Figura 5 – Perfil de sísmica de refração BN-3 com a estrutura geológica interpretada.

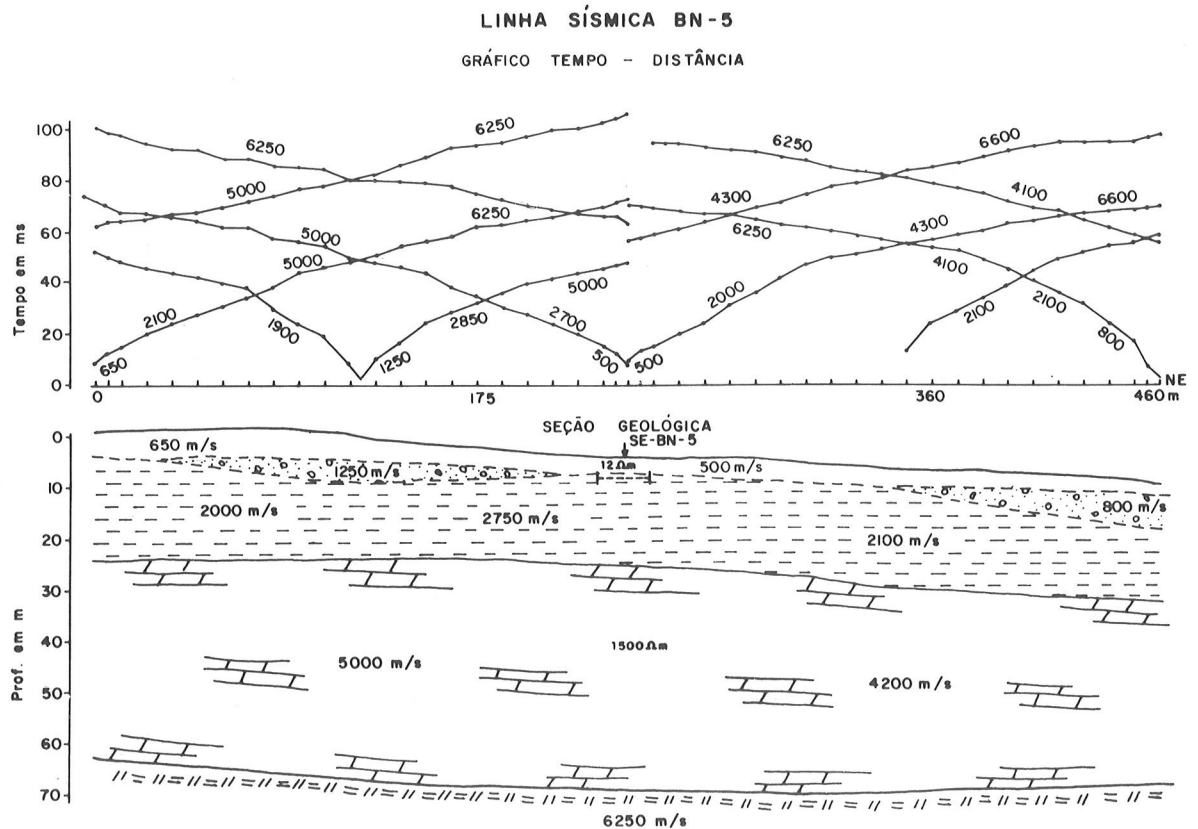


Figura 6 – Perfil de sísmica de refração BN-5 com a estrutura geológica interpretada.

medida que se caminha para SW. Esse refrator, por correlação com BN-9, vem associado aos clásticos do topo de D1 e, o crescimento de sua velocidade é atribuído a um menor grau de alteração no estado original da rocha na metade SW da linha. O refrator de 2300 m/s de velocidade no trecho SW do perfil é associado a unidade P1 alterada, aflorante nas proximidades da linha. O forte refrator com 5250-5500 m/s é relacionado a camada dolomítica de D1. Do mesmo modo que em BN-9, não existe expressão sísmica dos clásticos basais de D1 nem há distinção entre as velocidades do dolomito e dos quartzitos.

Na Fig. 6 tem-se a seguinte interpretação sísmica. A primeira camada de 500-650 m/s corresponde ao solo constituído, em geral, de alteração de P1, que muda localmente, lateral ou verticalmente para os aluviões quaternários com velocidades de 800-1250 m/s. Abaixo, ocorre um nível contínuo com 2000 m/s de velocidade que, por associação com BN-3 e pelos afloramentos na linha, é relacionado a sequência clástica P1 parcialmente alterada. Esta repousa sobre um forte refrator de velocidade entre 4200-5000 m/s que se estende entre as profundidades de 22 a 24 m e é associado a fácies dolomítica de D1. Por último, tem-se ainda um forte refrator de 6250 m/s de velocidade que corresponde aos quartzitos da Formação Tombador. Nesta linha não há indícios sísmicos de ambas as fácies clásticas de D1 e esses resultados são também consistentes com o da sondagem elétrica realizada na mesma linha.

A Fig. 7 resume os dados e a interpretação da linha BN-10. A cobertura de solo com velocidade de 600-700 m/s é contínua e possui espessura entre 3 e 4 m. Segue-se um nível de velocidade entre 2000-2200 m/s relacionado a sequência P1, ainda com alteração. A terceira camada sísmica possui velocidade constante de 3300 m/s atribuída, por correlação, à fácies clástica do topo de D1. O substrato de velocidade 5000 m/s é relacionado ao dolomito da unidade D1. Os dados sísmicos para os intervalos de tempo correspondentes a esse refrator, especialmente no ramo SW do perfil, indicam anomalias caracterizadas por reversões nos valores aparentes das velocidades sísmicas que podem ser atribuídas a um decréscimo lateral da velocidade do refrator no trecho correspondente a anomalia, ou a presença de uma camada subjacente de menor velocidade sísmica situada acima de um refrator ainda de maior velocidade. Como foi observado apenas um pequeno intervalo na variação da velocidade no dolomito escolheu-se a segunda alternativa. Não existe maneira de se determinar os limites de zonas de baixas velocidades com o método de sísmica de refração, a não ser em casos muito excepcionais (Domzalski, 1956; Schmöller, 1982). No presente caso, fez-se uma combinação gráfica das velocidades entre o nível de 5000 m/s e aquele de menor velocidade mas de valor desconhe-

cido, que permitiu estimar uma profundidade mínima para o refrator da base desta camada, interpretado como os quartzitos da Formação Tombador.

As linhas sísmicas BN-4 e BN-6 apresentam resultados geológicos similares aos de BN-10, exceto pela ausência de reversões nos gráficos tempo-distância. Por outro lado, as linhas BN-7 e BN-11 forneceram perfis sísmicos cujas interpretações indicaram que a fácies clástica do topo de D1 parece ser inexistente, e também, que não há indícios sísmicos da presença da fácies de base, provavelmente em função de sua pequena espessura comparada com a da cobertura da sequência P1.

A Fig. 8 mostra a situação geológica característica da parte externa do extremo NE da área investigada pelos perfis BN-1, BN-2 e BN-8. A primeira camada de velocidade variável entre 550 m/s e 600 m/s em BN-2, e que chega a atingir nesta área até 1000 m/s, corresponde a camada de alteração superficial, com diferentes graus de aeração. Sua espessura varia desde praticamente zero em parte de BN-1 até 4 m nas regiões de BN-2 e BN-8. O intervalo local do extremo SW do perfil onde a velocidade é de 1700 m/s é relacionado aos aluviões quaternários. A interface refratora abaixo do solo que possui velocidade relativamente constante de 3100 m/s e espessura variando entre 5 e 12 m ao longo do perfil é relacionada aos metassedimentos do topo da unidade de D1. Em BN-8 essa mesma camada possui ainda 3300 m/s. Abaixo dessa camada desenvolve-se um forte refrator com 38 m de espessura em BN-2, 70 m em BN-1 e mais de 80 m em BN-8. Esse refrator possui velocidade sísmica no intervalo de 5000 a 5500 m/s nos três perfis estudados e corresponde a fácies dolomítica da unidade D1, de acordo com o perfil litológico do furo SS-13, localizado próximo a BN-1 (Fig. 1). A interface basal abaixo da qual a velocidade é de 6500 m/s é reconhecida como o topo do substrato quartzítico, cuja profundidade é de 50 m em BN-2, 85 m em BN-1 e mais de 90 m em BN-8.

Ainda com respeito aos dados sísmicos vale aqui registrar a existência de dificuldades de distinção entre a fácies clástica do topo da unidade D1 e a sequência litológica de P1, apenas com base nos dados de velocidades sísmicas. Dificuldades semelhantes se encontram na distinção entre o dolomito de D1 e os quartzitos da Formação Tombador. Na seção seguinte, será mostrado que os dados de resistividade fornecidos pelas sondagens elétricas podem, em muitos casos, ser usados como fator de distinção entre os mesmos.

## RESULTADOS DAS SONDAJENS ELÉTRICAS

A maioria das sondagens elétricas foi realizada com o sistema ER-300 de fabricação nacional que opera com corrente contínua, de propriedade da CBPM. Algumas sondagens foram levantadas com o sistema do PPPG/UFBa, que opera com corrente alternada na

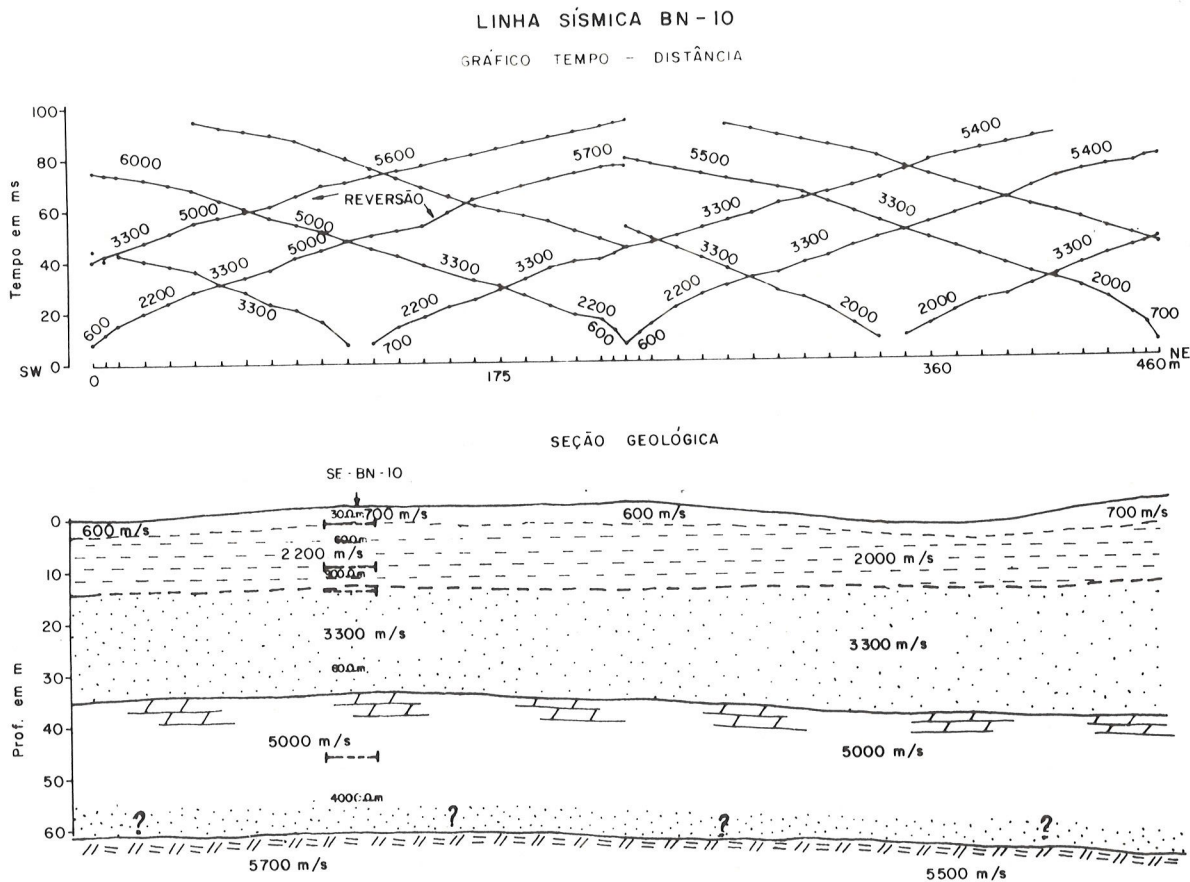


Figura 7 - Perfil de sísmica de refração BN-10 com a estrutura geológica interpretada.

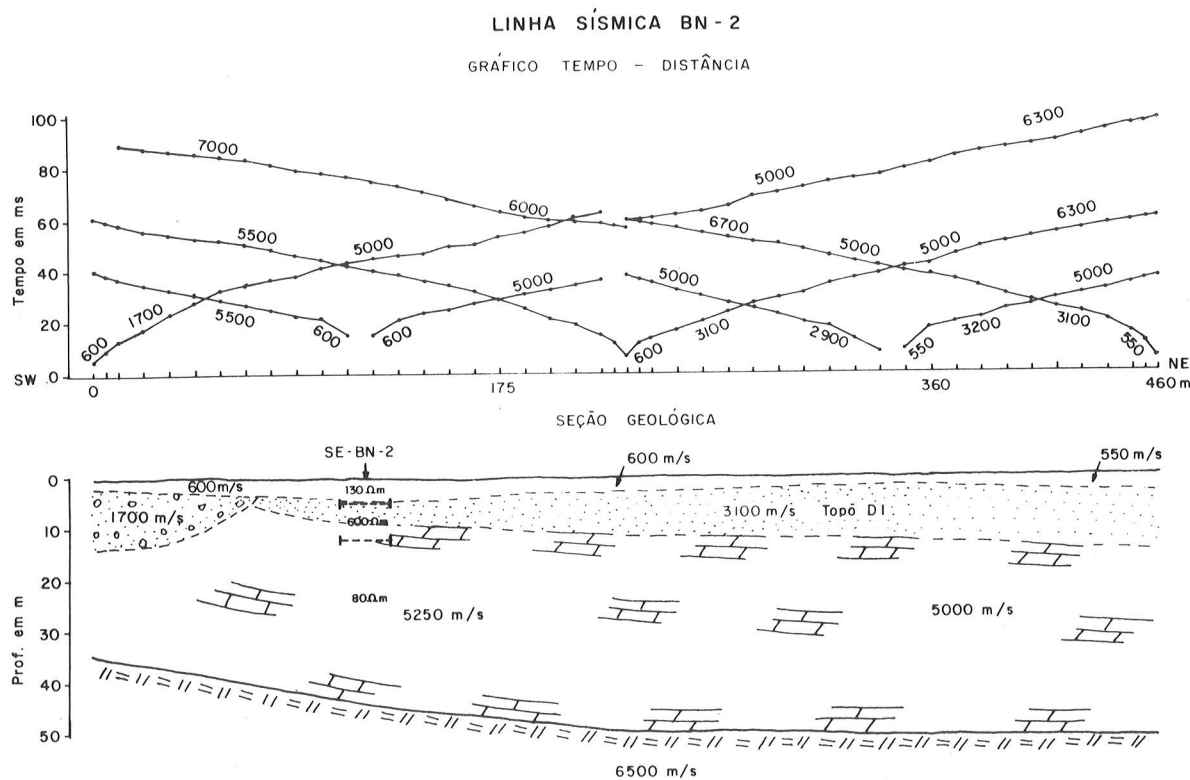


Figura 8 - Perfil de sísmica de refração BN-2 com a estrutura geológica interpretada.



frequência de 4 Hz e tem potência máxima de saída de 1,0 kW.

Todas as sondagens elétricas realizadas na área foram obtidas com a configuração de Schlumberger, com um máximo comprimento de linha de emissão de corrente elétrica que variou entre 600 e 1000 m. A fim de reduzir a resistência de contato entre os eletrodos e o terreno, durante a realização de uma medida, empregou-se lama a base de água salgada em torno dos eletrodos de corrente. Nas maiores separações, os eletrodos cilíndricos de aço foram substituídos por placas de alumínio com aproximadamente 800 cm<sup>2</sup> de área soterradas sob lama.

Na interpretação das curvas de sondagens foi usado um procedimento de ajuste com curvas teóricas derivadas no computador VAX 11/780 do PPPG/UF-Ba. O modelo inicial foi obtido através de uma interpretação preliminar das curvas usando curvas teóricas de duas camadas e o método de ponto auxiliar (Zohdy, 1965). O programa usado no cálculo de curvas teóricas emprega o método da filtragem linear introduzido por Ghosh (1971) para avaliar integrais de convolução, na forma do algoritmo proposto por Anderson (1979). A unicidade das soluções foi implementada pela comparação das sondagens paramétricas com os perfis dos furos SS-11 e SS-13 (Fig. 1), bem como pela correlação associativa entre as sondagens e os resultados de sísmica de refração.

As Figs. 9 e 10 ilustram os dados experimentais das sondagens elétricas obtidas na área, os modelos geo-elétricos finais e as curvas teóricas derivadas para os respectivos modelos.

Na Fig. 9 tem-se as sondagens elétricas realizadas na parte mais externa da zona de detalhe localizada no extremo NE da área estudada, respectivamente as sondagens BN-1, BN-2 e BN-8. As sondagens BN-1 e BN-8 situaram-se em níveis topográficos elevados, cerca de 40 e 60 m acima do vale no qual se situou BN-2. As curvas de BN-8 e BN-1 foram interpretadas com modelos de 4 e 5 camadas horizontais respectivamente, conforme indicado na base da Fig. 8. Usando os dados litológicos do furo SS-13, a observação de afloramentos e a correlação associativa entre as sondagens é possível relacionar o nível resistivo de 5600 Ωm em BN-1 aos metassedimentos da unidade P1. A camada subjacente com resistividade de 1700 Ωm em BN-1 e 2350 Ωm em BN-8 corresponde a fácies do topo da sequência D1 descrita no furo SS-13 como constituída de metarenitos finos com matriz carbonática e níveis subordinados de metargilitos. A camada de resistividade entre 2800 e 4600 Ωm e que se estende até 96 m em BN-1 e 146 m em BN-8 corresponde ao espesso dolomito da fácies intermediária de D1. Abaixo dessa camada tem-se o desenvolvimento da unidade A1 (Formação Tombador) com um comportamento ligeiramente mais condutor (1200-2300 Ωm), provavelmente em função de uma maior saturação de água. Vale registrar que em BN-1 a camada correspondente ao nível geoeletrico de 1700 Ωm não foi distinguível, em termos de propriedades elásticas, do espesso nível dolomítico que lhe subjaz, na correspondente linha sísmica.

A sondagem elétrica BN-2 foi ajustada a um modelo de 5 camadas horizontais. Os dois primeiros níveis mais superficiais vem associados ao solo com diferentes teores de umidade. A camada subjacente de 600 Ωm de resistividade, por correlação com os dados sísmicos da mesma linha, foi associada ao topo da unidade D1. Sob ela ocorre uma sequência condutora de 80 Ωm de resistividade e 46 m de espessura. Finalmente tem-se o desenvolvimento de uma camada algo resistiva com cerca de 300 Ωm de resistividade, que foi relacionada ao dolomito de D1 eletricamente combinado com os quartzitos da Formação Tombador. A resistividade mais baixa da quarta camada nessa sondagem, não possui correspondência no perfil sísmico da mesma linha (Fig. 8) tendo sido sua existência atribuída a um anomalia causada por variações laterais de resistividade e de anisotropia elétrica. Efetivamente, uma sondagem elétrica de mesmo centro mas de orientação perpendicular a BN-2, cuja curva vem também mostrada na Figura 8 indica a presença desses efeitos, por uma divergência entre as duas curvas nas maiores separações de eletrodos.

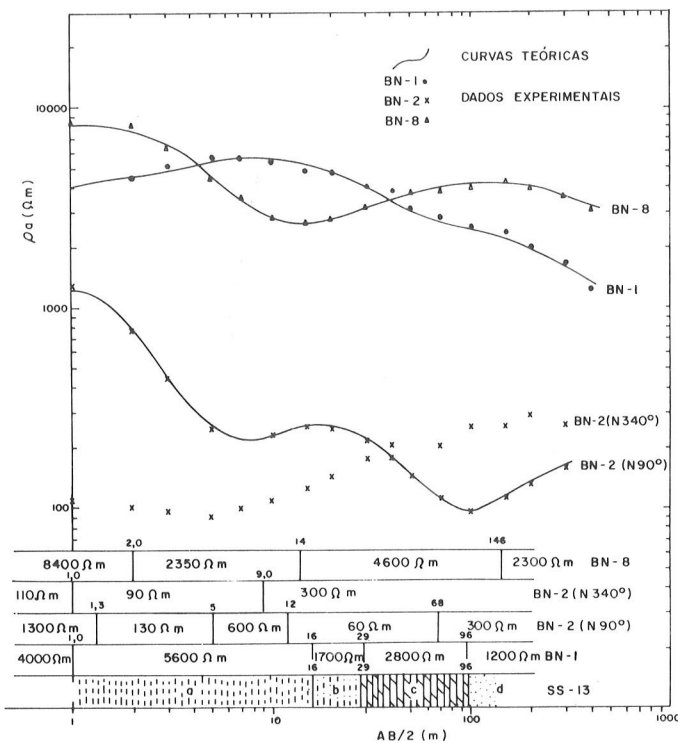
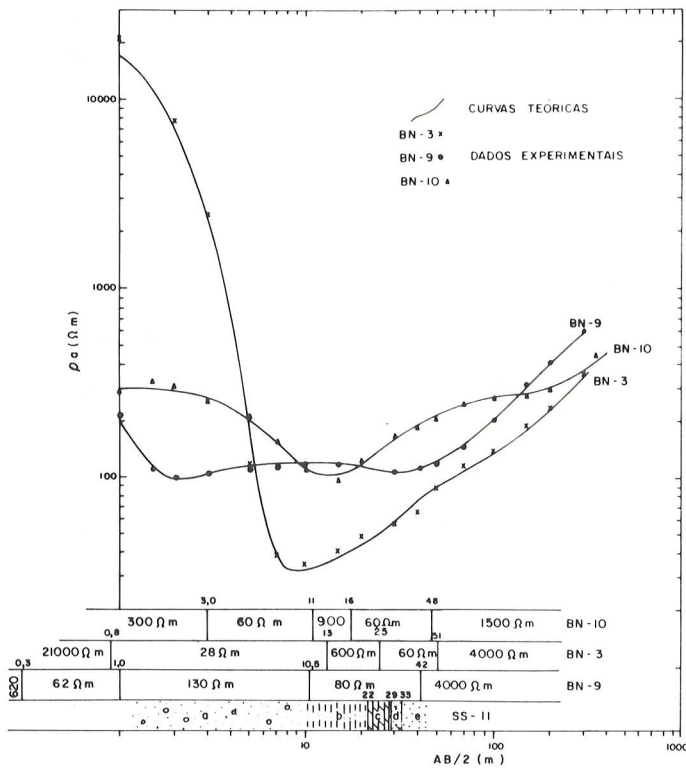


Figura 9 – Curvas das sondagens elétrica BN-1, BN-2 e BN-8 e seção litológica do juro 55-13. a) metargilitos; b) metarenitos; c) dolomitos; d) quartzitos.

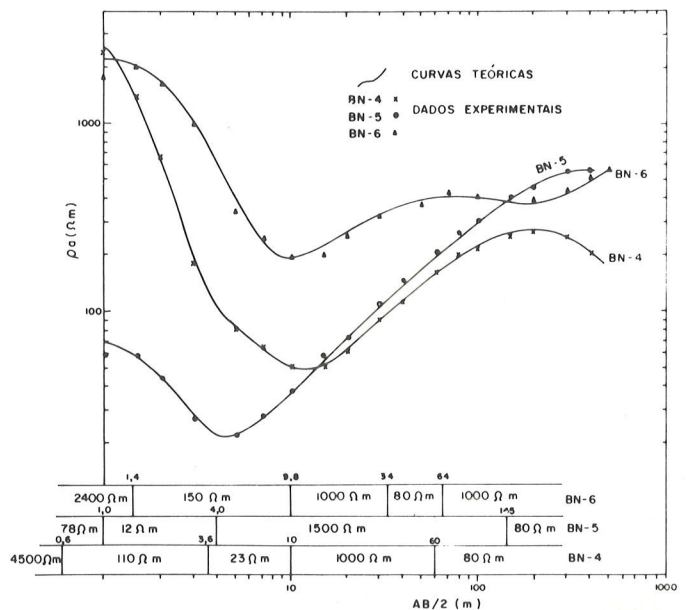


**Figura 10** – Curvas das sondagens elétricas BN-9, BN-3 e BN-10 e seção litológica do juro 55-11. a) aluviões; b) metarenitos; c) dolomitos; d) metarenitos; e) quartzito.

Na Fig. 10 vem dadas as curvas e os modelos interpretados das sondagens BN-9, BN-3 e BN-10 (v. Fig. 1). A interpretação quantitativa de BN-9 forneceu o seguinte modelo geoeletrico: duas camadas associadas ao solo superficial com resistividades de 620  $\Omega\text{m}$  e 62  $\Omega\text{m}$  até 1,0 m de profundidade; um nível intermediário de 130  $\Omega\text{m}$  que se estende até 10,5 m de profundidade; um nível condutor (80  $\Omega\text{m}$ ) até 42 m de profundidade; e finalmente, um substrato resistivo e muito espesso conforme atesta a extensão do ramo terminal da curva, com resistividade de 4000  $\Omega\text{m}$ . De acordo com os dados litológicos do furo SS-13, cujo perfil vem também apresentado na base da Fig. 9, pode-se identificar a camada de 130  $\Omega\text{m}$  como material de preenchimento aluvionar, que não é contínuo ao longo da linha, conforme indicado no perfil sísmico da Fig. 4. O intervalo de 80  $\Omega\text{m}$  corresponde ao nível sísmico de velocidade entre 1840 m/s a 2300 m/s e é correlacionado a fácies clástica do topo de D1. O substrato resistivo pode ser atribuído a uma combinação do nível dolomítico de D1 com a Formação Tombador, as quais se manifestam, tanto elétrica como sismicamente como uma única camada, dada a reduzida espessura do intervalo clástico da base de D1. A curva da sondagem BN-3 foi ajustada a um modelo de 5 camadas: uma cobertura superficial fina (0,8 m) mas

muito resistiva capeia o condutor de 28  $\Omega\text{m}$  que se pode associar aos aluviões quaternários. Segue-se um intervalo relativamente resistivo (600  $\Omega\text{m}$ ) com 12 m de espessura que se superpõe a um condutor de 60  $\Omega\text{m}$  e 26 m de espessura. Esses dois intervalos parecem corresponder a camada de 3300 m/s de velocidade, interpretada como os clásticos do topo de D1. A variação de inclinação observada na curva de resistividade aparente desta sondagem, entre os espaçamentos de 40 e 150 m deve-se, provavelmente, a efeitos de variações laterais de resistividade, associadas com a presença dos aluviões na parte NE da linha, conforme se verifica no perfil de sísmica de refração da mesma. O substrato resistivo é interpretado representar a sequência dolomítica de D1 acoplada aos quartzitos da Formação Tombador.

A curva de BN-10 tem a seguinte interpretação geológica. A camada de solo com 300  $\Omega\text{m}$  de resistividade e 3 m de espessura média recobre um condutor de 60  $\Omega\text{m}$  que é relacionado a unidade P1 parcialmente alterada. Segue-se um nível resistivo de 900  $\Omega\text{m}$  ainda relacionado a unidade P1 agora com pouca ou nenhuma alteração e com baixo valor de porosidade. Essas duas camadas geoeletricas correspondem ao intervalo de velocidade 2000-2200 m/s do perfil sísmico da mesma linha. Segue-se uma camada condutora de 60  $\Omega\text{m}$  de resistividade correspondente a camada de velocidade sísmica de 3300 m/s interpretada como os clásticos finos e argilosos do topo de D1. Sob esse intervalo condutor tem-se um substrato resistivo de 1500  $\Omega\text{m}$ , relacionado ao delomito da unidade D1 e aos quartzitos da Formação Tombador. Nas sondagens da Fig. 10 o nível clástico basal da unidade D1 é de pequena espessura ou inexistente, de modo que não há também manifestação elétrica de sua presença em profundidade.



**Figura 11** – Curvas das sondagens elétricas BN-4, BN-5 e BN-6.

A Fig. 11 contém as curvas e os resultados interpretados das sondagens BN-4, BN-5 e BN-6 (v. Fig. 1). A curva de BN-4 foi interpretada com um modelo de 5 camadas. As duas primeiras camadas elétricas, representam o nível superficial com diferentes graus de umidade. Segue-se um intervalo condutor (23  $\Omega\text{m}$ ) com 6,4 m de espessura associado à zona de alteração da unidade P1. Este condutor repousa sobre uma camada resistiva de 1000  $\Omega\text{m}$  que é associada também a P1, somente que não alterado e com baixo valor de porosidade. Sob essa camada, na profundidade de 60 m manifesta-se outro condutor com 80  $\Omega\text{m}$  de resistividade. A espessura mínima para esta camada condutora foi estimada por extrapolação assintótica da curva de resistividade aparente, admitindo-se a presença de um substrato infinitamente resistivo, obtendo-se valor da ordem de 30 m. Esta camada condutora deve representar a fácies clástica do topo de D1 e o substrato idealizado abaixo de 90 m de profundidade, estaria representando o dolomito e os quartzitos eletricamente combinados.

A sondagem elétrica BN-5 indica, abaixo da camada condutora do solo, um nível resistivo de 1500  $\Omega\text{m}$  que parece se estender até 145 m de profundidade. Esse espesso nível resistivo parece combinar os efeitos das unidades P1, D1 e A1, todas eletricamente muito resistivas nesse trecho. É possível, no caso dessa sondagem, que o decréscimo no valor da resistividade aparente observado nas maiores separações de eletrodos possa ser atribuído a efeitos de variações laterais de resistividade associadas com a aproximação do eletrodo de corrente de nordeste, dos limites de afloramento da unidade P2 fortemente condutora (Hoover et al, 1984)

A curva da sondagem BN-6 identifica, abaixo da camada de solo, os níveis condutor e resistivo relacionado com a unidade P1, intemperizada na sua porção superior. O condutor de 80  $\Omega\text{m}$  de resistividade e que corresponde a camada sísmica de 3200 m/s de velocidade deve corresponder a sequência transicional do topo de D1. A curva dessa sondagem confirma também que o forte refrator corresponde a um substrato resistivo de 1000  $\Omega\text{m}$  de resistividade.

A Fig. 12 apresenta as curvas das sondagens BN-7 e BN-11 levantadas para investigar a ocorrência dos níveis clásticos de D1 no sul da zona de detalhe da parte SW da área estudada (Fig. 1). A sondagem elétrica BN-7 fornece a resistividade de 3200  $\Omega\text{m}$  para a camada superficial, o valor de 2560  $\Omega\text{m}$  para o intervalo interpretado como da unidade P1 e o valor de 3400  $\Omega\text{m}$  para o dolomito de D1. A curva mostra um ramo terminal descendente sugerindo a presença de um espesso condutor abaixo de 142 m de profundidade. Todavia, parece mais razoável supor que este efeito representa a presença de heterogeneidades laterais as-

sociadas com a aproximação dos eletrodos de corrente, nas maiores separações, de um nível melhor condutor (Unidade P2).

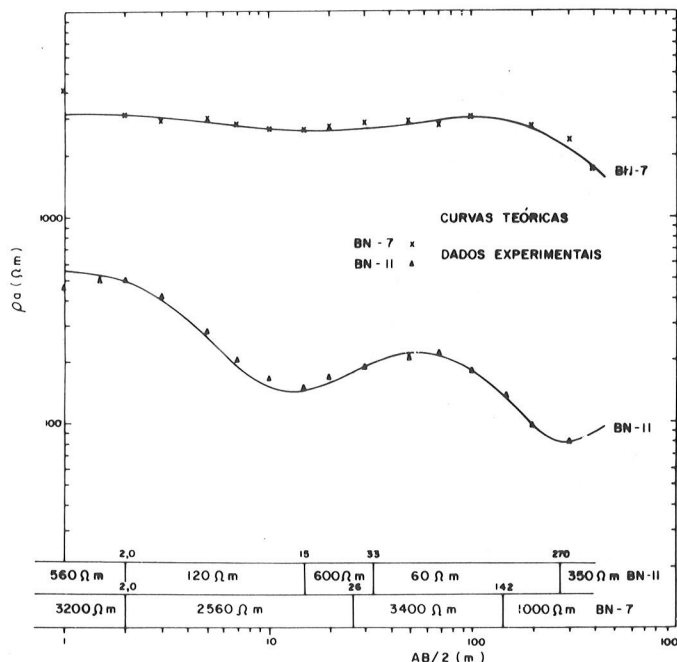


Figura 12 – Curvas das sondagens elétricas BN-7 e BN-11.

A sondagem BN-11 foi interpretada com um modelo de 5 camadas horizontais. A primeira representa o solo e tem 560  $\Omega\text{m}$  de resistividade. Segue-se um intervalo ligeiramente condutor com 120  $\Omega\text{m}$  de resistividade e 13 m de espessura que tem correspondência com a unidade P1 aflorante ao longo da linha. Abaixo, ocorre um nível resistivo com 18 m de espessura e correspondente a um refrator de 5000 m/s de velocidade sísmica. Essa camada foi interpretada representar a unidade D2 plataformal presente nesse trecho do mapa (Fig. 1). Tem-se, em seguida, um espesso condutor com 60  $\Omega\text{m}$  de resistividade interpretado como a sequência P1. Esta sequência, se estende até 270 m de profundidade abaixo da qual extrapolou-se a existência de um substrato infinitamente resistivo representando os carbonatos de D1 e os quartzitos de A1.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados da interpretação de onze linhas sísmicas em combinação com aqueles de onze sondagens elétricas, cujos centros situaram-se ao longo dessas linhas mostraram que é possível sugerir o desenvolvimento do intervalo clástico do topo da unidade D1 na parte SW da área, desde BN-9 até BN-6, provavelmente com pequena descontinuidade nas proximidades de BN-5. Ele se estende também a NE pelo menos até BN-2. Ele é inexistente nas linhas BN-5, BN-7 e BN-11. Este intervalo possui espessura variando de 19 m a 36 m com seu maior espessamento na parte NE da área em torno de BN-3.

O nível dolomítico da unidade D1 constitui camada chave no mapeamento geológico da área com base em levantamentos geofísicos, por se tratar de camada contínua, caracterizada por possuir valores elevados de resistividade elétrica e velocidade sísmica. Ela pode, todavia, ser confundida em suas propriedades físicas com os quartzitos da unidade A1. Os resultados geofísicos alcançados nesse trabalho em termos da profundidade desse marco são consistentes com um mergulho regional de cerca de 6° para SE.

A camada correspondente a unidade P1 possui, em muitos locais velocidade sísmica equivalente a dos clásticos do topo de D1, especialmente a norte e a leste de BN-10. A combinação com os valores de resistividade elétrica permite, todavia, realizar a distinção uma vez que os clásticos do topo de D1 tem, em geral, um comportamento de melhor condutor.

O nível clástico da base de D1, por sua ocorrência em maiores profundidades é de mais difícil detecção geofísica. Sua existência é sugerida em BN-10, mas não foi identificado geofisicamente em nenhuma das

linhas levantadas a NE de BN-10. Provavelmente, se ali ocorrer possui espessura muito pequena, de modo que pode ser considerado como geofisicamente inexistente.

Com relação aos resultados de algumas das sondagens elétricas vale registrar o fato de que em consequência da topografia acidentada da área e da existência de uma unidade P2 extensa e de elevada condutividade, é possível a ocorrência de efeitos de heterogeneidades laterais principalmente nas maiores separações de eletrodos. Esses efeitos podem produzir comportamentos de mesmo aspecto daqueles produzidos por variações verticais de resistividade. A presença desses efeitos foi comprovada pela realização de sondagens cruzadas em BN-2 e sugerida sua existência em BN-5 e BN-7.

Os resultados apresentados neste trabalho, deverão ser checados em futuro próximo, através de perfurações convenientemente localizadas.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, W.L. - 1979 - Numerical integration of related Hankel transform of orders 0 and 1 by adaptive digital filtering. *Geophysics* 44(2):1287-1303.
- CONCEIÇÃO FILHO, V.M.; MONTEIRO, M.D. & CARVALHO, M.P. - 1984 - Projeto borda norte da Chapada Diamantina. Sinopse dos resultados. Salvador, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, Rel. Int., 32 p.
- DOMZALLSKI, W. - 1956 - Some problems of shallow refraction investigations. *Geophys. Prosp.* 4(2):140-166.
- ELLIOT, C.L. - 1967 - Some applications of seismic refraction technique in mining exploration. In *Seismic Refraction Prospecting* (A.W. Musgrave ed.), Soc. Explor. Geophys. p. 522-538.
- FORMANEK, H.P. - 1979 - The application of shallow seismic refraction surveys to mining and civil engineering problems. A case history. *Rev. Bras. Geoc.* 9(3):169-178.
- GHOSH, D.P. - 1971 The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements. *Geophys. Prosp.* 19(2):192-217.
- GREIG, E.W. - 1969 - The application of geophysical methods in the exploration for bauxite deposits. In *Mining and Groundwater Geophysics/1967*. (L.W. Morley ed.), Geol. Surv. Canadá Rep. n° 26 p. 470-475.
- HEILAND, C.A. - 1940 - Geophysical exploration. New York, Prentice Hall 1ª Ed.
- HOBSON, G.D. - 1967 - Seismic methods in mining and groundwater exploration. In *Mining and Groundwater Geophysics/1967*. (L.W. Morley ed.), Geol. Surv. Canadá Rep. n° 26 p. 148-176.
- HOOVER, D.B.; GARRIDO, I.A.A.; SAMPAIO, E.S. & SILVA, R.W.S. - 1984 - Estudos geoeletricos nas áreas Limoeiro e Galena com os métodos telúrico e audiomagnetotelúrico, 33º Cong. Bras. Geol. Res. das Comunicações p. 114.
- KELLER, G.V. - 1967 - Application of resistivity methods in mineral and groundwater exploration programs. In *Mining and Groundwater Geophysics/1967*, (L.W. Morley ed.), Geol. Surv. Canadá Rep. n° 26 p. 51-66.
- KNOX, W.A. - 1967 - Multilayer near-surface refractions computations. In *Seismic Refraction Prospecting*. A.W. MUSGRAVE Ed., Soc. Explor. Geophys. p. 197-216.
- LIMA, O.A.L. & DIAS, C.A. - 1983 - Application of geophysical methods to groundwater exploration in Bahia, Northeastern Brasil. *Internat. Symp. on Applied Geophysics in Tropical Regions*, (J.L.S. Lourenço & L. Rijo, eds.), Soc. Bras. Geofis. 492-517.
- MACPHAIL, M.R. - 1967 - The midpoint method of interpreting a refraction survey. In *Seismic Refraction Prospecting*, (A.W. Musgrave ed.), Soc. Explor. Geophys. p. 260-266.
- SCHMOLLER, R. - 1982 - Some aspects of handling velocity inversion and hidden layer problems in seismic refraction work. *Geophys. Prosp.* 30(6):735-751.
- ZOHDY, A.A.R. - 1965 - The auxiliary point method of electrical sounding interpretation and its relationship to the Dar Zarrouk parameters. *Geophysics* 30(3):644-660.

Versão original recebida em Jul./86;  
Versão final, em Set./87