



# Estudo Geofísico para Eixo de Barragem em Topografia Acidentada

Heitor de Araujo Franco<sup>1</sup>, Gustavo de Assunção Mello<sup>1</sup> e Flávio H. Freitas-Silva<sup>2</sup>

1 - HGeo-Tecnologia em Geologia e Geofísica - LGA/IG/UnB

2 – Instituto de Geociências - UnB

## ABSTRACT

The results presents in this extended abstract are part of a geophysical survey hired by an engineering company. The principal proposal was to characterize the physical properties of the underground at region of a future hydroelectric powerplant at the northern of Goiás state. The complete survey covered approximately 5 Km of magnetic survey and seismic profiling at the region of irregular relief with abrupt slopes. This paper will be discussed only the profiles made in the dam line of the future hydroelectric powerplant, representing the rest of survey.

## INTRODUÇÃO

Os resultados apresentados nesse resumo expandido fazem parte de um estudo geofísico contratado por uma empresa de engenharia. O objetivo principal era caracterizar as propriedades físicas do subsolo na região de uma futura Usina Hidroelétrica (UHE) no norte do estado de Goiás. O estudo completo envolveu aproximadamente 5 Km de levantamento magnetométrico e perfilagem sísmica em uma região de relevo acidentado e encostas bastante íngremes. Serão discutidos neste trabalho apenas os levantamentos realizados no eixo da barragem da futura UHE, bastante representativos do restante do estudo.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

O arcabouço geológico da área da futura UHE é composto por uma sequência vulcano-plutano-sedimentar intrudida por corpos graníticos e tonalíticos que apresentam um evolução intimamente relacionada, estruturando o arco magmático Paleoproterozóico de São Domingos (Freitas-Silva, 1997). As unidades que compõem o Arco Magmático de São Domingos apresentam uma forte estruturação NE-SW e um evidente zoneamento litológico e metamórfico de SW para NE. Na base da sequência predominam vulcânicas basálticas e andesíticas intrudidas por um enxame de corpos gabrodioríticos com metassedimentos subordinados, a seção intermediária é composta por metassedimentos com amplo predomínio de grauvas, entre os quais ocorrem intercalações de rochas vulcânicas, esta sucessão é recoberta por um monótono pacote de filitos carbonosos. Toda a sequência é intrudida por diques *stocks* e batólitos de tonalitos e alcaligranitos e granitos/granodioritos. Recobrendo discordantemente as unidades do Arco Magmático, ocorrem calcários/dolomitos pertencentes a Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí (0,7 – 0,6 B.a).

O eixo da barragem tem sua ombreira esquerda (0 a 500 m nos perfis geofísicos) posicionada sobre metavulcânicas e metagabros da seção basal, enquanto sua ombreira direita (550 a 850 m nos perfis geofísicos) está enrocada em grauvas. Na região da ombreira esquerda são observadas pelo menos três importantes zonas de cisalhamento (falhas), duas delas representando estruturas do sistema principal e a terceira uma estrutura subsidiária.

## METODOLOGIAS GEOFÍSICAS

Tendo em vista o contexto geológico da área foi sugerido a associação de duas metodologias, magnetometria e sísmica. O principal objetivo do trabalho foi identificar a profundidade do topo rochoso e a presença de zonas falhadas e fraturadas.

## MAGNETOMETRIA

O método magnético é baseado no fato de que corpos magnéticos presentes em subsuperfície contribuem nas medidas do campo magnético da terra. A contribuição do corpo magnético é diretamente proporcional ao momento magnético do corpo. A propriedade física que controla o método magnético é a susceptibilidade magnética; em adição, a magnetização remanente natural do corpo também contribui para o campo magnético. Em geral, quando o campo magnético da terra, ou uma de suas componentes (componentes vertical ou horizontal) é medido em superfície, corpos possuindo momentos magnéticos diferentes das rochas circunvizinhas, provocam uma variação da quantidade medida (intensidade total do campo magnético). A partir destas anomalias magnéticas, é possível localizar o corpo anômalo.

A intensidade de magnetização ou polarização magnética  $\mathbf{J}$ , de um corpo magnetizado é definida como o momento magnético por unidade de volume, e assim é uma função do número e orientação de dipolos elementares. No SI,  $\mathbf{J}$  é expresso em ampère/metro (A/m ou tesla, T).

A magnetização é uma somatória vetorial de magnetização induzida ou remanente (permanente). Magnetização induzida é a polarização magnética causada pelo campo normal (principal) terrestre e é produto da intensidade do campo terrestre e da susceptibilidade magnética ( $K$ ). A susceptibilidade magnética é a facilidade com que uma substância é magnetizada, ou seja, a capacidade de magnetização sob a ação de um campo externo, e é expresso em unidade eletromagnética por  $\text{cm}^3$  ( $1 \text{ emu/cm}^3 = 4 \pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$ ) no sistema CGS de unidades. É tanto maior quanto maior for o conteúdo em minerais magnéticos.

O método magnético é particularmente usado por causa de sua relativamente facilidade e barato emprego e é aplicável a uma extensa variedade de problemas de exploração de subsuperfície. Essencialmente todos os medidores magnéticos são magnetômetros que usam *fluxgate*, próton-precessão ou alcali-vapor. Eles tem atributos individuais que necessitam ser considerados na seleção do instrumento para uma pesquisa magnetométrica.

O magnetômetro utilizado nesse levantamento foi o G-856AX da EG&G GEOMETRICS, de próton-precessão e que mede a intensidade absoluta total do campo geomagnético com uma precisão da ordem de 0,1 nT. Este magnetômetro mede a frequência de precessão de prótons, dentro de um container rico em hidrogênio, que foi deslocado para fora do campo terrestre por um forte campo magnético. Este campo é orientado, com alto ângulo em relação ao campo terrestre, e gerado por uma corrente que passa através de uma bobina ao redor de um container com o fluido. Ao desligar a corrente através da bobina e relaxamento do campo magnético imposto, os prótons retornam ao seu alinhamento original com uma frequência de precessão relacionada ao campo terrestre absoluto através de uma constante conhecida, o raio giromagnético.

## SÍSMICA

O método sísmico consiste em estudar a propagação de ondas sísmicas no subsolo, sendo dividido em técnicas de reflexão e de refração. Ambas as técnicas dependem de como um raio sísmico se comportará no limite entre dois meios de diferentes velocidades de propagação da onda. Neste caso, o raio sísmico poderá ser refletido ou refratado criticamente ao longo do limite antes de atingir a superfície. Através da determinação do tempo que uma onda acústica levará para chegar do local de disparo até uma série de detectores (geofones), dispostos ao longo de um perfil, é possível estimar a velocidade de propagação da onda no meio e a profundidade da superfície refratora.

O sismógrafo utilizado foi o EG&G 1225, da GEOMETRICS, de 12 canais. A distância entre os geofones foi mantida fixa e igual a 5 metros, com pontos de tiro nas posições *offset* de 10 metros para ambos os lados do arranjo, na posição dos geofones 1 e 12 e entre os geofones 6 e 7, tendo como fonte de energia para propagação de ondas mecânicas, uma marreta de 10 kg. Após realizada a leitura do tempo de cada um dos geofones nos registros totais para todos os pontos de tiros envolvidos, pôde-se construir tabelas de tempo de percurso x distância para cada tiro. A partir da inclinação das retas dos gráficos tempo x distância foi determinado as velocidades de propagação de ondas. Tais valores de velocidade foram empregados para localizar a variação lateral da profundidade que separa estes meios a partir de um processo de inversão, baseado no processamento SIPT.

Para o caso de duas camadas horizontais, se plotarmos o tempo necessário para uma frente de onda produzida num ponto atingir uma série de geofones igualmente espaçados, versus a distância entre a fonte e o geofone, a inclinação das retas resultantes será a recíproca da velocidade de propagação da onda  $P$  nos dois meios (Lankston, 1990). Usando as velocidades das duas camadas e a Lei de Snell para obter o ângulo crítico, e usando o tempo de interceptação, a profundidade do refrator pode ser calculada por rearranjo da equação (Lankston, 1990),

$$t_x = x/V_2 + 2h_1 \cos i_1 / V_1$$

onde:  $t_x$  = tempo de interceptação das curvas  
 $x$  = distância do intercepto  
 $h_1$  = profundidade do primeiro refrator  
 $i_1$  = inclinação da primeira curva ( $i_1 = \arcsen(V_1/V_2)$ )  
 $V_1$  = velocidade da primeira camada  
 $V_2$  = velocidade da segunda camada

Para múltiplas camadas,

$$t_x = X/V_n + \sum_{j=1}^{\text{até } n-1} 2h_j \cos i_j / V_j \quad \text{e} \quad i_j = \arcsen(V_j/V_n).$$

## RESULTADOS

O levantamento magnético foi realizado em uma linha de 800 metros sobre o eixo da barragem com medidas a cada 5 metros, a figura *Total Magnetic Field Profile* indica a variação do campo magnético ao longo dessa linha. Na porção inicial do perfil magnético, entre 50 e 250 metros, pode ser observada a presença de um zona anômala, limitada por dois grande picos. No restante do perfil não há grande variação dos valores medidos, somente uma pequena anomalia pode ser notada em torno de 590 metros.

Comparando os dados obtidos na magnetometria com o mapeamento geológico executado na área, percebe-se uma grande coincidência de informações. A zona anômala entre 50 e 250 metros corresponde a uma zona de cisalhamento e, os dois maiores picos, as duas maiores falhas observadas no campo. Como essas zonas de cisalhamento cortam as rochas metavulcânicas e os metagabros da porção basal, a presença de região anômala deve-se à remobilização de minerais magnéticos ao longo das falhas na zona de cisalhamento. A outra anomalia, em 590 metros, representa o contato entre rochas gábricas com as grauwacas

A perfilagem sísmica teve um total de 800 metros com os arranjos alinhados ao longo do eixo da futura barragem. Os arranjos foram demarcados de forma que tivessem uma superposição nos dois últimos geofones, assim, os geofones 11 e 12 de um arranjo, correspondem aos geofones 1 e 2 do arranjo seguinte.

A primeira camada do Perfil Sísmico executado no Eixo da Barragem (fig. *Refraction Seismic Profile*) representa a onda direta do solo, ou seja, a onda que chega nos primeiros geofones sem sofrer refração ou reflexão. Esta camada pode ser usada como referência do grau de compactidade do solo próximo à superfície do terreno. Quanto mais profundo o limite menos compacto é o solo neste local. Ela não corresponde a uma camada no subsolo, mas sim, um artefato da metodologia. Este dado deve ser tomado apenas como referência. A velocidade é próxima a do som no ar (360 m/s).

Algumas importantes feições no subsolo podem ser observadas no Perfil Sísmico:

- o topo rochoso na linha do eixo da barragem acompanha, aproximadamente, a topografia do terreno;
- o relevo do topo rochoso próximo à margem do rio na ombreira esquerda é consideravelmente mais suave do que na porção correspondente da ombreira direita;
- a presença de um pequeno vale no embasamento próximo a distância de 350 metros.

Essas feições permitem supor a existência de um paleocanal na região próxima a margem esquerda do rio, evidenciado principalmente pelo vale observado, maior espessura da segunda camada e o relevo suave nessa região.

## CONCLUSÕES

O principal objetivo desse estudo, fornecer subsídios para o estudo de viabilidade técnica e planejamento para a construção da UHE foi plenamente alcançado. Uma vez que as falhas existentes na área foram localizadas e a profundidade do embasamento, estimada.

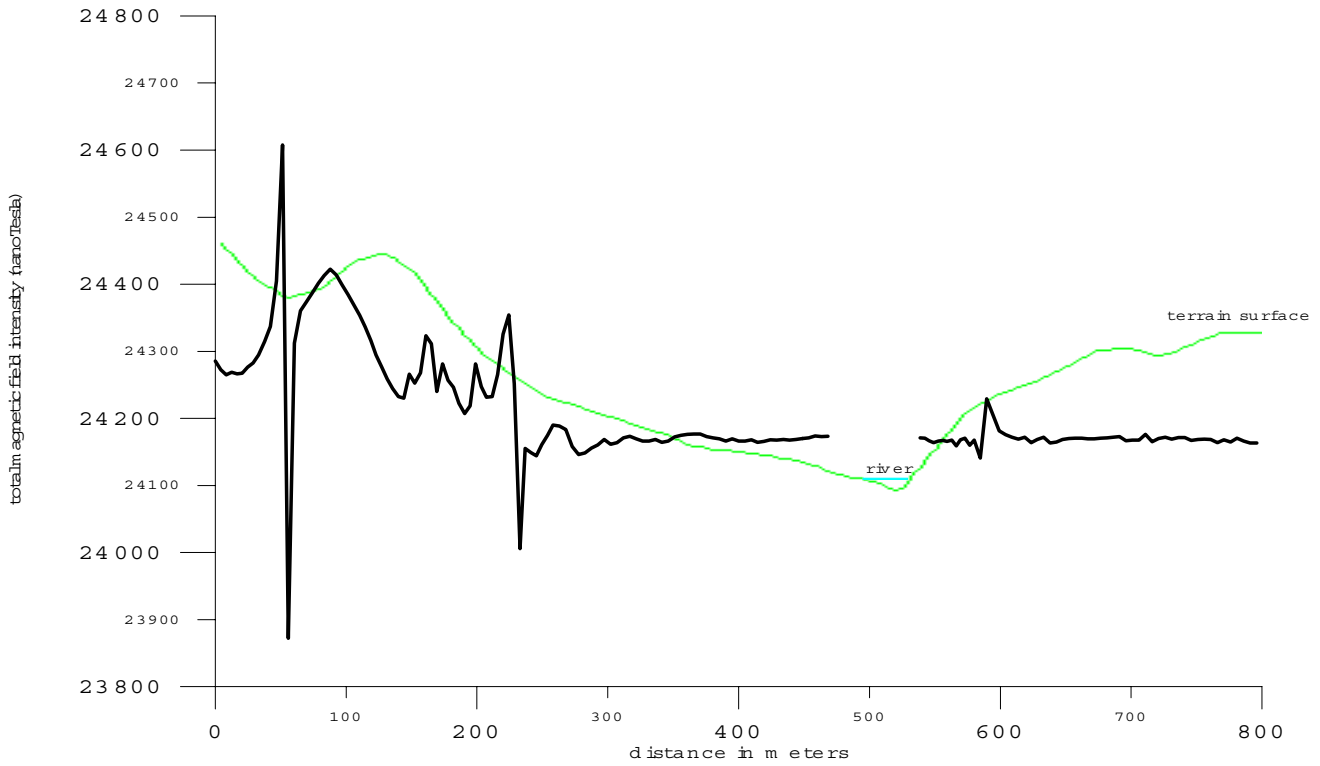
A magnetometria confirmou as feições geológicas da área e principalmente localizou possíveis zonas de falhas, que não foram demarcadas pela sísmica. Convém lembrar que a zona de cisalhamento foi possível de ser delimitada principalmente pela natureza das rochas (metavulcânicas e metagabros) em que estão inseridas.

A sísmica demarcou principalmente a topografia do topo rochoso, permitindo que se estimasse o volume de material inconsolidado sobre o embasamento.

### Referência Bibliográfica

- Lankston, R. W.; 1990 - *High-resolution refraction seismic data acquisition and interpretation*. In Ward, S. H. Ed., *Geotechnical and Environmental Geophysics*, Vol. II, SEG, special publication, pp. 45-76.
- Parasnis, D. S.; 1986 - *Principles of applied geophysics*. Ed. Chapman & Hall, London, 4ª Ed., 402 pp.

**TOTAL MAGNETIC FIELD PROFILE  
Dam Line**



**REFRACTION SEISMIC PROFILE  
Dam Line**

