



Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Av. Rio Branco nº 65 - 18º andar
20090-004 – Rio de Janeiro – RJ
Tels: (21) 2112-8563

Ofício nº 012/2016/SDB/ANP-RJ

Rio de Janeiro, 29 de fevereiro de 2016.

Ao Senhor
Leonardo Tostes Palma
Gerente de Unidade de Conservação
Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul - IMASUL
Rua Desembargador Leão Neto do Carmo, s/n, quadra 3.
Campo Grande - MS
79037-100

Assunto: **Relatório Final do Levantamento Magnetotelúrico na Bacia Sedimentar do Paraná.**

Prezado Senhor,

1. Referimo-nos ao Edital da Consulta nº 011/2011-ANP e ao contrato nº 7.009/13-ANP-001.928, que tratam do levantamento magnetotelúrico e transiente eletromagnético na Bacia Sedimentar dos Parecis.
2. Referimo-nos ainda à Autorização Ambiental para Pesquisa em Unidades de Conservação nº 03/2014, relativa ao Processo IMASUL nº 23/104229/2014, emitida para o Consórcio Lasa/Nordwest Ltda. realizar o levantamento em referência na área do Parque Estadual das Várzeas do Rio Invinhema.
3. Em atendimento ao condicionante estabelecido no item 4 da referida autorização, encaminhamos em anexo a este expediente cópia do relatório final do levantamento em epígrafe para inclusão nos autos do processo.
4. Esclarecemos que, em cumprimento à Resolução ANP n.º 01 de 2015, o referido relatório deverá ser de uso restrito da IMASUL e não deverá ser disponibilizado a terceiros. Nesse caso, as instruções para acesso aos dados e relatórios do projeto podem ser obtidas no sítio eletrônico do Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP (BDEP) no endereço: www.bdep.gov.br.
5. Colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos adicionais.

Atenciosamente,

61453402/16
04/03/16

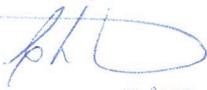

Eliane Petersohn

Superintendente de Definição de Blocos

ELIANE PETERSOHN
Superintendente
SIAPE 15474879
SDB - ANP/RJ

P/ providências. Solicito
análise com resultados
para apresentação ao
conselho do PEURI.

Em, 10/23/16



Leonardo Tostes Palma
Gerente de Unidade de Conservação
Fiscal Ambiental/IMASUL-MS
Turismólogo - CRA/MS 2969

TERMO DE JUNTADA

em 10 de maio de 2016 às 14h00

Juntada Ofício nº 052/2016/SDB

ANP-RS


(Assinatura, Nome, Prontuário e/ou OAB)

7.3 Resultados Geológicos e Geofísicos

Baseado nos dados geológicos e geofísicos disponibilizados, foi feita a interpretação das estruturas de resistividade. Os resultados são apresentados na Figura 119 e Figura 120.

Os seguintes limites geológicos foram delineados:

- base da Fm. Bauru,
- base da Fm. Serra Geral,
- topo do embasamento cristalino.

Com relação à individualização da base da Fm. Bauru, ela está delineada com uma bom nível de confiabilidade. Na parte noroeste das Linhas 1 e 2 a Fm. Bauru é espessa e é dividida em duas camadas: a camada superior muito resistiva, enquanto que a parte inferior possui baixa resistividade. A parte superior resistiva está aparentemente associada com areias secas, enquanto que a inferior condutiva indica saturação com água.

A base da camada de baixa resistividade representa a base da Fm. Bauru. A sudeste, a espessura dos sedimentos da Fm. Bauru decresce e então eles são acunhados (Figura 119 e Figura 120). Na Linha 3 os sedimentos da Fm. Bauru somente são encontrados na parte central da linha. Os resultados se ajustam bem ao mapa geológico (Figura 103).

A base da Fm. Serra Geral foi desenhada ao longo da base da camada de alta resistividade. Este limite se ajusta bem com os dados de poço (Figura 119 e Figura 120). A discrepância é insignificante e pode ser considerada aceitável, levando em consideração o fato de que os poços não estão localizados exatamente sobre as linhas. A única exceção é o poço 2-RI-0001-PR próximo da Linha MT 2. A base da Fm. Serra Geral, de acordo com o poço está significativamente mais próxima da superfície do que a camada de alta resistividade. A discrepância pode ser explicada pela localização do poço, isto é, 25 km fora da linha. Outra possibilidade é que exatamente embaixo desta parte da Linha 2 existem algumas intrusões adicionais, que se caracterizam pela alta resistividade e portanto elas não puderam ser distinguidas das rochas da Fm. Serra Geral.

A análise dos dados e a interpretação dos dados MT mostraram que as rochas da Fm. Serra Geral são heterogêneas tanto na direção lateral como na vertical. Praticamente em toda extensão existe uma camada intermediária de baixa resistividade, que também pode ser vista nos dados de perfilagem elétrica. As camadas de alta resistividade dentro da Fm. Serra Geral também são heterogêneas, existindo zonas com resistividade realçada e reduzida.

Estas cargas podem ser explicadas pela porosidade e/ou pelas variações da saturação com fluidos.

O imageamento do topo do embasamento cristalino pode ser bem interpretado ao longo de boa parte dos perfis. Todavia, em determinados locais, não ficou claramente definido devido à significativa heterogeneidade na resistividade dos sedimentos sobrepostos e das intrusões de basalto. As heterogeneidades nos sedimentos são caracterizadas por diferentes direções (orientação), o que torna a estimativa da posição do embasamento cristalino uma tarefa difícil. Nota-se que a profundidade ao embasamento varia de 4 km (extremidade das linhas) a 6 km (centro das linhas). Desta forma, o topo do embasamento cristalino é visto como uma zona de gradiente vertical com um limite real em algum lugar dentro desta zona. Finalmente, nós conseguimos delinear os limites das formações usando dados de poços como referência (Figura 119 e Figura 120).

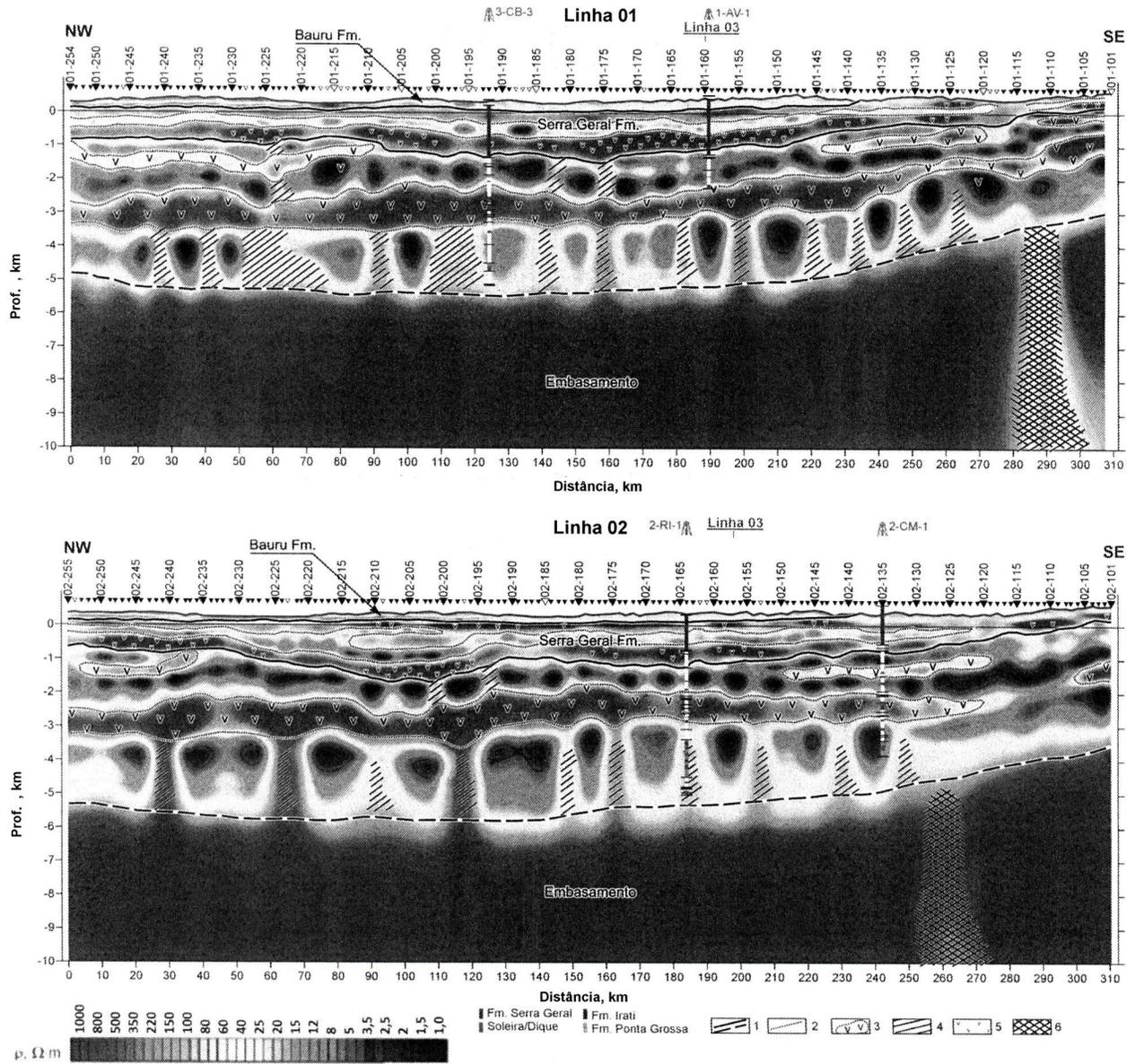


Figura 119 – Interpretação da estrutura de resistividade para as Linhas 1 e 2.

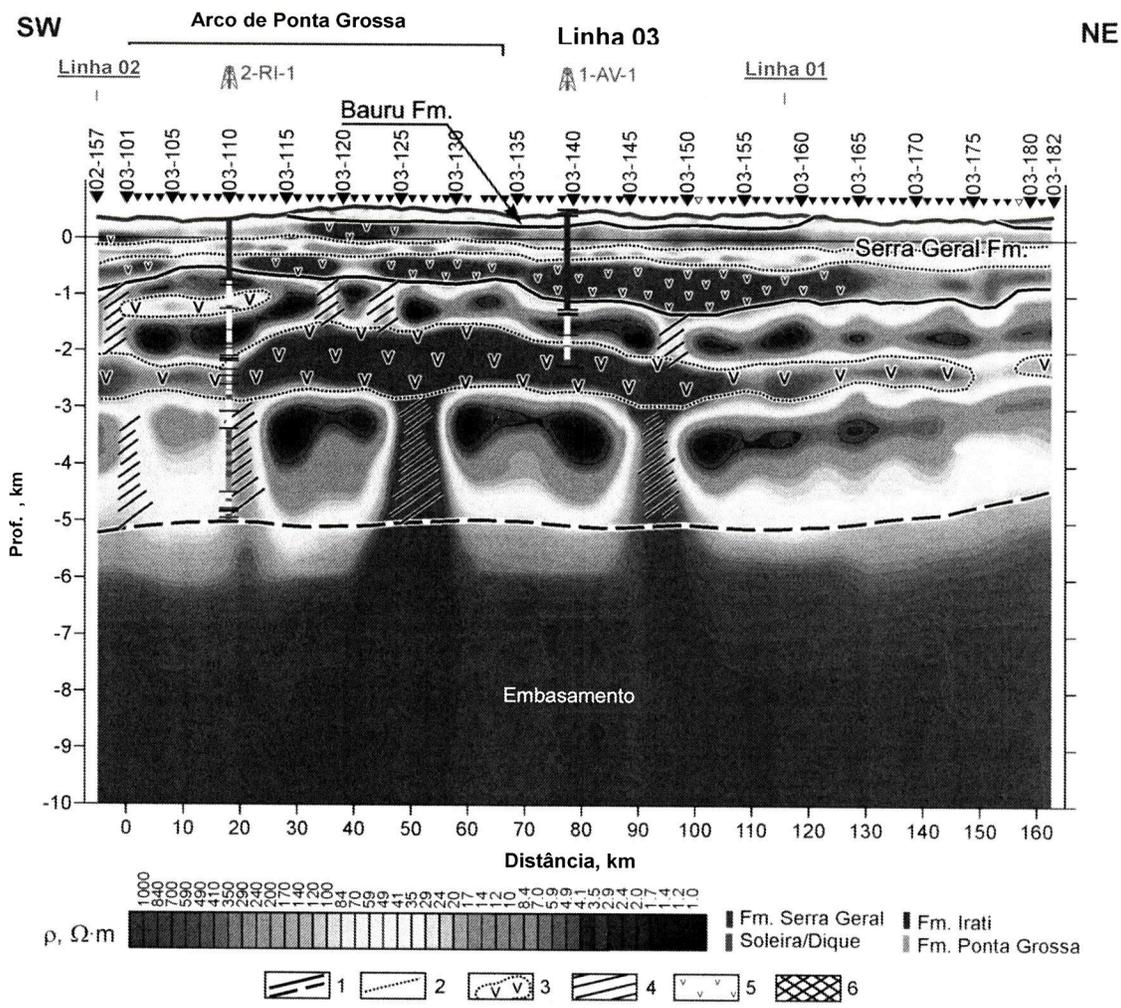


Figura 120 – Interpretação da estrutura de resistividade para a Linha 3.

A legenda das imagens acima é:

1. Os principais limites geológicos;
2. Limites geológicos auxiliares;
3. Zonas com contribuição significativa de rochas intrusivas;
4. Zonas de alteração mais intensa das rochas (soleiras/diques);
5. Zonas com significativa contribuição de rochas intrusivas dentro da Fm. Serra Geral;
6. Zona condutiva na crosta superior.

Outra camada altamente resistiva foi revelada na cobertura sedimentar do meio, no intervalo de profundidade entre 2 a 4 km (Figura 119 e Figura 120). A comparação com os dados de poço mostrou que este intervalo de profundidade é caracterizado por uma grande contribuição de rochas intrusivas (sils). Assim, a camada intermediária de alta resistividade na cobertura sedimentar da Bacia do Paraná ocorre devido ao grande número de intrusões.

Portanto, a cobertura sedimentar está dividida em duas camadas: a superior é traçada entre a Fm. Serra Geral e a camada intermediária altamente resistiva, enquanto que a segunda está entre a camada intermediária altamente resistiva e o embasamento cristalino.

Ambas as camadas são heterogêneas: existem corpos com resistividade realçada dividindo as camadas em segmentos de baixa resistividade. Estes corpos altamente resistivos estão relacionados, muito possivelmente, com as zonas das intrusões verticais (diques). Estas zonas são mais evidentes na camada inferior; a extensão horizontal das zonas resistivas é de cerca de 10 km, o que é consideravelmente menor que aquelas com baixa resistividade.

Nossa análise e o estudo de caso confirmaram que estas zonas de alta resistividade existem e foram identificadas pelos dados MT. Estas estreitas zonas de alta resistividade podem ser interpretadas como auréolas de contato devidas à intrusão de diques. Estas alterações são causadas pela alta temperatura e podem ser responsabilizadas pela redução da porosidade das rochas, causando, assim, aumento da resistividade.

Uma das vantagens da prospecção elétrica é que a resistividade dos sedimentos é determinada principalmente pela porosidade e mineralização pelos fluidos. Assim, algumas propriedades petrofísicas dos sedimentos podem ser estimadas.

Um nomograma foi calculado para estimar a salinidade do fluido e a porosidade dos sedimentos a partir de resistividade (Figura 121). Ele é baseado na dependência da resistividade na concentração de NaCl do fluido com a relação empírica de Dakhnov para o cálculo de resistividade das rochas sedimentares. Esta última relação é semelhante a bem conhecida relação de Archie, mas leva em consideração alguns parâmetros adicionais que em muitos casos, descreve mais adequadamente a resistividade da rocha [Dakhnov, 1951].

A relação de Dakhnov leva em consideração, além de resistividade do fluido e o coeficiente de porosidade, fatores tais como, a saturação com água, parâmetro estrutural, etc.. Nesta relação assumem-se que os sedimentos estão completamente saturados com fluido, e que o conteúdo de argila é baixo. Levando em consideração estas suposições a relação entre a resistividade da rocha sedimentar ρ_s e a resistividade do fluido ρ_f pode ser descrita com a seguinte fórmula simples:

$$\rho_s = P \cdot \rho_f \quad (7.2)$$

onde P é o parâmetro da porosidade:

$$P = \frac{1+0.25\sqrt[3]{1-k_p}}{1-\sqrt[3]{(1-k_p)^2}} \quad (7.3)$$

onde k_p é o coeficiente de porosidade.

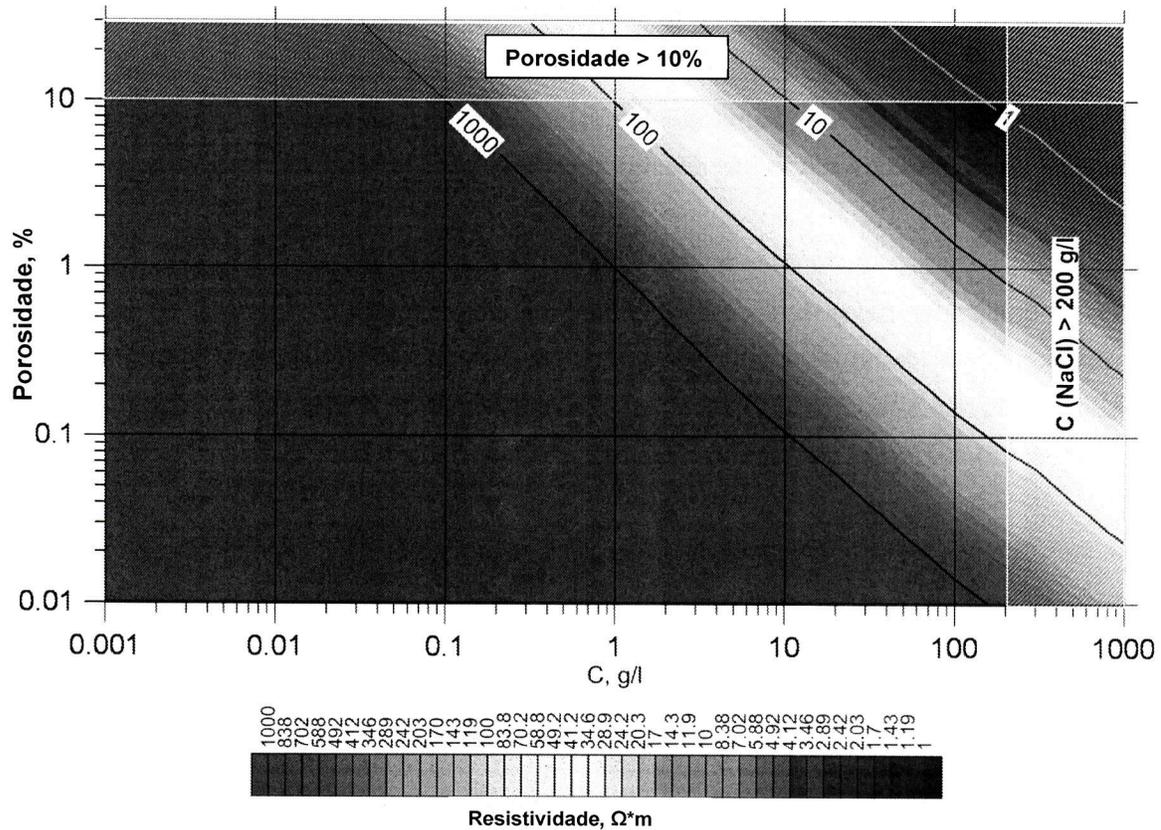


Figura 121 – Nomograma para a estimativa da salinidade do fluido de poros e a porosidade das rochas sedimentares.

Infelizmente, não há informações suficientes sobre a porosidade, conectividade dos poros e grau de saturação das rochas. Tampouco existem dados de mineralização dos fluidos nas partes profundas da bacia sedimentar do Paraná. Portanto, foi necessário aplicar alguns valores típicos usando a nossa experiência obtida em bacias sedimentares intracratônicas dos cratons do Leste Siberiano e do Leste Europeu. A principal diferença é que na Bacia do Paraná os sedimentos não contem sal. Nas bacias dos cratons do Leste Europeu e do Leste Siberiano, devido à presença de evaporitos correspondentes do Permiano e do Cambriano, que consistem predominantemente de halita, a mineralização dos fluidos porosos podem ser maiores que 200 g/l. Tal comportamento não poderemos esperar na Bacia do Paraná.

Entretanto, é bem conhecido que nas porções profundas de bacias sedimentares fechadas, na ausência do afluxo de águas meteóricas, a mineralização aumenta com a profundidade e pode atingir valores de dezenas de g/l. Algum aumento local de mineralização pode ser causado por processos hidrotermais relacionados com as intrusões.

De acordo com o nomograma, o valor de resistividade de $10 \Omega \cdot m$ corresponde à porosidade de 5 % e uma mineralização de cerca de 30 g/l. O aumento da porosidade conectada para 10 % com mesma mineralização resulta numa redução de resistividade para $4 \Omega \cdot m$. No nosso ponto de vista, estas estimativas parecem ser confiáveis para os sedimentos da Bacia do Paraná, onde os sedimentos consistem principalmente de arenitos com a adição de uma quantidade limitada de carbonatos, siltitos e pelitos.

A presença de argilas também poderia ser responsável pela baixa resistividade. Outra razão são carvões maduros termicamente alterados, que poderiam ser muito condutivos (mecanismo de condução eletrônica). A origem de tais carvões pode ter sido causada pela penetração das intrusões. De acordo com os dados geológicos, tais carvões estão presentes na Fm. Rio Bonito.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a conclusão do levantamento MT/TEM na porção central da Bacia do Paraná chegou-se as seguintes considerações e conclusões:

1. Mesmo havendo uma significativa interferência provocada por ruídos EM culturais, típicos da área em estudo, foram coletados dados MT de boa qualidade numa banda de longo período. Isto foi possível devido ao tempo de registro estendido (cerca de 40 horas) e a aplicação de software avançado especializado, desenvolvido pela Nord-West Ltd (EPI-Kit e MT-Corrector).
2. A análise dos dados MT mostrou um comportamento complicado das respostas MT, causadas pela estrutura heterogênea de resistividade da cobertura sedimentar, que é típica da Bacia do Paraná. A feição mais importante da seção de resistividade, responsável pela anisotropia do tensor de impedância, é a existência de uma camada intermediária de baixa resistividade no meio da cobertura sedimentar. Sendo atribuída especial atenção para a seleção dos melhores componentes do tensor de impedância para uma inversão 2D, bem como para a estratégia do processo de inversão consistindo de vários estágios sequenciais.
3. A existência de uma camada intermediária resistiva e o seu papel fundamental no comportamento do tensor MT foi comprovada nos estudos de casos. As heterogeneidades são formadas por *horsts* no topo de camada intermediária resistiva e por diques altamente resistivos entre as camadas de alta resistividade. Estas últimas são as razões mais importantes da anisotropia observada nas respostas MT, conforme foi confirmado pelo atual projeto.
4. A dimensionalidade da função de transferência MT é determinada pelas estruturas intrusivas, como o Arco de Ponta Grossa (NW-SE), enquanto que a influência da forma da bacia sedimentar e seus limites (SW-NE) não são importantes na banda de período em estudo. Assim, para futuros estudos MT na Bacia do Paraná, as linhas de aquisição deveriam ser orientadas NE-SW (paralelas à MT Linha 3 do nosso estudo).
5. A análise dos dados MT e a inversão 2D tornaram possível o estudo das principais feições da cobertura sedimentar da Bacia do Paraná, incluindo sua heterogeneidade interna lateral e vertical:
 - Fm. Bauru com imageamento de rochas de condutividade relativamente baixa; as áreas de seu acunhamento foram definidas;

- As rochas heterogêneas da Fm. Serra Geral foram estudadas. Elas consistem de duas camadas altamente resistentes, divididas por uma camada intermediária de baixa resistividade. As camadas altamente resistentes são caracterizadas por uma heterogeneidade lateral significativa: a resistividade varia de centenas a milhares de $\Omega\cdot m$ indicando conteúdo diferente de basaltos não intemperizados;
 - A existência de uma camada intermediária altamente resistente no meio de uma cobertura sedimentar com resistividade relativamente baixa. Caracterizada por uma porção significativa de intrusões (*sills* e diques). Esta camada é mais pronunciada na parte central da Linha 3 correspondendo ao Arco de Ponta Grossa;
 - Os sedimentos sobrejacentes e subjacentes da camada intermediária altamente resistente são caracterizados por uma baixa resistividade de cerca de 10 – 30 $\Omega\cdot m$ e inclusive menos. Tais valores de resistividade são típicos de sedimentos terrestres, com porosidade de cerca de 5 – 10%.
6. A superfície do embasamento cristalino foi imageada com maior incerteza, devido à estrutura de resistividade sobrejacente heterogênea, a profundidade do embasamento é de 4–6 km na maior parte da bacia, enquanto que na parte sudeste da área do levantamento a profundidade do embasamento cristalino diminuiu para cerca de 3 km.
7. Além da cobertura sedimentar foi estudada a estrutura de resistividade da crosta da Terra. A crosta superior está a uma profundidade de cerca de 15 – 20 km na maior parte da área do levantamento e é altamente resistente ($>1000 \Omega\cdot m$), enquanto que a camada crustal inferior é caracterizada por uma resistividade anormalmente baixa (20 – 50 $\Omega\cdot m$). Além da camada crustal inferior condutiva, foram delineadas zonas condutivas localmente, com resistividade de cerca de 10 $\Omega\cdot m$. Algumas destas zonas condutivas possuem raízes profundas no manto superior. A estrutura de resistividade crustal na área de estudo corresponde a outros dados disponíveis da Bacia do Paraná.
8. O levantamento MT-TEM provou a eficiência do método ajudando a obter novas informações sobre a estrutura geológica da cobertura sedimentar e da crosta da Terra, na parte central da Bacia do Paraná. Linhas MT-TEM adicionais paralelas à linha 3 podem ser sugeridas como uma próxima etapa complementar a este levantamento.

