



Consultoria Geofísica EEG Ltda.

Rua do Retiro, 505

1º andar - Anhangabaú

CEP: 13209-000 - Jundiaí (SP)

Brasil

Progeo Engenharia Ltda.

Rua Maria Beatriz, 894

Bairro Havaí - Belo Horizonte (MG)

UHE ITAOCARA I (RJ)

Estudo geofísico através do método sísmico de refração
em conjunto com ensaios geelétricos

Relatório técnico

Outubro de 2015

www.eeg-geofisica.com

marco.battaini@eeg-geofisica.com
info@eeg-geofisica.com
Skype: mururata-58

Tel: (11) 4497 1470
Cel (Tim): (11) 98450-7848
Cel (Vivo): (11) 99861-7501

ÍNDICE

1. Premissa
2. Características da pesquisa
3. O método sísmico à refração
 - 3.1 Introdução
 - 3.2 Unidade de aquisição de dados
 - 3.3 Dispositivo de recepção
 - 3.4 Dispositivo de energização
 - 3.5 Elaboração dos dados
4. O método de prospecção geométrica
 - 4.1 A Tomografia Elétrica Multipolar 2D (*"configuração Dipolo-Dipolo em geometria variável"*)
 - 4.2 Aquisição dos dados geométricos
 - 4.3 Tratamento dos dados geométricos
5. O equipamento utilizado
 - 5.1 Perfis sísmicos de refração
 - 5.2 Tomografias Elétricas Multipolares 2D
6. Resultados e conclusões

ANEXOS

- Anexo 1: Localização das linhas geofísicas
- Anexo 2: Perfis sísmicos de refração
- Anexo 3: Tomografias Elétricas Multipolares 2D
- Anexo 4: Análise comparada dos resultados das duas técnicas

FIGURAS

- Figura 1: Técnica sísmica de refração
- Figura 2: Localização dos pontos de energização do perfil sísmico unitário
- Figura 3: Esquema de realização das linhas sísmicas
- Figura 4: Esquema de realização das linhas elétricas
- Figura 5: Esquema de realização de um caminhamento dipolo-dipolo
- Figura 6: Esquema de realização de uma linha geoeétrica a passo 10 m

TABELAS

- Tabela 1: Características comparadas das linhas geofísicas

FOTOS

- Foto 1: Localização da área da pesquisa
- Fotos 2 e 3: Panorâmicas da área investigada
- Fotos 4 e 5: GPS Garmin 60-CSx
- Fotos 6 até 9: Exemplos de sismogramas de campo
- Fotos 10 até 13: Trabalho de campo / Sísmica de refração
- Fotos 14 até 17: O resistímetro durante as leituras
- Fotos 18 até 25: Trabalho de campo / Resistividade
- Foto 26: Sismógrafo ABM BR-24
- Foto 27: Cabos de conexão e sensores de medida (geofones)
- Fotos 28 e 29: Marreta e chapa de alumínio
- Fotos 30 e 31: Resistímetro ABM AL-48 c
- Fotos 32 e 33: Cabos multipolares a passo 10 m

1. Premissa

Nos dias entre 16 e 27 de Setembro de 2015, a pedido da empresa Progeo Engenharia Ltda. de Belo Horizonte (MG) foi realizado um levantamento geofísico multidisciplinar em uma área de próxima edificação da UHE Itaocara I prevista para ser implantada no Rio Paraíba do Sul (Município de Itaocara-RJ) com o propósito de determinar as características físico-técnicas dos terrenos até uma profundidade máxima de aprox. 40 m.

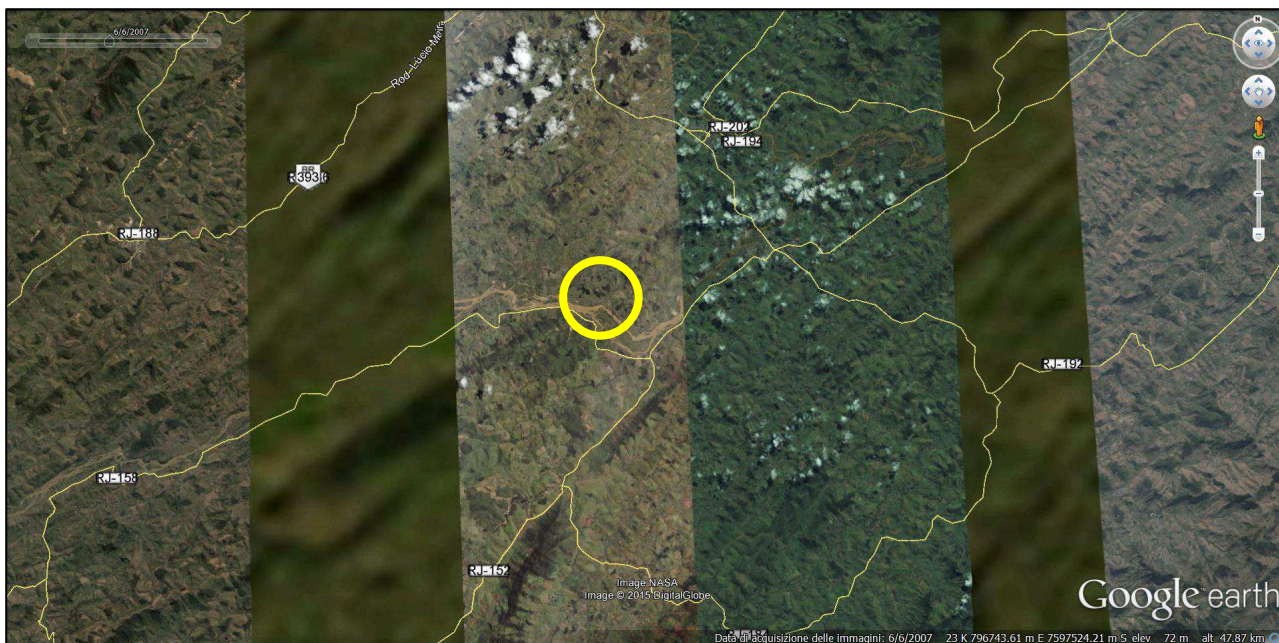


Foto 1 - Localização da área da pesquisa

As metodologias aplicadas para estudar as características físicas do subsolo foram:

- ⊗ A Técnica Sísmica à Refração;
- ⊗ A Tomografia Elétrica Multipolar 2D, superposta aos perfis sísmicos.

As Fotos 2 e 3 mostram panorâmicas da área estudada.

No específico, os propósitos deste levantamento foram:

1. Adquirir, por meio de levantamentos não destrutivos realizados na superfície, informações de auxílio ao entendimento da geologia local (determinação dos tipos litológicos presentes e das estruturas geológicas na sub-superfície);
2. Avaliar a espessura e as características da camada de “cobertura” superficial;

Consultoria Geofísica EEG Ltda.

3. Definir, em profundidade, o andamento e as características morfológicas e físicas do substrato rochoso (*bed-rock*) e determinar a eventual presença de acidentes tectônicos, falhas e variações laterais de resistividade prevalentemente no seu interior;
4. Diferenciar os terrenos em base aos parâmetros Vp (velocidade das ondas compressivas) e resistividade elétrica para chegar à melhor compreensão possível da estrutura e da geometria dos terrenos em profundidade;
5. Avaliar, em geral, as condições e características geológicas do subsolo no local da futura obra.



Fotos 2 e 3 - Panorâmicas da área investigada

Consultoria Geofísica EEG Ltda.

Os pontos para as medições foram escolhidos em conjunto com a Contratante, com base nas suas necessidades.

Não foi necessária a fase preliminar de abertura de picadas para o levantamento, tratando-se de uma área relativamente limpa, porém algumas linhas foram melhoradas pelo próprio pessoal da Contratada EEG para facilitar o trabalho.

O levantamento geofísico de campo foi realizado pelo técnico da Contratada EEG Sr. Cláudio Gões, coadjuvados por dois funcionários da empresa e um ajudante proporcionado pela Contratante.

A interpretação dos dados foi efetuada pelo Dr. Bruno Vassallo, físico, Responsável Científico da EEG enquanto o confeccionamento do presente relatório foi realizado pelo Dr. Marco Battaini, geólogo, Diretor Técnico.

As linhas sísmicas de refração associadas com tomografias elétricas vão integrar os resultados das perfurações e permitir uma sensível economia de tempo e custos com respeito a um programa de estudo tradicional baseado exclusivamente em um programa de sondagens rotativas e/ou provas SPT.

Agradecemos a colaboração prestada pela Contratante, particularmente o Dr. Milton Silvério Costa, Chefe de Produção, por ter facilitado e auxiliado o nosso serviço em campo.

2. Características da pesquisa

O traçado das linhas geofísicas se apresenta no Anexo 1: cada linha foi levantadas com as duas técnicas, superpostas, para permitir uma comparação direta e integrada dos resultados.

No total foram levantadas 12 linhas sísmicas e geolétricas a passo 10 m, por um total de 4.840 m (S) + 4.750 m (E) de caminhamento (detalhes na Tabela 1).

Tabela 1 - Características comparadas das linhas geofísicas

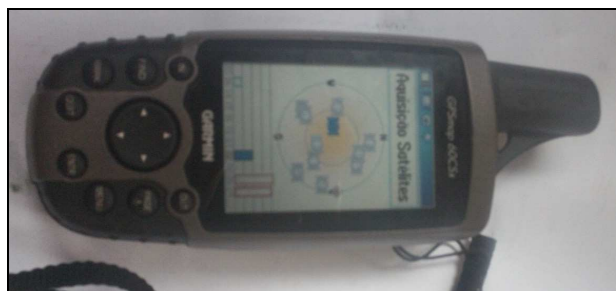
Linhas	Nome	Coordenadas (Datum SAD 69) 23 K		Comprimento (m)		Orientação	Passo (m)	Resistividade	
		x	y	Sismica	Eletrica			Valores válidos	Erro final de inversão (%)
L-1	L1-Início	795228	7598444	500	470	N 60°	10	872	28,2
	L1-Fim	795616	7598656						
L-2	L2-I	795371	7598414	480	470	N 319°	10	638	15,6
	L2-F	795065	7598771						
L-3	L3-I	795484	7598482	240	230	N 337°	10	317	22,9
	L3-F	795402	7598686						
L-4	L4-I	795341	7598371	480	470	N 316°	10	955	14,0
	L4-F	795018	7598704						
L-5	L5-I	794760	7598346	720	710	N 139°	10	1550	21,8
	L5-F	795204	7597826						
L-6	L6-I	794510	7597945	170	170	N 147°	10	102	27,8
	L6-F	794594	7597812						
L-7	L7-I	794769	7598077	480	440	N 50°	10	875	13,6
	L7-F	795093	7598336						
L-8	L8-I	795228	7598444	360	390	N 317°	10	752	9,6
	L8-F	794975	7598729						
L-9	L9-I	795046	7598567	240	230	N 42°	10	333	16,3
	L9-F	795198	7598729						
L-10	L10-I	794644	7598160	350	350	N 50°	10	640	20,1
	L10-F	794909	7598373						
L-11	L11-I	794946	7597932	350	350	N 47°	10	602	27,8
	L11-F	795203	7598159						
L-12	L12-I	794998	7597798	470	470	N 50°	10	954	14,4
	L12-F	795357	7598086						
Totais				4.840	4.750				
Medias								716	19,3

As coordenadas UTM de referência dos pontos de início e fim e todas as características das linhas estão indicadas na Tabela 1, de acordo com o Datum de referencia SAD-69.

Os pontos de início e fim das linhas foram localizados em campo por meio de GPS Garmin 60-CSx (Fotos 4 e 5) e marcados com estacas de madeira para facilitar o futuro reconhecimento.

Os resultados se apresentam nos Anexos 2, 3 e 4.

Consultoria Geofísica EEG Ltda.



Fotos 4 e 5 - GPS Garmin 60-CSx

Pelas informações recebidas, na área estudada ocorrem, principalmente, rochas da Unidade Itaperuna constituída por granulitos, migmatitos e gnaisses quartzo-feldspáticos, a constituir o embasamento “granítico” da região.

O sistema de fraturamento NE-SW, responsável pelo traçado do rio Paraíba do Sul no local do futuro empreendimento por vezes apresenta também lineamentos na direção NW-SE, ortogonal ao lineamento gnáissico. São sistemas verticalizados de caráter regional que poderão condicionar diretamente a implantação da futura Usina em especial no que se refere à compartimentação do maciço rochoso, com aumentos localizados do grau de fraturamento.

Nessas condições, a ferramenta geofísica torna-se útil para complementar as campanhas de sondagens diretas e a informação geológica sempre e onde se necessita de conhecimento de grande profundidade para elaboração de um modelo geológico conceitual de uma área.

Os resultados (logs) de algumas das perfurações efetuadas no local (Furos SM-101, 102, 105 e 106) foram devidamente comunicados à EEG para proceder com a calibração (balizamento) dos dados geofísicos.

3. O método sísmico à refração

3.1 Introdução

O método sísmico à refração utiliza a determinação da velocidade de propagação das ondas longitudinais (ondas P) no subsolo. Tais ondas são geradas e se propagam no terreno cada vez que este último é submetido a solicitações de tipo artificial (explosões ou marretadas).

A técnica consiste na medida dos tempos de primeiras recepções das ondas sísmicas geradas em um ponto na superfície (ponto de disparo) em correspondência de uma sequência de sensores (geofones) dispostos alinhadamente na superfície topográfica (Figura 1).

O estudo da propagação das ondas sísmicas permite avaliar as propriedades mecânicas e físicas dos terrenos, a solidez dos materiais por essas atravessados, a provável composição litológica, o grau de fraturamento, a geometria das primeiras unidades do subsolo e a profundidade do substrato (“*bed-rock*”), entre outras características.

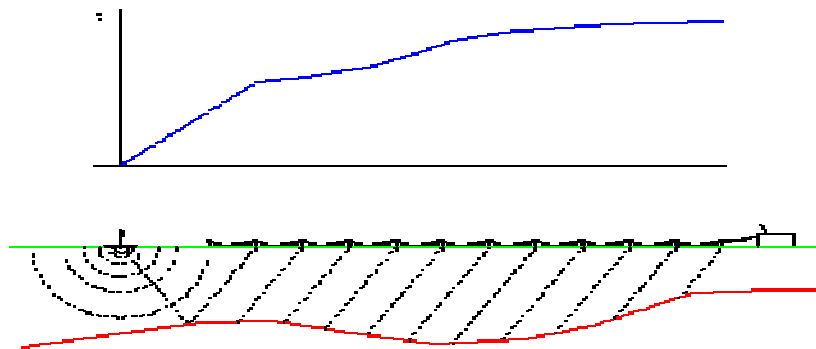


Figura 1 - Técnica sísmica de refração

As medidas de refração foram realizadas, além de outros propósitos, para conhecer o parâmetro “ V_p ” e com isso diferenciar as características dos terrenos.

3.2 Unidade de aquisição de dados

Para registrar os impulsos sísmicos é necessário dispor de um equipamento eletrônico multicanal, com baixíssimo ruído interno, alta velocidade de amostragem e suporte magnético para o registro dos dados: para esta finalidade foi utilizado o sismógrafo ABM BR-24 (Foto 26), com 24 canais em aquisição simultânea.

Os dados são gravados depois de oportuna amplificação, filtragem e conversão analógico/digital.

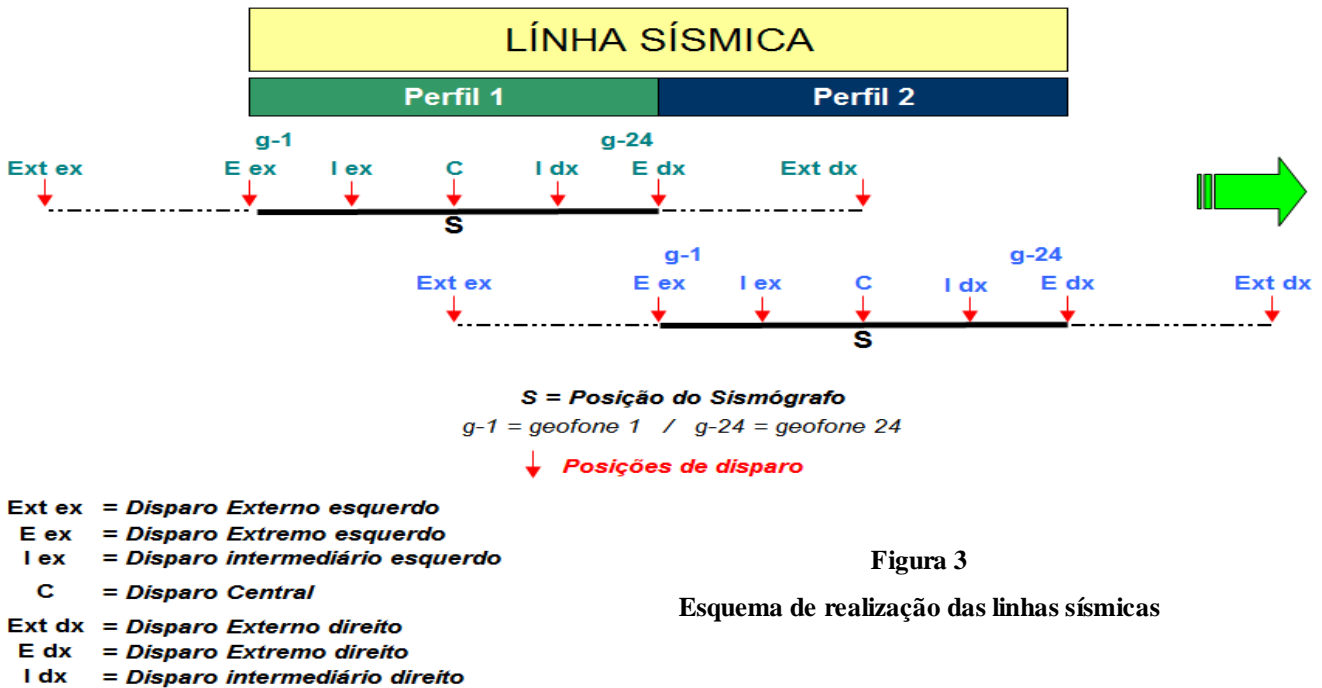


Figura 3

Esquema de realização das linhas sísmicas

Observações sobre a eventual presença de nível freático a pequena profundidade na área da pesquisa:

A eventual presença de um nível freático a pequena profundidade na área de pesquisa vai gerar uma interferência nas medidas sísmicas. A pesquisa sísmica pode ser realizada dando-se as seguintes condições e tomando as seguintes providências:

- 1) O nível freático apresenta, normalmente, uma velocidade sísmica de 1.500 - 1.700 m/s;
- 2) O contraste de velocidade gerado por um capeamento fino em contato direto com um substrato é geralmente elevado e bem detectado pela sísmica, porém, caso o capeamento esteja saturado em água e/ou o substrato for intensamente alterado e/ou fraturado, o contraste de velocidade pode diminuir sensivelmente, e com isso, a possibilidade e a precisão na definição da profundidade do próprio substrato.
- 3) O problema pode ser em parte resolvido aplicando um passo inter-geofônico maior daquele que seria normalmente utilizado em ausência de nível freático. Por exemplo:
 - Para alcançar os 10 m com o maior detalhe possível, o passo inter-geofônico ótimo seria 2 m;
 - Em presença de perfil saturado, o contraste entre o capeamento e o substrato diminui e, dependendo da resposta do terreno, poderá ser necessário aplicar um passo maior (5 m) para chegar ao resultado esperado.
- 4) A pesar destes esforços, caso o substrato apresente velocidades sísmicas inferiores a 2.000 m/s poderia resultar de difícil detecção.

Esse é fundamentalmente o motivo da utilização, nessa pesquisa, do passo 10 m entre os geofones.

Consultoria Geofísica EEG Ltda.

3.5 Elaboração dos dados

Utilizando as distâncias entre o ponto de disparo e o ponto de recepção e os tempos de primeira recepção dos sinais sísmicos, são elaboradas as dromócronas (curvas tempo-distância), das quais se obtém, através de um oportuno programa de cálculo, as velocidades reais das camadas, as suas espessuras, profundidade, forma e inclinação.

O procedimento de elaboração é detalhadamente descrito nos passos seguintes:

- ⊗ Transferência dos sismogramas ao programa de seleção dos tempos de primeira recepção;
- ⊗ Emissão das dromócronas medidas, seja em forma gráfica como em forma legível para o programa de elaboração tradicional baseado no algoritmo GRM (*“Generalized Reciprocal Method”*);
- ⊗ Imissão dos valores das quotas dos geofones e dos disparos no programa de interpretação GRM e leitura das dromócronas medidas;
- ⊗ Elaboração dos dados e interpretação tradicional;
- ⊗ Emissão das seções interpretadas: nota-se que as velocidades sísmicas atribuídas a uma camada são caracterizadas por uma gradiente nula na direção vertical (são constantes na vertical para qualquer camada);
- ⊗ Emissão de um arquivo com a localização e a cota de todos os pontos de disparo e dos geofones, legível pelo programa de iteração tomográfica e de *“ray-tracing”* (traçado do percurso dos raios sísmicos);
- ⊗ Emissão do modelo bidimensional do terreno extraído do procedimento GRM em forma de uma matriz a células de dimensão definida (inferiores ao metro), adaptada para ser lida pelo programa de *“ray-tracing”* e de elaboração tomográfica. A interpretação GRM vem, portanto, fornecer o modelo inicial das velocidades do terreno, necessário para ativar as iterações do modelo matemático bidimensional (modelização tomográfica). O terreno é, portanto, subdividido em células de dimensões mínimas, cada uma dotada de uma diferente velocidade sísmica e cada uma pronta a ser modificada pelo procedimento de iteração tomográfica com o objetivo de reduzir ao mínimo o erro entre as dromócronas calculadas (com base no modelo do terreno) e aquelas efetivamente medidas durante a prospecção;
- ⊗ O arquivo que contém as posições e as cotas é lido pelo programa tomográfico juntamente com o arquivo contendo a matriz de velocidade (o procedimento de *“ray-tracing”* e de controle são ativados);
- ⊗ Em primeiro lugar é controlada a correção das posições dos sensores e dos disparos e, portanto, são visionados os percursos dos raios sísmicos e avaliado o primeiro *“fitting”* com os dados medidos, com o propósito de iniciar o procedimento tomográfico sem a presença de erros sistemáticos previamente corrigíveis;

Consultoria Geofísica EEG Ltda.

- ⊗ O objetivo do procedimento iterativo tomográfico é reduzir o erro entre os tempos das dromócronas calculadas com base no modelo em relação às aquelas efetivamente medidas. Isto ocorre por aproximações sucessivas (iterações) controladas pelo operador, que pode modificar a escolha dos muitos coeficientes que influenciam o cálculo como também o mesmo procedimento utilizado para realizar a minimização dos erros;
- ⊗ O resultado final será uma matriz representativa do terreno investigado constituída por células, cada uma caracterizada por uma velocidade sísmica que, em total, apresenta um erro mínimo se utilizada no procedimento de traçado dos raios sísmicos;
- ⊗ Essa matriz é visualizada através de um oportuno programa de “contouring” utilizando, se necessário, diversas cores para diferentes velocidades.

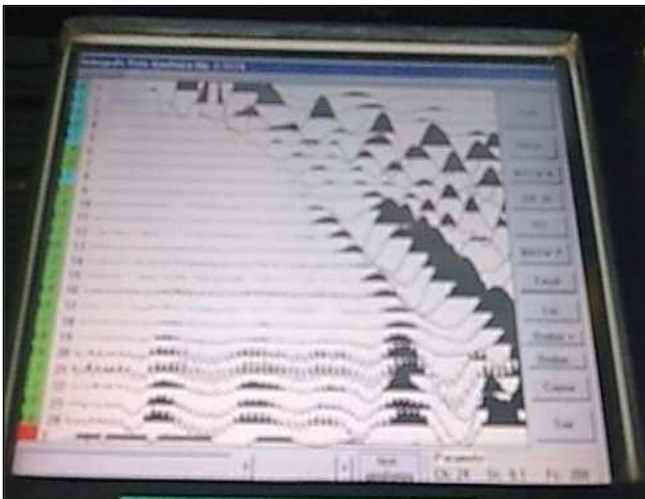


Foto 6 - Exemplo de sismograma “Extremo”

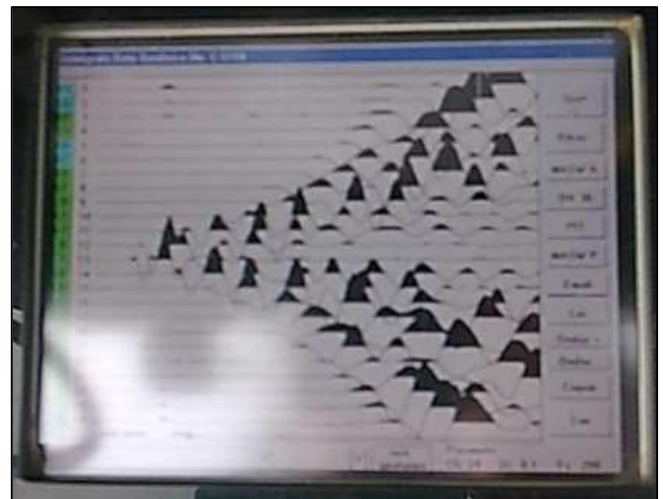


Foto 7 - Exemplo de sismograma “Central”

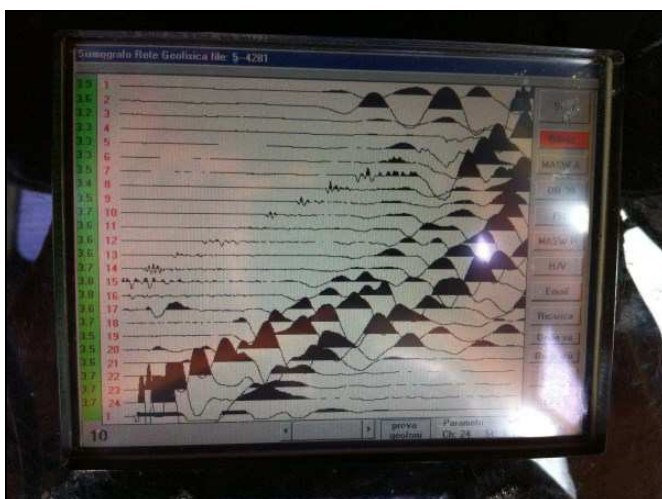


Foto 8 - Exemplo de sismograma “Extremo”

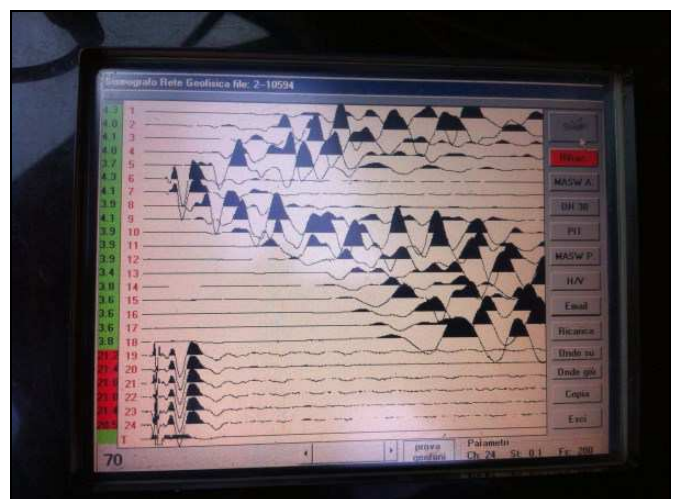


Foto 9 - Exemplo de sismograma “Intermediário”

Os modelos elaborados para as linhas sísmicas estão apresentados no Anexo 2. As Fotos 10 até 13 mostram algumas fases do levantamento sísmico em campo.

Consultoria Geofísica EEG Ltda.

Para esta área se dispõe de um levantamento plani-altimétrico em AutoCAD, o qual permitiu a reconstrução da topografia dos perfis e as correspondentes correções topográficas.



Fotos 10 até 13 - Trabalho de campo / Sísmica de refração

4. O método de prospecção geométrica

Para estudar as características de permeabilidade dos terrenos foi aplicada também a técnica denominada “Tomografia Elétrica Multipolar 2D”, superposta aos perfis sísmicos e descrita a continuação.

Os métodos de prospecção geométrica permitem a reconstrução estratigráfica do subsolo utilizando, como parâmetro físico, a resistividade elétrica das formações que o constituem. A resistividade é um parâmetro independente das características geométricas das formações litológicas, e é definida como a resistência elétrica por unidade de volume. Cada corpo rochoso apresenta um amplo campo de variabilidade dos próprios valores de resistividade, dependendo da sua homogeneidade, do nível de alteração e, para rochas litóides, do grau de fraturamento.

Por exemplo, em caso de terrenos soltos, quais os depósitos aluviais recentes, a resistividade depende da granulometria, dos fluidos neles contidos e do conteúdo em sal. Desta regra fazem exceção as argilas que, mesmo quando compactas, têm sempre valores de resistividade extremamente baixos: isso é devido, principalmente, às características do retículo cristalino dos minerais que as compõem e ao seu grau de saturação.

4.1 A Tomografia Elétrica Multipolar 2D (“configuração dipolo-dipolo em geometria variável”)

As Tomografias Multipolares Elétricas 2D são realizadas medindo os valores do campo elétrico em correspondência com um alinhamento de até 48 elétrodos equidistantes.

A configuração aplicada nessa pesquisa é conhecida como “*dipolo-dipolo a geometria variável*”, um dispositivo com incremento proporcional do comprimento dos dipolos MN de medida de potencial conforme a distância.

As medidas de potencial são realizadas em sequência em várias duplas de elétrodos “M-N” colocados em linha, oportunamente selecionados, de forma automática, pelo resistímetro (equipamento de medição - Fotos 30 e 31).

A inter-distância (passo) entre os elétrodos de potencial depende do detalhe que seja necessário alcançar e da profundidade do terreno a ser estudado: em nosso caso, conforme orientação da Contratante, foi utilizada uma inter-distância de 10 m, para pesquisar uma profundidade máxima de aproximadamente 40-50 m com um detalhe decrescente com a profundidade.

Nesta configuração, o campo elétrico é gerado:

- ⊗ Por um primeiro polo de corrente chamado “A”, colocado ao extremo da linha de medida;
- ⊗ Por um segundo polo de corrente chamado “B” (que atua conjuntamente com o “A”) colocado em seguida.

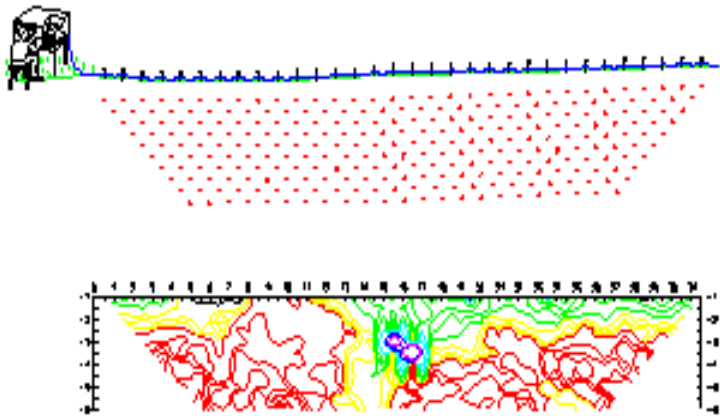
Consultoria Geofísica EEG Ltda.

As seções geolétricas 2D fornecem um corte vertical do terreno com uma grande quantidade de dados de resistividade (mediamente em torno de 716 valores úteis por perfil unitário - Tabela 1), com mediamente 14 níveis de profundidade.

A completa descrição da técnica apresenta-se ao seguinte endereço eletrônico: <http://www.eeg-geophysics.com/seziona.php?seziona='Tomografias%20elétricas'>.

4.2 Aquisição dos dados geolétricos

O registro dos dados, tecnologicamente muito complexo embora relativamente simples de um ponto de vista operacional, é realizado por uma instrumentação apropriada em grau de adquirir até 48 canais simultaneamente e de comandar automaticamente a inversão da corrente (Resistímetro ABM AL48-c).



O esquema de aquisição de dados (Figura 4) é aplicado seja para os dipolos a progressivas maiores do polo de corrente, como para dipolos a progressivas menores, para um total máximo de 20 medidas por polo de corrente.

Figura 4 - Esquema de realização das linhas elétricas

Os dipolos “MN”, distribuídos em duplas de eletrodos em linha, registram a diferença de potencial induzida no terreno pela passagem da corrente entre “A e B”. A configuração básica indicada na Figura 5 é logo deslocada homoganeamente e automaticamente por todo comprimento da linha.

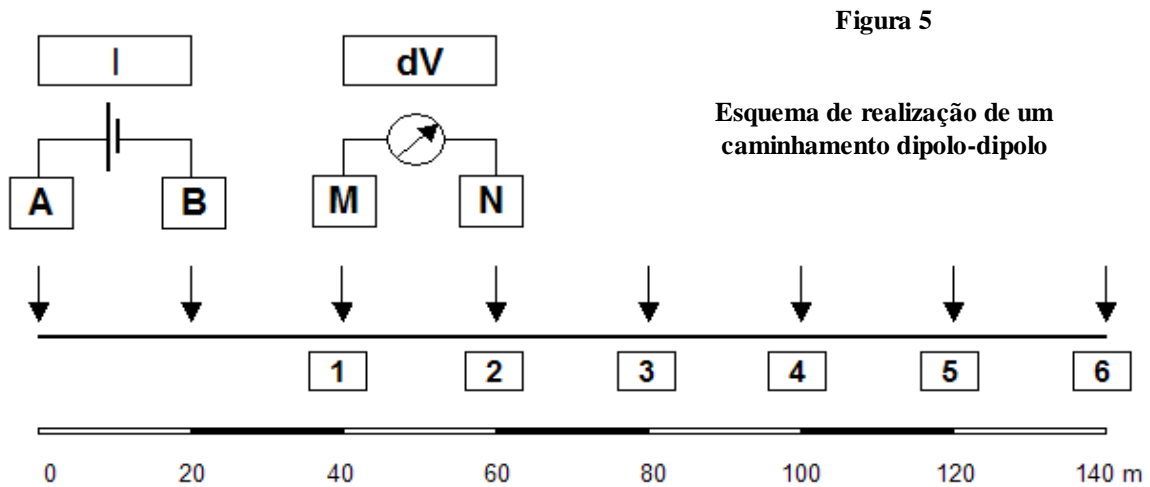
As medidas de potencial são realizadas em correspondência de cada dupla de eletrodos MN, selecionados oportunamente de forma automática pelo equipamento e controlados manualmente pelo operador geofísico.

Mantendo fixa a posição do dipolo “AB”, medidas progressivas dos dipolos MN a distâncias progressivamente crescentes correspondem a níveis diferentes e sempre mais profundos do terreno.

A completa descrição da técnica apresenta-se ao seguinte endereço eletrônico: <http://www.eeg-geophysics.com/seziona.php?seziona='Tomografias%20elétricas'>.

Consultoria Geofísica EEG Ltda.

A utilização da “geometria variável” pelos dipolos de medida de potencial M-N permite medir valores significativos inclusive para distâncias próximas ao comprimento total do arranjo elétrico.



O espaçamento dos dipolos de medida aumenta com a distância do polo de corrente, acompanhado por um aumento progressivo e linear do potencial lido.

Todos os 48 elétrodos utilizados foram enterrados em furos previamente realizados e preenchidos por uma solução de água e sal de cozinha (NaCl), para diminuir a resistência de contato e facilitar ainda mais a passagem de corrente no terreno.

Todas essas providências permitiram obter quase sempre medidas de boa qualidade, alcançando ao mesmo tempo, a profundidade prevista: as Fotos 14 até 17 mostram a resposta do equipamento durante a aquisição dos dados brutos.

São primeiramente adquiridos dados brutos de resistividade aparente: a resistividade aparente é definida como relação entre diferença de potencial ao dipolo de medida e a corrente introduzida no terreno, relação que é multiplicada por um oportuno fator geométrico dependente da posição recíproca dos elétrodos.

Se suponhamos executar as medidas sobre um semi-espaço de resistividade homogênea, o fator geométrico K seria o valor que serviria para tornar a relação $dV/I \cdot K$ igual ao valor de resistividade do semi-espaço. Variando dV/I para os diversos dipolos, K é um valor que depende somente da posição dos elétrodos.

Quando uma linha ultrapassar o comprimento do perfil unitário (470 m para o passo 10), ela é levantada conforme o esquema da Figura 6: dessa forma, efetuando um recobrimento de 50%, a linha é restituída sem soluções de continuidade e com o maior detalhe possível.

As Fotos 18 até 25 ilustram algumas fases do trabalho de campo.

Consultoria Geofísica EEG Ltda.

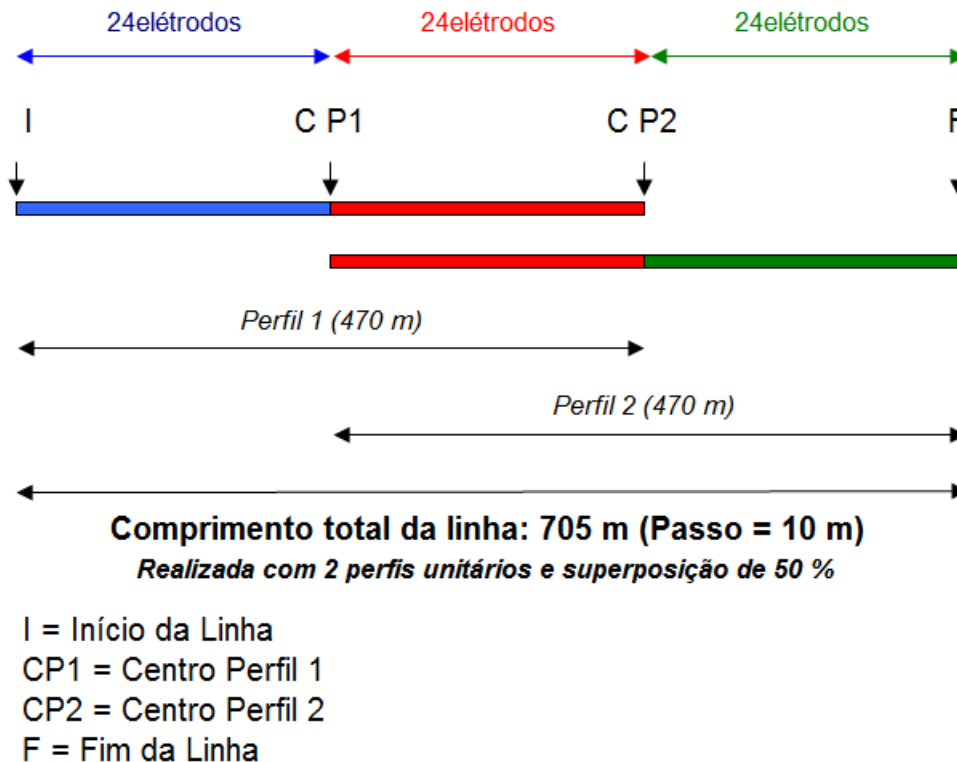


Figura 6 - Esquema de realização de uma linha geodésica a passo 10 m

4.3 Tratamento dos dados geodésicos

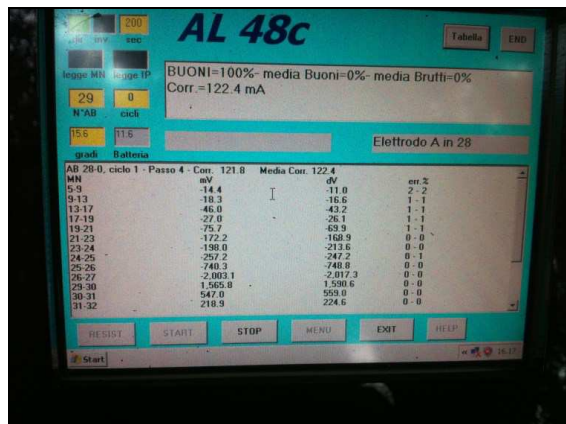
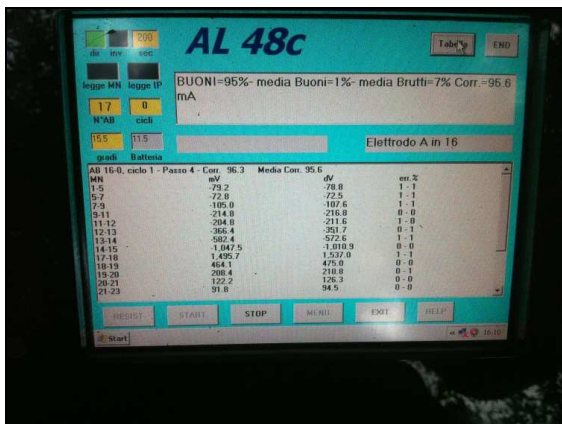
As linhas geodésicas foram elaboradas e restituídas em forma de perfis 2D (Anexo 3).

Para esta área se dispõe de um levantamento plani-altimétrico em AutoCAD, o qual permitiu a reconstrução da topografia dos perfis e as correspondentes correções topográficas.

Os dados de resistividade aparente foram tratados com uso de softwares de inversão e modelação bidimensional de resistividade em grau de reconstruir os valores reais de resistividade por inversão numérica 2D (programa "Res2Dinv").

Os gráficos do Anexo 3 ilustram os resultados da pesquisa geodésica na modalidade 2D em relação à seguinte modalidade representativa:

- ⊗ O primeiro par de seções, na parte alta de cada figura, mostra as resistividades aparentes calculadas e medidas para os "dipolos diretos" do Modelo de Resistividade Real dos Terrenos;
- ⊗ O segundo par de seções de cada figura, mostra as resistividades aparentes calculadas e medidas para os "dipolos inversos" do Modelo de Resistividade Real dos Terrenos.



Fotos 14 até 17 - O resistivímetro durante as leituras

Observações:

As seções descritas ilustram os valores das resistividades aparentemente medidas, portanto, os dados experimentais.

Em correspondência de cada uma dessas medidas é também desenhada uma pequena cruz branca. Notam-se até 12 níveis de dados correspondentes a profundidades diferentes e logaritmicamente crescentes. Cada uma das cruzes brancas refere-se a um diferente par de medidas de resistividade.

A mais ou menos perfeita coincidência das figuras à esquerda (calculadas) e à direita (medidas) corresponde graficamente ao erro final do processo de iteração (quantificado numericamente na legenda do Anexo 3 e na Tabela 1).

- ⊗ O modelo de resistividade real, mostrado na figura grande, é o resultado da inversão numérica dos dados experimentais. Esta seção constitui o resultado final do procedimento de inversão que, a partir das resistividades aparentes medidas (diretas e inversas) produz uma única seção de resistividades reais (modelo eletro - estratigráfico do terreno). Esta seção mostra, na prática, a interpretação estratigráfica da seção de resistividades reais.



Fotos 18 até 25 - Atividade de campo / Resistividade

5. O equipamento utilizado

5.1 Perfis sísmicos de refração

As medidas sísmicas foram realizadas com o seguinte equipamento:

- ⊗ No. 1 sismógrafo ABM BR-24, de 24 canais em aquisição simultânea, para registrar os impulsos sísmicos ressaltados pelos geofones, com baixíssimo ruído interno e alta velocidade de amostragem (Foto 26);
- ⊗ No. 24 geofones de tipo eletromagnético a bobina móvel (receptores) com frequência característica de 10 Hz, que permitem converter em sinais elétricos os deslocamentos verificados no terreno (Foto 27);
- ⊗ No. 2 cabos multipolares apropriados, de alta isolamento elétrica (Foto 27);
- ⊗ Equipamento radio de comunicação, GPS de campo (Fotos 4 e 5), baterias de alimentação e outras ferramentas menores.

A descrição detalhada das características deste equipamento apresenta-se ao seguinte endereço eletrônico: www.abm-geofisica.com



Foto 26 - Sismógrafo ABM BR-24



Foto 27

Cabos de conexão e sensores de medida (geofones)

Consultoria Geofísica EEG Ltda.

Dispositivo de energização

Para gerar as ondas sísmicas foi utilizado um impacto de marreta de 10 kg sobre chapa de alumínio (Fotos 28 e 29).

O impulso do disparo é transmitido imediatamente ao sismógrafo, para permitir um registro sincronizado do tempo "0" (inicial).



Fotos 28 e 29
Marreta e chapa de
alumínio

5.2 Tomografias Elétricas Multipolares 2D

As medidas geolétricas foram realizadas com o seguinte equipamento:

- ⊗ Um Resistímetro ABM AL 48-c, de 48 canais, equipado com um energizador interno de 350 W e capaz de prover uma tensão elétrica de até 700 V aos cabos de medida (Fotos 30 e 31);
- ⊗ No. 48 elétrodos de alumínio de 40 cm de comprimento para a geração do campo elétrico e as medidas de corrente (I) e de potencial (MN);
- ⊗ No. 2 cabos elétricos multipolares, cada um de 24 polos, predispostos para o passo 10 m (Fotos 32 e 33);
- ⊗ GPS Garmin 60-CSx, para a localização dos pontos em campo (Fotos 4 e 5), equipamento radio de comunicação, baterias de 12 V c.c. (fonte de alimentação), e outro material acessório.

A descrição detalhada das características deste equipamento apresenta-se ao seguinte endereço eletrônico: www.abm-geofisica.com

Consultoria Geofísica EEG Ltda.



Fotos 30 e 31 - Resistivímetro ABM AL-48 c



Fotos 32 e 33 - Cabos multipolares a passo 10 m

6. Resultados e conclusões

O Anexo 1 mostra a localização das linhas geofísicas efetuadas.

O Anexo 2 apresenta os resultados da sísmica de refração:

- ⊗ A figura em alto à esquerda de cada gráfico mostra a sobreposição entre as dromócronas calculadas e aquelas medidas: uma boa coincidência é índice de uma ótima compatibilidade entre o terreno e o modelo de velocidade proposto;
- ⊗ A figura em alto à direita de cada gráfico ilustra os efetivos percursos dos raios sísmicos no subsolo, consequência da última iteração do programa de modelização 2D, e define, com precisão, a efetiva profundidade investigada, ponto por ponto;
- ⊗ A figura grande de cada gráfico mostra a distribuição dos valores de velocidade sísmica, representados por cores diferentes.

Os gráficos do Anexo 3 mostram os resultados da pesquisa geolétrica na modalidade 2D.

Analisando a Tabela 1 nota-se uma razoável correspondência entre os dados medidos e calculados, com uma percentual de erro final do processo de iteração que é mediamente de 19,3 %.

Para essas áreas são disponíveis dados geológicos e de perfuração em grau de permitir a calibração dos modelos interpretativos, elaborados até uma profundidade de mediamente 40 m.

As informações obtidas têm validade exclusivamente ao longo das linhas, sendo a interpolação no sentido lateral pouco confiável devido à elevada distância entre as linhas e à sua diferente orientação.

Os gráficos do Anexo 4 ilustram os resultados comparados das duas técnicas e o modelo geológico interpretativo 2D proposto para cada linha.

Comentário aos resultados

A estratigrafia do terreno reconstruída com a geofísica, por quanto incompleta devido ao limitado numero de pontos de calibração comunicados (4 furos) e ao elevado espaçamento das linhas pode ser considerada relativamente homogênea e confiável, principalmente devido à pequena profundidade à qual encontra-se o substrato rochoso gneíssico da região.

Consultoria Geofísica EEG Ltda.

Essa condição facilitou a aplicação da sísmica de refração a passo 10 m, mesmo com utilizado de uma fonte de energia limitada (batida com marreta de 10 kg).

Todas as seções sísmica efetuadas, com raras exceções, mostram o topo da rocha compacta dentro da profundidade de 5-7 m da superfície topográfica. As velocidades registradas para o substrato são muito altas, a confirmação da presença de rocha de boas características mecânicas.

Em toda a área as camadas superiores de baixas velocidades tem, conseqüentemente, uma espessura limitada: os perfis sísmicos mostram, em geral, uma boa regularidade e homogeneidade das geometrias sepultadas.

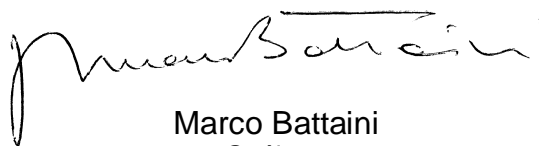
A geolétrica, realizada em superposição à sísmica, confirma os resultados anteriores, apesar de não ser a tomografia elétrica a melhor técnica para definição das geometrias do substrato: porém, a geolétrica aportou boas informações relativamente à presença de falhamentos e faixas de debilidade tectônica, que são presentes na área.

Nas seções de resistividade essas heterogeneidades são marcadas por setores com curvas de resistividade verticalizadas e variações laterais marcadas de resistividade, principalmente a nível de substrato rochoso.

Vale lembrar que o efeito da presença de falhas na distribuição lateral da resistividade é normalmente muito marcado, abrangendo um setor mais amplo do que a mesma falha (efeito induzido): isso é também devido ao fato que em correspondência dos lineamentos tectônicos podem se dar infiltrações de água e presença de resíduos insolúveis de natureza argilosa, ambos fatores que contribuem a baixar o valor da resistividade.

O substrato rochoso, a partir de uma profundidade média de 10 m, mostra valores muito altos de resistividade (acima de 5-6.000 Ohm*m), enquanto as camadas de recobrimento apresentam uma maior variabilidade nos valores, como característico.

Jundiaí(SP), 16 de Outubro de 2015



Marco Battaini
Geólogo
Diretor