



| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
| PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS | | AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY | |
| AUDIOMAGNETOTELÚRICAS PROSPECÇÃO MINERAL | | V.W.J.H. Kirchoff Diretor Ciênc. Esp. Atmos. | |
| AUTORES AUTHORS | AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR | DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION | |
| | Antonio Lopes Padilha | <input type="checkbox"/> INTERNA / INTERNAL <input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA / EXTERNAL <input type="checkbox"/> RESTRITA / RESTRICTED | |
| | | REVISADA POR / REVISED BY | |
| | | Osmar Pinto Jr. Editor Ciênc. Esp. Atmos. | |
| CDU/UDC | | DATA / DATE | |
| 550.837.211 (816.5) | | Dezembro de 1990 | |
| | | ORIGEM ORIGIN | |
| | | DGE | |
| | | PROJETO PROJECT | |
| | | Nº DE PAG. NO OF PAGES | ULTIMA PAG. LAST PAGE |
| | | 38 | 28 |
| | | VERSÃO VERSION | Nº DE MAPAS NO OF MAPS |
| | | | |
| RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES | | | |
| <p>Sondagens Audiomagnetotelúricas foram efetuadas em duas áreas próximas das Minas de Camaquã (RS) com dois objetivos distintos: na área de Rodeio Velho procurou-se obter evidências corroborativas às interpretações geológicas a partir de dados geomagnéticos e gravimétricos anteriores; na região de Santa Maria, sondagens comparativas seriam realizadas entre áreas mineralizadas e não-mineralizadas em sulfetos. Em Rodeio Velho, as sondagens confirmam a presença de centenas de metros de sedimentos, provavelmente afetados por estruturas verticais e alternância de camadas resistiva e condutora. Na região de Santa Maria, as sondagens nas áreas mineralizadas apresentaram uma camada intermediária mais condutora, que aproximadamente coincide com a posição da camada mineralizada.</p> | | | |
| OBSERVAÇÕES / REMARKS | | | |
| Relatório de trabalho de campo nas Minas de Camaquã (RS) de 13 a 16 de Fevereiro de 1990. | | | |

ABSTRACT

Audiomagnetotelluric soundings were carried out in the region near the Camaquã Mines (State of Rio Grande do Sul) with two distinct objectives: in the area of Rodeio Velho corroborative evidences were sought for geological interpretation based on previous geomagnetic and gravity data; in Santa Maria, comparative soundings were planned between mineralized and non-mineralized areas. In Rodeio Velho, the soundings confirm sediment thicknesses of hundred of meters, probably affected by vertical structures, and the presence of alternating intercalated resistive and conductive layers. In the area of Santa Maria, the soundings in the mineralized areas present a more conducting intermediary layer which is approximately coincident with the position of the mineralized layer.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| 1. <u>INTRODUÇÃO</u> | 01 |
| 2. <u>GEOLOGIA LOCAL</u> | 05 |
| 3. <u>DADOS GEOFÍSICOS ANTERIORES</u> | 06 |
| 4. <u>CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO AMT</u> | 09 |
| 5. <u>DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO AMT</u> | 10 |
| 6. <u>RESULTADOS</u> | 11 |
| 6.1 - Área de Santa Maria..... | 11 |
| 6.2 - Área de Rodeio Velho..... | 15 |
| 7. <u>CONCLUSÕES</u> | 22 |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|--|----|
| 01 - Localização das áreas onde foram realizadas as sondagens AMT, em Caçapava do Sul (RS) | 02 |
| 02 - Localização geográfica das sondagens AMT na região de Rodeio Velho | 03 |
| 03 - Perfis de gravimetria, audiomagnetotelúrica e magnetometria região de Rodeio Velho..... | 08 |
| 04 - Variação de Resistividade..... | 13 |
| 05 - Ilustração das espessuras e resistividades das três camadas utilizadas para o ajuste dos dados das leituras AMT, na região de Santa Maria | 15 |
| 06 - Pseudo-seção de resistividade aparente na direção norte-sul, para as duas direções de leitura, na região de Rodeio Velho . | 16 |
| 07 - Pseudo-seção de resistividade aparente na direção NE-SW de Rodeio Velho | 16 |
| 08 - Perfil NS mostrando as camadas geelétricas com o intervalo de resistividade obtido pelas inversões dos dados nas direções N30E e N60W, região de Rodeio Velho | 17 |
| 09 - Distribuição espacial das camadas geelétricas em função da profundidade na direção aproximada NE-SW, região de Rodeio Velho | 17 |

| | |
|--|----|
| 10 - Modelagem AMT..... | 18 |
| 11 - Ilustração de dados AMT cuja distribuição apresenta problemas de modelagem | 20 |
| 12 - Exemplo de dados AMT e subsequente modelagem com 4 camadas .. | 21 |

1. INTRODUÇÃO

A prospecção geofísica de depósitos de sulfetos disseminados é realizada principalmente pelos métodos de polarização induzida. Entretanto, os métodos audiomagnetotelúricos (AMT) vêm oferecendo uma interessante alternativa ou complementariedade pelos seguintes motivos (Lakanen, 1986):

- a) O método tem condições de discriminar camadas condutoras próximas à superfície; as zonas mineralizadas em sulfeto são altamente condutoras, por causa da presença dos minerais metálicos (calcopirita, pirita, bornita, calcocita etc) e dos resultados das alterações associadas à sulfetização;
- b) O método pode dar indícios de estruturas geológicas, devido aos efeitos que produz nas leituras dos campos elétrico e magnético.

Por essas razões, foram idealizados levantamentos AMT em duas regiões próximas às Minas de Camaquã, Figura 1. Na região de Santa Maria, devido ao conhecimento geológico existente através de inúmeros furos, optou-se pela comparação dos resultados das sondagens em áreas mineralizadas e não-mineralizadas. Adicionalmente, seria verificado a possibilidade de detecção de possíveis zonas mineralizadas abaixo da zona atualmente conhecida. Na região de Rodeio Velho, o levantamento AMT foi motivado pela existência de uma anomalia aeromagnética, confirmada por magnetometria de campo, e uma pequena anomalia gravimétrica. Para atender esses objetivos, vinte e uma sondagens audiomagnetotelúricas (AMT) foram efetuadas no período de 13 a 16 de Fev. de 1990, na região de Rodeio Velho (15 sondagens) e

Santa Maria (6 sondagens), localizadas respectivamente a 10 e 5 km de distância das Minas de Camaquã (RS), Figura 1.

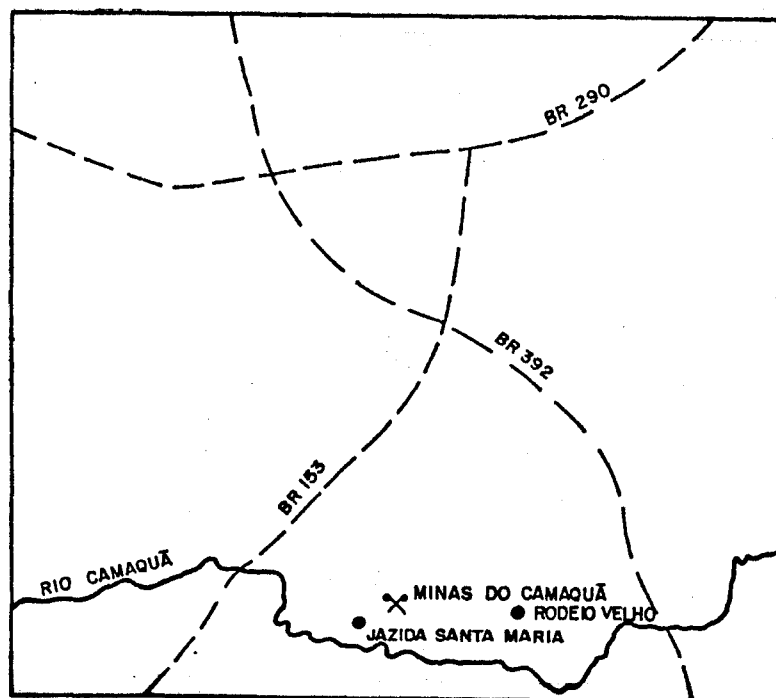


Fig. 1 - Localização das áreas onde foram realizadas as sondagens AMT, em Caçapava do Sul (RS).

A localização geográfica das sondagens AMT, na região de Rodeio Velho é indicada na Figura 2. As sondagens AMT na região de Santa Maria foram realizadas em locais onde a CBC efetuou furos de perfuração, conforme mostra a Tabela 1.

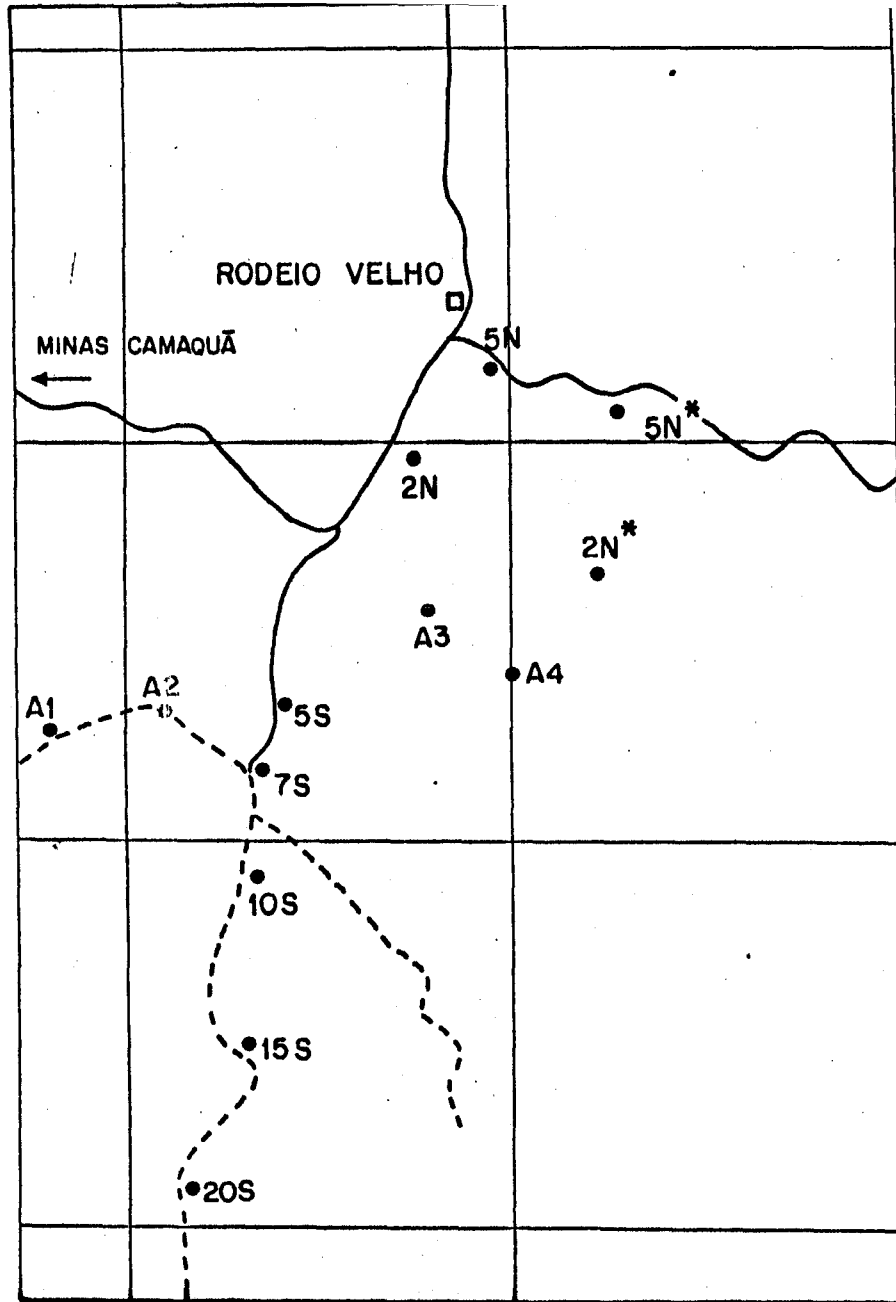


Fig. 2 - Localização geográfica das sondagens AMT na região de Rodeio Velho.

2. GEOLOGIA LOCAL

Na área de Santa Maria, as rochas próximas à superfície pertencem ao Membro Vargas, que se encontra sobreposto ao Membro Mangueirão, pertencentes ambos à Formação Arroio dos Nobres do Grupo Bom Jardim. O Membro Vargas é constituído por conglomerados, arenitos médios e, às vezes, intercalações de andesitos de pequena expressão. Os furos, na área de trabalho, mostram na porção superior, conglomerados desse Membro, com algumas dezenas de metros de espessura, que se sobrepõem a arenitos médios e finos. Nessa interface, ocorrem os sulfetos disseminados que podem ter sido afetados por processos de remobilização, associados à falhamentos que predominantemente apresentam orientação NW. O Membro Mangueirão, constituído por sedimentos mais finos (arenitos e siltitos), é encontrado a algumas centenas de metros abaixo da superfície. As camadas apresentam-se com mergulhos de 2° a 30° para NW. Os furos em geral alcançam um pouco mais de cem metros de profundidade, sendo que alguns penetram até 200 m (Teixeira et al. 1978).

O conhecimento geológico da área de Rodeio Velho é bem menor e, para este trabalho, as informações foram extraídas da carta geológica da CPRM (Folha Passo do Caçã, 1970; 1:50 000). Essa carta mostra, para a área dos levantamentos AMT, a presença de rochas do Grupo Camaquã, especificamente da Formação Santa Barbara indiferenciada e de seu Membro Rodeio Velho. A formação Santa Barbara é constituída por conglomerados e arenitos grosseiros com estratificação cruzada e o seu Membro Rodeio Velho corresponde a rochas andesíticas. O Grupo Camaquã sobrepõe-se ao Grupo Bom Jardim por discordância angular e a

sua espessura, na área de trabalho, é indefinida. O Mapa Geológico indica também falhas, com direção NW, cortando a área de trabalho pelo menos em sua porção leste.

3. DADOS GEOFÍSICOS ANTERIORES

A região das Minas de Camaquã foi sujeita, em 1973, ao Projeto Aerogeofísico Camaquã, que consistiu de levantamentos de espectrometria gama e de aeromagnetometria (Intensidade Magnética Total), com direção de vôo N45W.

Na área de Santa Maria, o Mapa de Potássio, Folha Passo do Cação desse Projeto, mostra uma anomalia disposta aproximadamente na direção N20E.

Em 1981, o IPT realizou levantamentos IP, com arranjo dipolo-dipolo, polo-dipolo e direcional (mise-a-la masse). Esse estudo mostra que, nessa área, não ocorrem contrastes significativos de resistividade aparente concluindo que esse fato reflete a homogeneidade litológica. Quando muito, as pequenas variações locais de resistividade associam-se às variações de permeabilidade, porosidade e natureza do cimento (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981).

Na área de Rodeio Velho, o Mapa de Intensidade Magnética Total do Projeto Camaquã mostra uma anomalia aeromagnética alongada na direção aproximada de N70W, tendo 8 km de extensão por 2 km de largura e de provável origem próxima à superfície. Três perfis magnetométricos e um perfil gravimétrico foram realizados transversalmente à anomalia aeromagnética pelo DMGA/IPT. A

localização geográfica do perfil central coincide, em parte, com a localização das sondagens ao longo da estrada, do ponto 5N até o ponto 20S mostrados na Figura 2.

Os dados gravimétricos corrigidos mostram, na Figura 3, uma pequena variação de patamar com rebaixamento de 1 mGal do ponto 3S para o ponto 4S, com 200 m de separação. A explicação mais simples para essa inexpressiva anomalia, caso ela seja real, pode ser atribuída à existência de camadas litológicas horizontais ou sub-horizontais de pequeno contraste em densidade, justapostas na mesma profundidade. Esse contraste em densidade pode ser resultado de variação lateral da densidade da camada sedimentar, efeitos de hidrotermalismo, intrusão, espessamento da camada litológica para norte, ou movimentação vertical das camadas ao longo de um plano de falha subvertical. A anomalia magnética observada (Figura 3) é muito mais substancial do que a gravimétrica, visto apresentar variações de algumas dezenas de nanoteslas, sendo a amplitude da anomalia (pico a pico) de 200 nT. As mesmas condições descritas acima são pertinentes como causas da anomalia, porém o contraste advém de possíveis variações de susceptibilidade magnética em lugar da variação de densidade, que é o caso da gravimetria. A possível presença de magnetita como fonte da anomalia magnética é contrária à possibilidade de hidrotermalismo, visto que esse último processo tenderia a transformar magnetita em pirita. Muito plausível seria a ocorrência de intrusivas básicas subverticais de pequena espessura (dezenas de metros) que preenchem as fraturas de direção próxima a N70W, a algumas centenas de metros de profundidade.

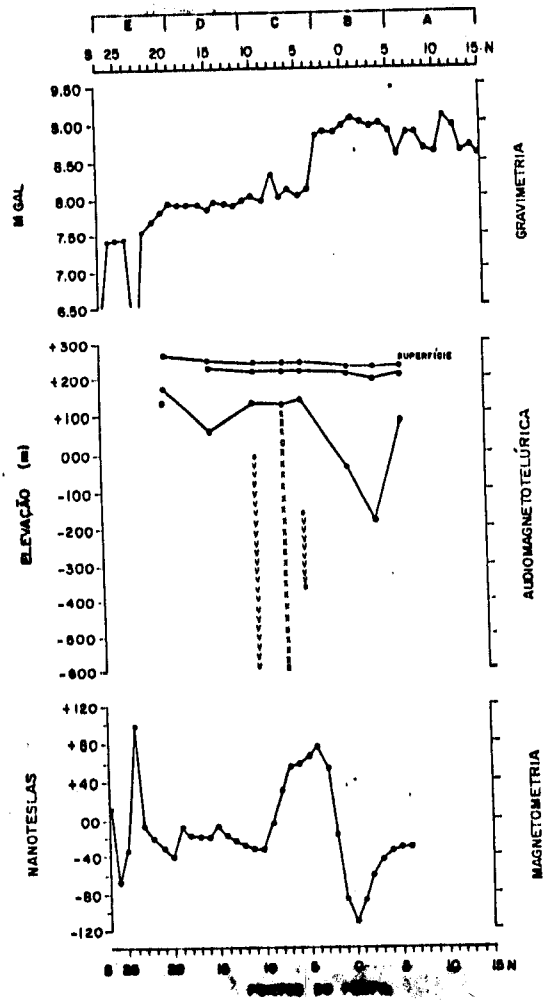


Fig. 3 - Perfis de Gravimetria, Audiomagnetotelúrica e Magnetometria na região de Rodeio Velho.

- (A Gravimetria e a Magnetometria foram realizadas pelo IPT).
O sinal **v** indica presença de camada condutora e o **x** camada resistiva, a partir da modelagem 1D.

4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO AMT

O método AMT de sondagens aplicado à exploração mineral faz uso das variações da impedância, razão entre o campo elétrico horizontal e o campo magnético horizontal, determinadas em várias audiofrequências, a partir das quais são estimadas as resistividades das camadas litológicas em várias profundidades. O desenvolvimento teórico do método presume a existência de extensas camadas horizontais isotrópicas, através das quais as correntes fluem verticalmente. Assim, o método é mais eficiente em condições litológicas de pouca variação lateral, sendo indicado na identificação de camadas condutoras como por exemplo zonas mineralizadas com extensa expressão horizontal, localizadas a poucas centenas de metros de profundidade. Entretanto, o fato da corrente sempre fluir para o meio mais condutor, faz com que a direção das correntes induzidas sejam controladas pelas variações laterais da litologia, o que pode ser explorado favoravelmente na identificação de estruturas geológicas não muito complexas. Como as camadas condutoras atenuam o sinal, as maiores profundidades de penetração são obtidas em áreas de cobertura mais resistiva. Nas áreas que possuem cobertura condutora, o método alcança somente algumas centenas de metros de profundidade e se torna menos preciso na estimativa da profundidade das camadas. (Lakanen, 1986).

Operacionalmente, a técnica reduz-se à leitura dos valores das resistividades aparentes em função da frequência, em cada local de sondagem. Geralmente as sondagens são espacialmente distribuídas ao longo de uma linha ou de uma malha, de acordo com os objetivos do trabalho e a complexidade geológica local. Os principais problemas encontrados nas sondagens relacionam-se aos efeitos produzidos por estruturas geoeletricas locais ou por fontes de energia

natural e artificial. Para o AMT, a fonte dos sinais eletromagnéticos reside nas tempestades elétricas localizadas a grandes distâncias. Dessa maneira, a proximidade de redes de energia elétrica, motores e tempestades locais tem forte efeito sobre as leituras.

Os métodos interpretativos usuais utilizam diversos procedimentos, descritos a seguir em ordem de maior complexidade:

- a) pseudo-secção de resistividade aparente, na qual esses valores, plotados em função da respectiva frequência, são interpolados, formando uma figura que fornece uma aproximação da variação da resistividade com a profundidade;
- b) modelagem (inversão de dados) em 1D, 2D e 3D, sendo a primeira a mais comum por ser a mais rápida de ser obtida. Nessas modelagens, valores de resistividade e de espessura de cada camada são testados até se obter resultados que mais se aproximem das resistividades aparentes medidas;
- c) secção de resistividade em função da profundidade ao longo de perfis, a partir dos dados das modelagens;
- d) Mapas de iso-resistividades no plano horizontal de qualquer profundidade, obtido a partir de diversas seções de resistividade versus profundidade.

5. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO AMT

O equipamento utilizado é um sistema portátil fabricado pela Sagax Geophysical Inc. com o nome de SAMT (Scalar Audio Magneto Telluric). Esse sistema pesa cerca de 12 quilos e consiste de um sensor magnético, dois eletrodos e cabos, ligando esses componentes a um monitor conectado a uma bateria recarregável. A faixa de frequência varre de 1 a 5000 Hz, em passos de 0,1 e 1 Hz. A acurácia nominal fornecida pelos fabricantes é de 5% em resistividade. O monitor do sistema recebe os valores das variações dos campos ortogonais elétrico e magnético e determina a resistividade aparente

pelo método de Cagniard. Fornece também a estimativa da coerência entre as duas componentes, porém não calcula, nesse equipamento em particular, a fase entre essas componentes.

6. RESULTADOS

6.1 - ÁREA DE SANTA MARIA

Nessa área foram realizadas 6 sondagens AMT, ao lado de furos já existentes, conforme a Tabela 1. Esses furos apresentam uma camada contendo sulfetos, com exceção do furo correspondendo à sondagem SM6. Essa camada é considerada mineralizada nos furos das sondagens SM1, SM2, SM3 e SM4.

Nas sondagens SM5 e SM6 não foram obtidos resultados satisfatórios devido a problemas técnicos com o equipamento.

Os dados coletados nas quatro sondagens foram modelados e o resultado para cada uma das sondagens é mostrado na Tabela 2. Como exemplo dessa modelagem, é mostrada na Figura 4 a sondagem SM3. No gráfico à esquerda da Figura 4 é apresentada a variação da resistividade aparente em função da frequência, obtida pela leitura do equipamento no campo. As barras verticais correspondem às dispersões das leituras em cada frequência amostrada, em cada direção ortogonal. Uma maior dispersão é atribuída a baixos valores da razão sinal-ruído que podem advir tanto da fonte de energia EM como da própria estrutura geolétrica. Os valores de resistividade aparente, para uma mesma frequência, tendem a se sobreporem, nas duas direções ortogonais de leitura, em condições geolétricas isotrópicas e a divergirem em condições anisotrópicas. Na Figura 4, as linhas contínuas e tracejadas correspondem ao melhor ajuste dos dados nas direções N30E e N60W dos eletrodos, respectivamente. No gráfico à direita da Figura 4, é mostrada a variação da resistividade em função da profundidade, que corresponde ao modelo teórico de camadas responsáveis pela curva de melhor ajuste, para as duas direções de leitura.

TABELA 2

VALORES DE RESISTIVIDADE (RHO) E ESPESSURA DA CAMADA (H) UTILIZADOS
NA INVERSÃO DOS DADOS DE SONDAÇÃO NA REGIÃO DE SANTA MARIA

| SONDAGEM | | SM1 | | SM2 | | SM3 | | SM4 | |
|--------------------|-----------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| CAMADA | | Rho m | h m | Rho m | h m | Rho m | h m | Rho m | h m |
| SUPERIOR | a) direcao N60W | 266,3 | 51,7 | 74,3 | 57,5 | 126,7 | 88,6 | 109,0 | 69,1 |
| | b) direcao N30E | 446,0 | 50,9 | 127,8 | 75,1 | 323,5 | 79,1 | 70,6 | 78,6 |
| INTER- MEDIARIA | a) N60W | 20,0 | 39,4 | 29,3 | 42,3 | 36,0 | 53,5 | 29,7 | 46,5 |
| | b) N30E | 15,9 | 29,4 | 37,4 | 49,8 | 32,8 | 52,9 | 17,6 | 30,4 |
| INFERIOR | a) N60W | 4063,0 | 00 | 4361,0 | 00 | 6830,0 | 00 | 4045,0 | 00 |
| | b) N30E | 18410,0 | 00 | 2635,0 | 00 | 2762,0 | 00 | 1009,0 | 00 |
| ERRO DE AJUSTE | a) N60W | | 6,09% | | 5,59% | | 5,37% | | 2,11% |
| | b) N30E | | 15,17% | | 1,72% | | 1,09% | | 2,83% |

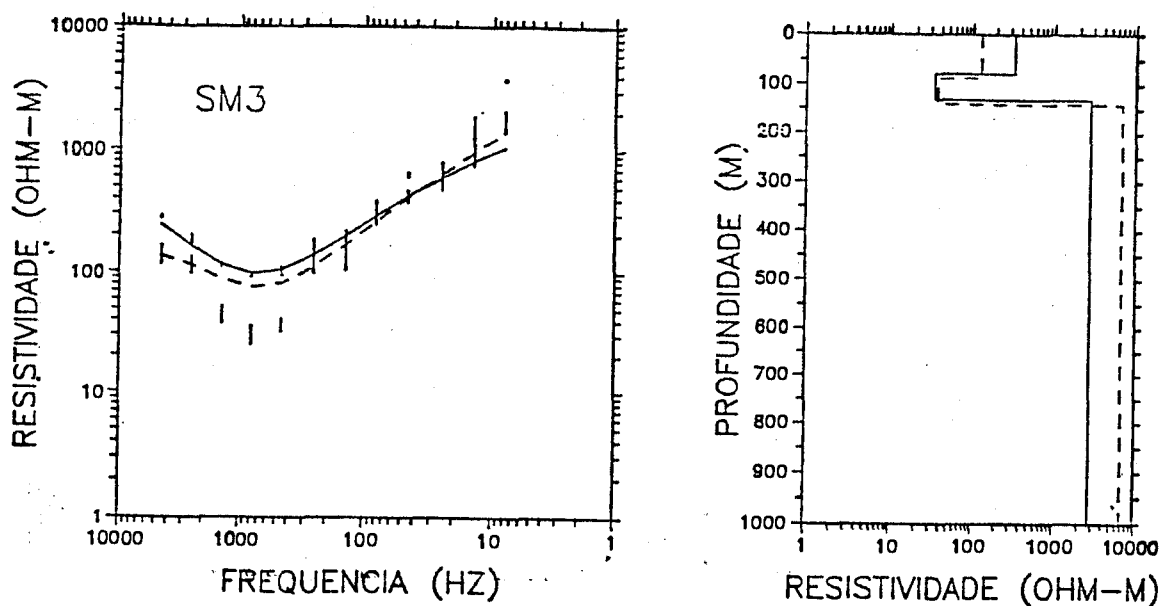


Fig. 4 - Variação de Resistividade

- O gráfico à esquerda mostra a curva de melhor ajuste à variação da resistividade aparente em função da frequência. O gráfico à direita ilustra a profundidade e a resistividade das camadas necessárias para a obtenção do melhor ajuste. As barras indicam a dispersão das leituras e as linhas contínuas e tracejadas referem-se às direções N30E e N60W, respectivamente.

O resultado da sondagem SM3 (Figura 4) é típico para as quatro sondagens na região de Santa Maria. Como pode ser observado na Tabela 2 e na Figura 5, três camadas são suficientes para modelar os dados das leituras. A camada superior apresenta-se com espessura e resistividade bastante variável entre 71 e 446 ohm.m. Entretanto, desconsiderando a sondagem SM1, aparentemente atípica por ter camadas menos profundas, observa-se nas outras sondagens um pequeno afinamento dessa camada em direção a norte (de SM3 ao sul, para SM2 ao norte), principalmente na direção N60W (gráfico à direita da Figura 5). A camada intermediária, por outro lado, é bem mais condutora e a sua variação é menor, entre 16 e 38 ohm.m. O contato entre a camada superior e a intermediária coincide com o topo da zona mineralizada, nas sondagens SM3, SM4 e SM2. Nesse último caso (SM 2), a comparação é feita com o furo PCA3-88-05 que fica próximo, ao invés do furo PCA3-90-04, do qual não temos no momento informações litológicas.

Essa camada condutora tem uma espessura aproximada de 50 metros e pode corresponder à zona mineralizada. Ela se sobrepõe a uma camada bem mais resistiva, cujos valores ultrapassam 1000 ohm.m, situada a partir de profundidades ao redor de 130 m. Dessa maneira, é inviável a detecção do embasamento cristalino, situado a várias centenas de metros de profundidade. Unidades geológicas relacionadas ao grupo Bom Jardim, como por exemplo o topo do Membro Mangueirão, também não foram discriminadas. A existência de outras camadas condutoras não está excluída caso sejam de inexpressiva espessura ou pequeno contraste em resistividade, colocando-as fora do poder de resolução do sistema. Quanto à sondagem SM1, de resultado um pouco distinto das demais, é interessante apontar que a estação é próxima de um pequeno lago e que as leituras foram realizadas em condições meteorológicas adversas.

Em Santa Maria, permanece aberta a comparação com sondagens realizadas em áreas onde inexiste em subsuperfície, faixas com sulfetos.

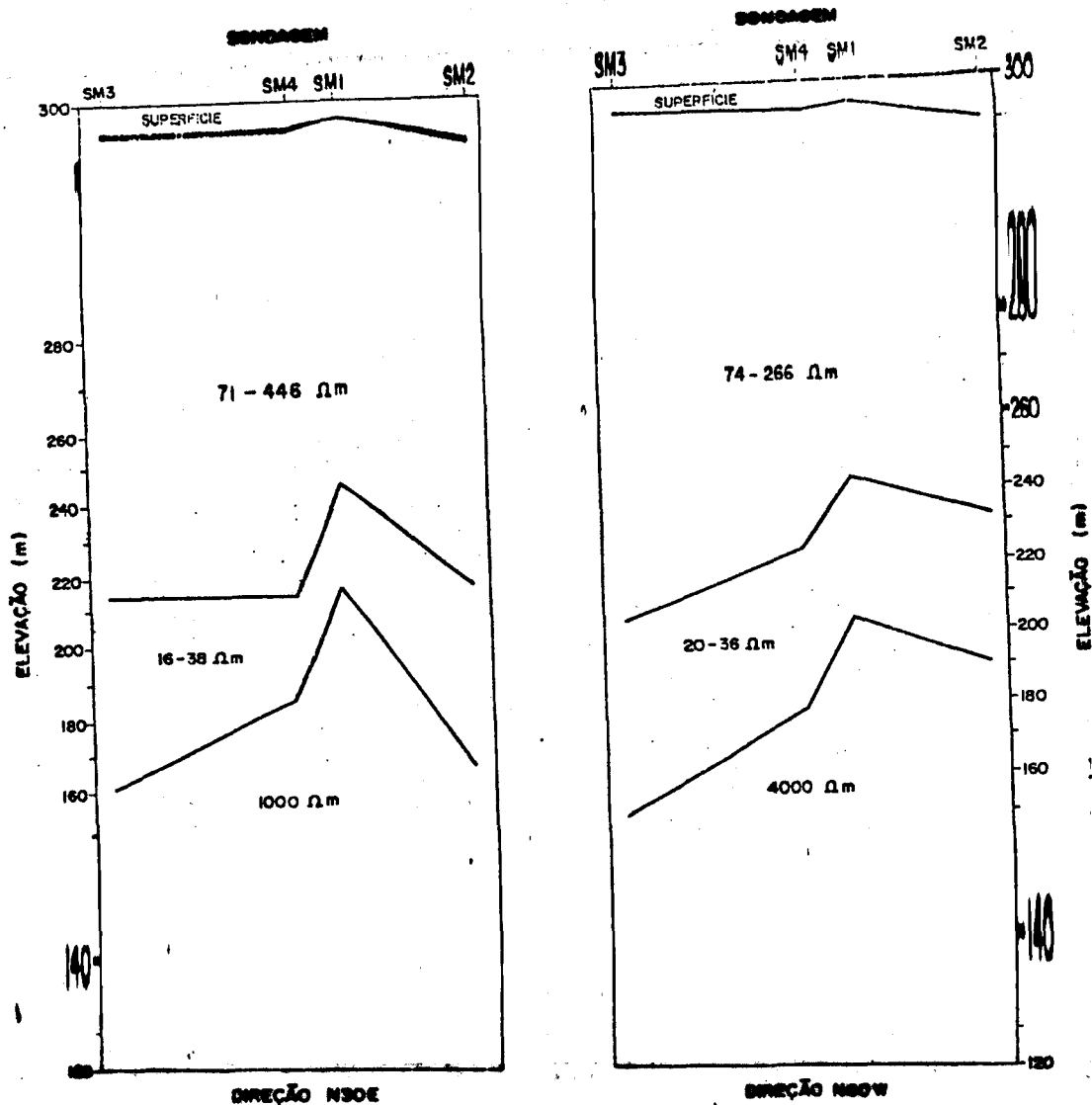


Fig. 5 - Ilustração das espessuras e resistividades das três camadas utilizadas para o ajuste dos dados das leituras AMT, na região de Santa Maria.

6.2 - ÁREA DE RODEIO VELHO

Nessa área foram efetuadas 15 sondagens AMT, geograficamente dispostas conforme mostra a Figura 2, com exceção de duas sondagens, cujos dados são considerados inadequados por terem ocorrido problemas técnicos com a instrumentação.

Duas pseudo-seções de resistividade aparente são mostradas nas Figuras 6 e 7, respectivamente o perfil que vai do ponto 20S ao 5N (direção aproximada NS) e o perfil do ponto A1 ao 2N* (direção NE-NW) para as duas direções dos eletrodos N30E e N60W. Essas pseudo-seções mostram uma zona central mais condutora (com exceção do ponto 7S) e bordas mais resistivas.

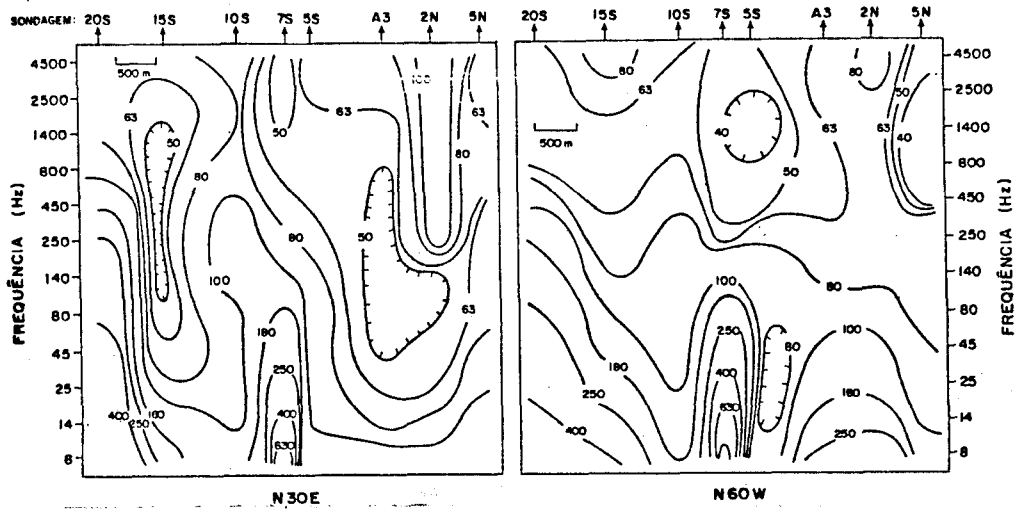


Fig. 6 - Pseudo-seção de resistividade aparente na direção norte-sul, para as duas direções de leitura, na região de Rodeio Velho.

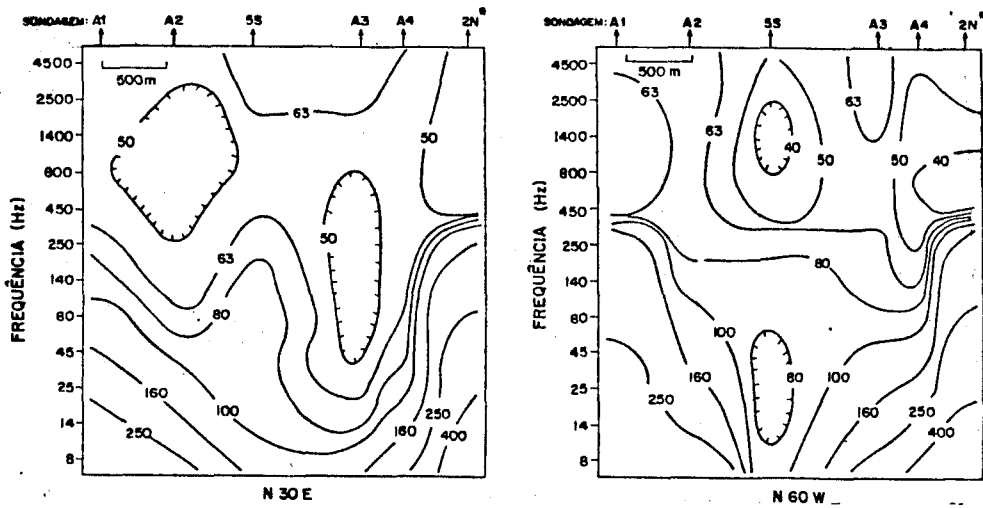


Fig. 7 - Pseudo-seção de resistividade aparente na direção NE-SW de Rodeio Velho.

Todos os dados de sondagens foram modelados com 3 camadas exceto as sondagens 5S e 10S que foram modeladas com 4 camadas. As Figuras 8 e 9 resumem, respectivamente, o perfil NS (20S-5N) e o perfil NE-SW (A1-2N*). Comparando os dados dessa região com os de Santa Maria, observamos que ela é aparentemente menos resistiva que a de Santa Maria.

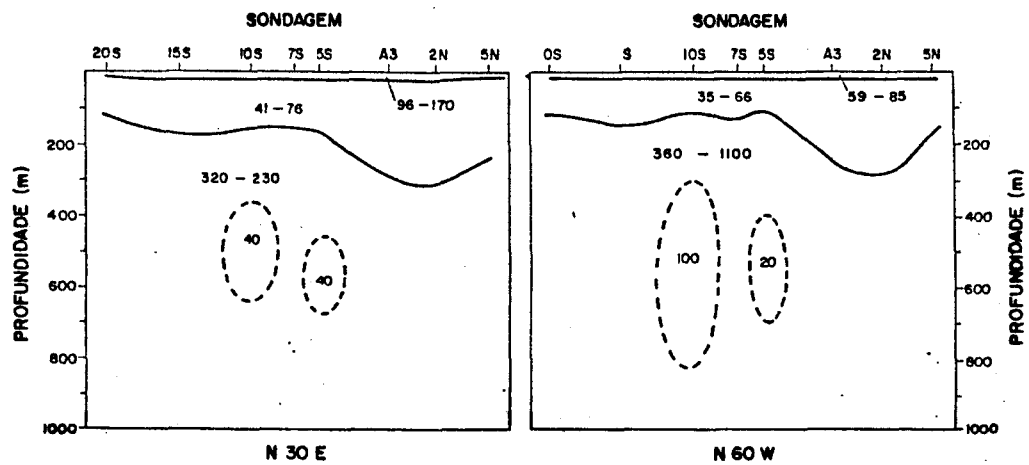


Fig. 8 - Perfil NS mostrando as camadas geolétricas com o intervalo de resistividade obtido pelas inversões dos dados na direção N30E e N60W, região de Rodeio Velho.

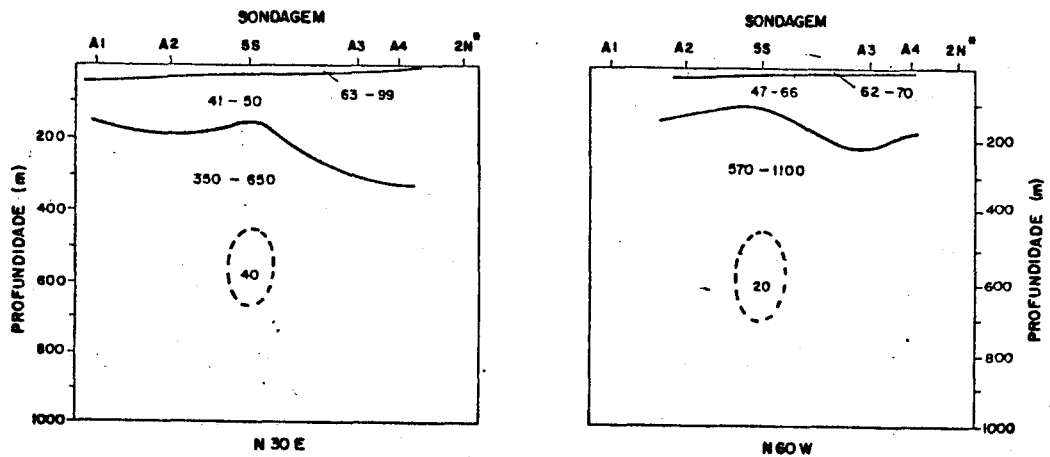


Fig. 9 - Distribuição espacial das camadas geolétricas em função da profundidade na direção aproximada NE-SW, região de Rodeio Velho.

A Figura 10 ilustra a modelagem em 3 camadas da sondagem A3: uma superior, com espessura de algumas dezenas de metros, sobreposta a uma camada menos resistiva que por sua vez encontra-se sobre uma camada inferior localizada a poucas centenas de metros de profundidade. Nesse exemplo observa-se, a partir das diferenças entre as curvas de resistividade, uma substancial anisotropia entre as duas direções de medidas, o que torna problemática a interpretação da espessura da camada condutora.

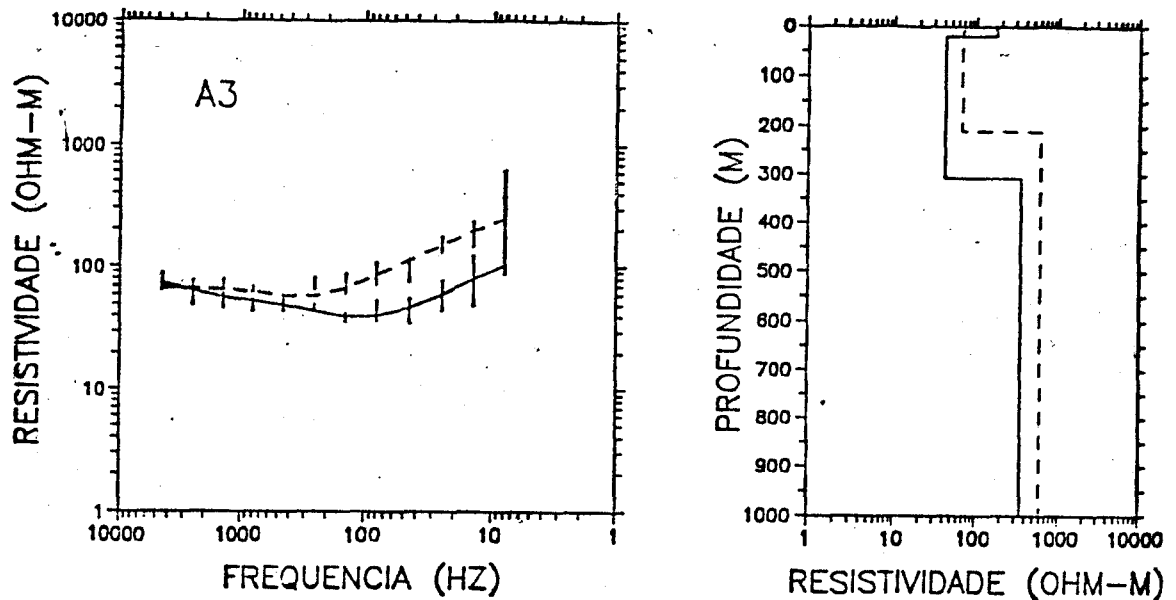


Fig. 10 - Modelagem AMT

- Modelagem em três camadas dos dados AMT da sondagem A3: do lado esquerdo, resistividade aparente em função da frequência das leituras; do lado direito é ilustrada a profundidade utilizada para modelar os dados AMT.

Na parte norte e sudoeste, os dados de sondagens apresentam-se com distribuição extremamente descontínua, o que dificulta sobremaneira a modelagem. A Figura 11, por exemplo, mostra os dados da sondagem 2N* onde é nítido o salto brusco no valor da

resistividade aparente na frequência próxima a 300 Hz. A causa desse comportamento atípico pode advir de efeitos artificiais (motores, rede elétrica) ou naturais relacionados com geoestruturas locais (falhas, dobras, intrusões). Já a Figura 12 ilustra o resultado de uma inversão 1D com 4 camadas para a sondagem 5S, localizada na parte central do levantamento. Nesse exemplo, novamente são observadas diferenças nos dados nas duas direções dos eletrodos, indicando anisotropia que dificulta a definição da espessura e da resistividade das camadas. É patente a presença de uma camada condutora de espessura entre 150 a 200 metros, aproximadamente entre 450 e 650 m de profundidade. Essa camada condutora é também encontrada na sondagem da estação 10S, mas não aparece na estação 7S, localizada entre a 5S e a 10S e com 500 metros de distância de cada uma dessas estações. Uma comparação preliminar dos resultados AMT com os perfis gravimétrico e magnetométrico pode ser observada a partir da Figura 3. Nessa figura, os dados AMT, de norte para o sul, indicam condições geoeletricamente perturbadas no intervalo A do topo da Figura 3, (sondagens 5N, 5N* e 2N*); no intervalo B são encontradas as maiores espessuras da camada B (sondagens 2N, A3, A4); no intervalo C, coincidente com a anomalia geomagnética, as sondagens apresentam zonas condutoras ao redor de zona resistiva, o que pode ser indicativo de faixas alteradas pela intrusão de diques básicos-ultrabásicos subverticais; a passagem do intervalo B para o C relaciona-se com o degrau de 1 mGal no perfil gravimétrico o que fortalece a interpretação de espessamento da camada para norte, para a anomalia gravimétrica; o intervalo D é representado pelos resultados das sondagens 15S, A2 e A1 e o intervalo E representado pela sondagem 20S.

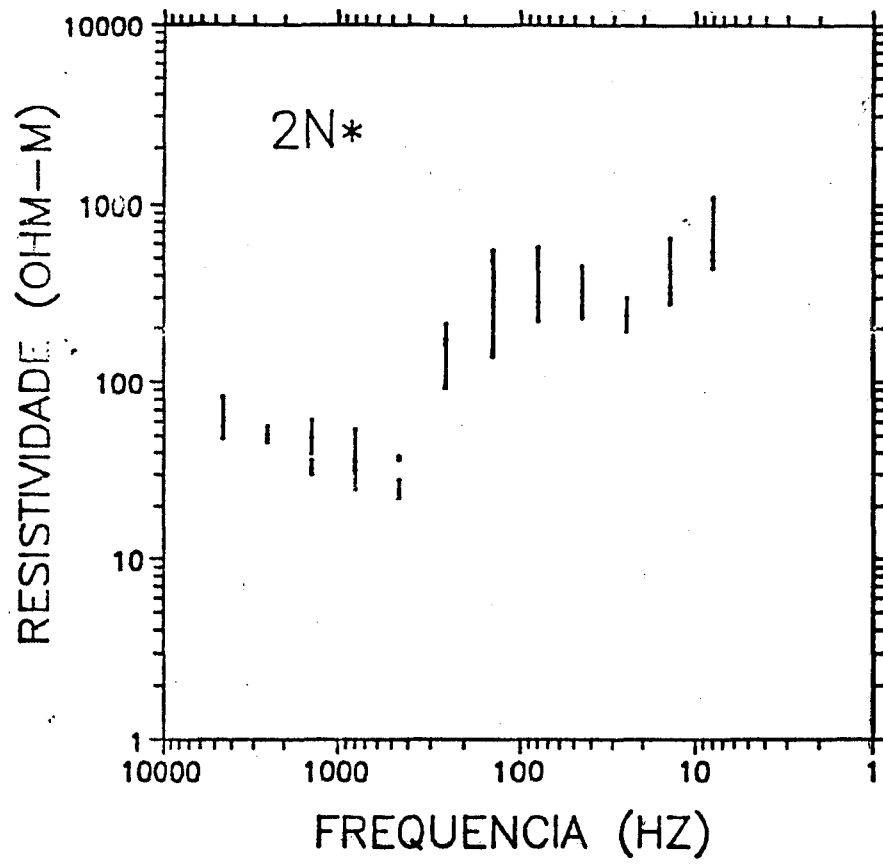


Fig. 11 - Ilustração de dados AMT cuja distribuição apresenta problemas de modelagem.

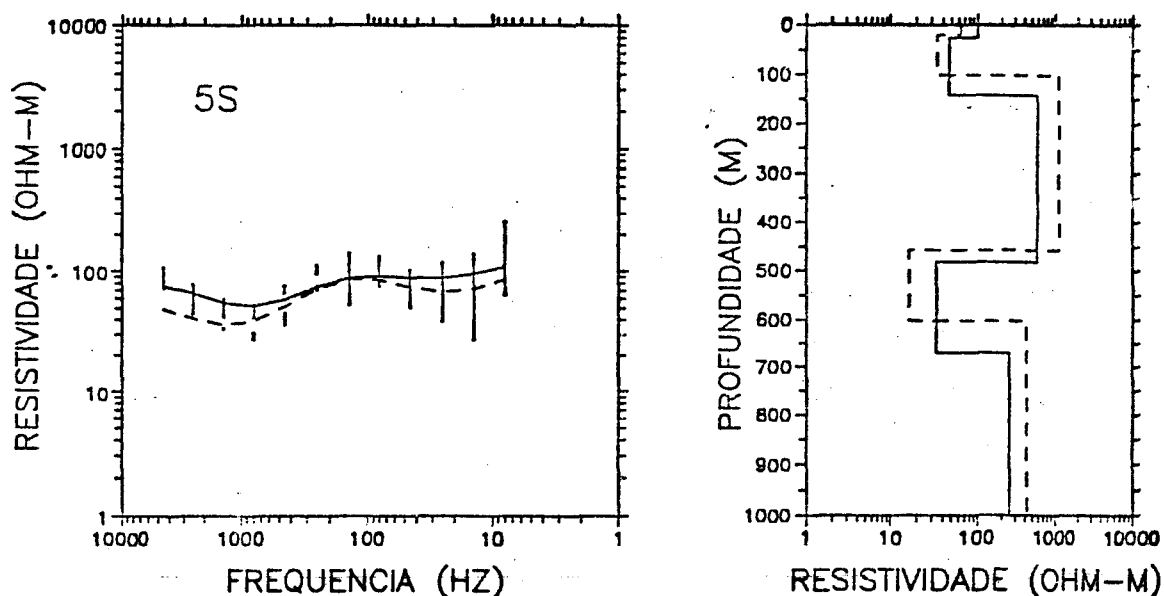


Fig. 12 - Exemplo de dados AMT e subsequente modelagem com 4 camadas.

Entretanto, existe uma incompatibilidade de interpretações entre as anomalias magnética e gravimétrica. No caso da anomalia magnética ser gerado por uma única fonte, a polaridade encontrada, mínimo norte e máximo sul, está invertida em relação ao que se espera de um corpo nessa latitude magnética e campo atual, isto é máximo norte e mínimo sul. Levanta-se quatro possibilidades para explicar este fato: 1- a fonte geradora da anomalia tem suscetibilidade bastante inferior à da rocha encaixante, o que é difícil de aceitar pois a encaixante é constituída de sedimentos; 2- o corpo foi magnetizado em outra latitude e removido para a região onde se encontra, o que parece ser muito improvável; 3- o corpo sofreu rotação após a magnetização, para o que também faltam evidências geológicas; 4- existe uma forte magnetização remanescente devido a um resfriamento de uma intrusiva básica-ultrabásica durante um campo magnético reverso.

A existência de um dique, subvertical de polaridade reversa, muito embora satisfaça a anomalia magnética, não encontra respaldo nos dados gravimétricos, a não ser que o dique seja muito delgado e situado a profundidades de centenas de metros. Um

levantamento gravimétrico regional poderia trazer subsídios principalmente na identificação da fonte magnética a maiores profundidades. Outra possibilidade a ser investigada é a de que o posicionamento dos levantamentos não seja o mais adequado. No caso da presença de diques básicos-ultrabásicos, as sondagens AMT indicariam uma camada resistiva, principalmente na direção perpendicular ao plano do dique (E_1) e possivelmente aureolas condutoras nas zonas contíguas aos diques, provenientes de fraturamentos e alterações mineralógicas, por ocasião da intrusão. Essas faixas podem apresentar resultados mais condutores na direção paralela ao plano do dique (E_1).

7. CONCLUSÕES

Dois objetivos distintos nortearam os levantamentos realizados na região das Minas de Camaquã:

- a) Na região de Rodeio Velho, procurou-se obter evidências de possíveis estruturas geolétricas que pudessem ser interpretadas conjuntamente com anomalias geomagnéticas e gravimétricas, obtidas em trabalhos anteriores, e averiguar a possibilidade de existência de um graben responsável por essas anomalias.
- b) Na região de Santa Maria, as sondagens foram realizadas em pontos onde existem furos de perfuração, para: comparar os resultados magnetotelúricos em áreas mineralizadas em sulfetos e áreas não-mineralizadas; correlacionar os dados geológicos com os da sondagem e avaliar a possibilidade de detectar camadas condutoras abaixo da camada mineralizada conhecida.

Em Rodeio Velho, as sondagens confirmam a presença de centenas de metros de sedimentos, provavelmente afetados por estruturas verticais (falhas?) e pela existência de uma camada condutora no intervalo de 450 a 650 metros de profundidade na parte central do levantamento, a qual pode ter alguma relação com a anomalia magnetométrica observada em trabalho anterior. A indicação de estruturas verticais baseia-se na existência de descontinuidades

laterais na resistividade medida das rochas, nas bordas do levantamento, em coincidência geográfica com a localização das anomalias gravimétrica e magnetométrica.

Genericamente, o modelamento dos dados de sondagens AMT foi obtido com modelos de 3 camadas: camada A, na parte superior, com alguns metros de profundidade e resistividade entre 60 a 170 ohm.m; camada B, com aproximadamente 100 a 120 m de espessura nas sondagens da parte sul e de 200 a 250 m na parte mais ao norte do levantamento e resistividades entre 35 a 75 ohm.m, e a camada C, inferior, com resistividade entre 320 a 1100 ohm.m, estendendo-se além dos limites de sensibilidade do método. Uma camada condutora D foi observada somente em duas sondagens na parte central do levantamento, entre as profundidades de 450 e 650 metros e com resistividade de 20 a 100 ohm.m.

A camada A pode estar relacionada à zona intemperizada da superfície acima do nível freático ou pode estar indicando o contato inferior do grupo Camaquã, uma hipótese menos provável. Nesse último caso, o grupo Camaquã teria pequena espessura e as camadas B, C e D corresponderiam a variações geoeletricas dentro do grupo Bom Jardim. Inferências sobre a relação da camada condutora D com a anomalia magnetométrica aguardam um aprimoramento da modelagem dessa anomalia.

O degrau rebaixado observado no contato entre as camadas B e C, entre a porção sul e norte do perfil, tanto pode corresponder a uma estrutura geológica provavelmente associada às anomalias gravimétrica e magnetométrica como, simplesmente, a um espessamento da camada B para o norte. É interessante observar que esse fenômeno não ocorre na camada A. Pseudo-seções de resistividade aparente e resultados de modelagem dos dados de sondagens indicam a possibilidade de existência de outros falhamentos, que aproximadamente coincidem com os prolongamentos das falhas mostradas no Mapa Geológico da CPRM, à NW e SE da área trabalhada. A possibilidade da existência de um graben não é confirmada, mas também não está inteiramente descartada. O embasamento cristalino, porém, não se encontra próximo à superfície.

Valores de alta resistividade somente foram observados na sondagem 20S, no extremo sul do levantamento, com uma camada pouco espessa de alta resistividade a cerca de 100 m da superfície, e na sondagem 7S, no centro do levantamento, com uma camada inferior de alta resistividade.

Em Santa Maria, nas áreas mineralizadas, o modelamento dos dados de sondagem foi também obtido a partir de 3 camadas : a camada A apresenta resistividades entre 74 e 446 ohm.m e espessuras de 50 e 90 m; uma camada condutora B intermediária, de espessura entre 30 a 54 m e resistividade de 16 a 38 ohm.m; e a camada C, inferior, com resistividades maiores do que 1000 ohm.m.

A camada geolétrica A situa-se dentro da camada de conglomerados do Membro Vargas. A camada condutora B não tem concordância litológica aparente, porém coincide com a posição da faixa mineralizada. O contato entre as camadas A e B tem grande concordância com o topo da faixa mineralizada. Não foram observadas outras camadas condutoras abaixo da B e a possibilidade de existência dessas camadas restringe-se à ocorrência de camadas de reduzida espessura e/ou de pequeno contraste com a camada C. Não foram também encontrados indicadores geolétricos que correspondessem ao Membro Mangueirão, a algumas centenas de metros de profundidade. As sondagens nas áreas não-mineralizadas não foram satisfatórias, o que impossibilitou a verificação dos objetivos traçados, sendo necessário o prosseguimento dos trabalhos magnetotelúricos. A partir desse fato e de uma possível redefinição dos objetivos iniciais junto à Companhia Brasileira de Cobre, pode-se planejar uma nova campanha de campo para o futuro.

Os resultados alcançados apresentam aspectos positivos que recomendam a continuação das investigações magnetotelúricas na prospecção de sulfetos.

É importante ressaltar, na área de Santa Maria, a coincidência na profundidade da camada condutora obtida pela sondagem AMT com a zona mineralizada e, na área de Rodeio Velho, a existência

de camadas condutoras e estruturas geolétricas provavelmente relacionadas às anomalias magnetométrica e gravimétrica.

Na área de Santa Maria é recomendável efetuar sondagens adicionais, principalmente em regiões onde sulfetos não foram detectados nos testemunhos dos furos. Na área de Rodeio Velho é interessante densificar as sondagens a partir da zona central da anomalia aeromagnética. Entretanto, com a expansão da eletrificação rural na região, o equipamento atual pode não apresentar os resultados esperados, requerendo uma fonte controlada e aquisição da variação da fase entre o campo elétrico e magnético, além das variações já mensuradas de resistividade aparente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TEIXEIRA, G; GONZALES, A.P.; GONZALES, M.A., LICHT, O.A.B. Situação das Minas do Camaquã, RS. In: Congresso Brasileiro de Geologia 30, Recife 1978. Anais. Recife, Soc. Bras. de Geologia, 1987. v.4, p. 1893-1905.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Estudos Geofísicos pelo método de polarização induzida em áreas de pesquisa próximas às Minas de Camaquã, em Caçapava do Sul, RS., São Paulo, 1981, 121 p. (Relatório 15.205)

LAKANEN, E. Scalar audiomagnetotellurics applied to base-metal exploration in Finland. Geophysics, 51 (8):1628-1646, 1986.