

A UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS NA CARACTERIZAÇÃO DOS MACIÇOS DE BARRAGENS: APLICAÇÃO DO MÉTODO GPR NA BARRAGEM B1

Silas SALGADO

Mestre/ Geólogo – Fontes Geotécnica

Michel FONTES

Mestre/ Engenheiro Civil – Fontes Geotécnica

Gladys HURTADO

Mestre/ Engenheira Civil – Fontes Geotécnica

Michelle PETRONILHO

Mestre/ Engenheira Civil – Fontes Geotécnica

RESUMO

A aplicação do método GPR na caracterização do maciço de barragens tem sido amplamente utilizada nos últimos anos. Neste artigo, são apresentados os dados provenientes de um levantamento GPR realizado na barragem em aterro B1. Com base nas informações geofísicas adquiridas, somadas a dados provenientes de investigações diretas de campo (trincheiras), constatou-se que o aterro da barragem foi edificado fazendo-se uso de uma ampla gama de materiais geológicos, que variam desde a granulometria argila a cascalho. Os radargramas indicaram que apesar da grande heterogeneidade composicional do maciço, nenhuma instabilidade geotécnica encontra-se presente ou em desenvolvimento até o presente momento.

ABSTRACT

The application of GPR method has been widely employed in the characterization of massif dam in the last few years. In this paper, it shown data from a GPR survey carried out in the embankment B1. Based on acquired geophysical information, added to data from direct fields investigations (trenches), it was verified that the dam embankment structure was built using a wide range of geological materials, which their granulometry range from clay to gravel. The radargrams suggested that in spite of the major compositional massif heterogeneity, no geotechnical instability is present or it is in development until the present moment.

1. INTRODUÇÃO

A edificação de barragens destinadas a disposição de rejeitos no Brasil, atualmente, segue as diretrizes expostas na ABNT NBR 13028:2006 (Mineração – Elaboração e apresentação de projetos para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água) e na Lei federal nº 12.334 que estabelece a política nacional de segurança de barragens. Contudo, o desenvolvimento destas estruturas no Brasil teve início no século XVIII e as referidas diretrizes só ganharam notoriedade a partir da década passada [1]. Desta maneira, centenas de barragens de aterro existentes no país foram estruturadas sem quaisquer critérios técnicos e carecem de informações básicas como projeto executivo e As Built. A inexistência destes dados faz com que a realização de vistorias técnicas, de análises de estabilidade e a elaboração de projetos de adequação destas estruturas seja um grande desafio.

Neste contexto, a aplicação do método geofísico eletromagnético GPR (Ground Penetrating Radar) tem se mostrado uma importante ferramenta. Este método tem caráter não invasivo e vem sendo empregado na detecção do contato solo-rocha, na identificação de objetos soterrados, na determinação do nível freático, na identificação de estruturas como cavidades, fraturas e condutos, dentre outros fins [2,3,4].

A barragem de disposição de rejeitos B1, objeto de estudo deste trabalho, consiste em uma barragem de aterro que se encaixa no contexto apresentado. Além de não possuir informações referentes ao seu método construtivo, durante uma obra de adequação de sua estrutura, no ano de 2016, foram identificados blocos de rocha e fragmentos orgânicos de dimensões métricas em seu maciço terroso. Desta forma, o método GPR foi empregado com o objetivo de fornecer informações geológico-geotécnicas de todo o maciço, destacando-se: i) os diferentes materiais geológicos utilizados na estruturação do corpo da barragem; ii) o grau de homogeneidade desta estrutura; iii) a possível existência de pipes e/ou materiais orgânicos e antrópicos. Para isso foram realizadas seções GPR ao longo do eixo da barragem e em uma de suas bermas. As anomalias identificadas em radargramas foram delineadas e, posteriormente, os dois principais padrões definidos foram verificados de forma direta através da execução de trincheiras. Os aspectos mais relevantes obtidos neste estudo estão aqui apresentados. Ressalta-se que, devido as restrições impostas pela empresa proprietária da barragem B1, sua localização não será divulgada.

2. METODOLOGIA

O GPR (Ground Penetrating Radar), ou Radar de Penetração no Solo, é um método geofísico não invasivo que utiliza ondas eletromagnéticas normalmente com frequências entre 10 MHz a 2,5 GHz e profundidades de investigação de até 40 m. A frequência a ser utilizada está diretamente vinculada a profundidade do alvo desejado e a resolução que se almeja. Baseia-se essencialmente em uma fonte geradora de um pulso eletromagnético de curta duração e alta voltagem aplicada no terreno via uma antena transmissora. As ondas eletromagnéticas que se propagam no subsolo são controladas principalmente pela constante dielétrica e pela condutividade elétrica do meio. Parte das ondas refletidas

é coletada por uma antena receptora e, posteriormente, são armazenadas e digitalizadas [5, 6].

O levantamento GPR foi realizado neste trabalho através de um equipamento que marca IDS com dupla frequência (250 e 700 MHz), sendo aplicado ondas eletromagnéticas com velocidade de propagação igual a 0.088 m/s. Os dados coletados atingiram profundidades passíveis de interpretação de até 4 m e foram analisados através do software ReflexW (Sandmeier). Ao todo, seis seções GPR foram levantadas, das quais três seções são provenientes da crista da barragem e três seções realizadas na berma da barragem, perfazendo-se um total de 7803,28 m de dados adquiridos. As principais informações obtidas foram apresentadas na forma de radargramas.

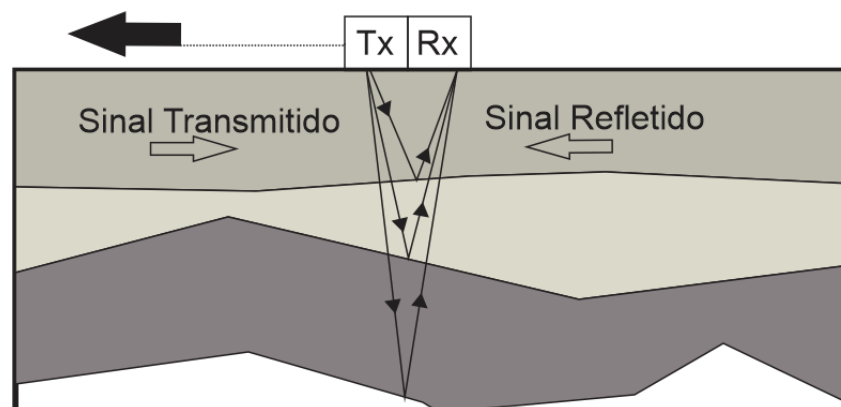


FIGURA 1: Arranjo geral de transmissão da onda eletromagnética (TX) e captação da onda eletromagnética refletida (RX).

3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DA BARRAGEM B1

A barragem B1 consiste em uma barragem em aterro, construída pelo método de alteamento a montante. A Figura 2 apresenta um perfil geológico-geotécnico esquemático dos principais litotipos e materiais que ocorrem da fundação da barragem até seu maciço, a saber: embasamento, aluvião, colúvio, aterro e rejeito. Estas unidades encontram-se descritas de forma sucinta nos subtópicos adiante.

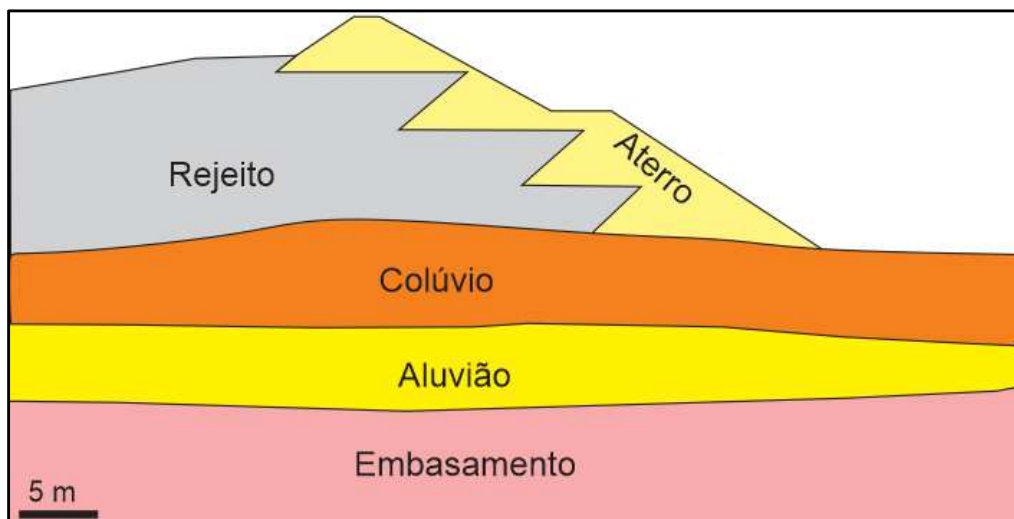


FIGURA 2: Perfil esquemático dos principais litotipos e materiais presentes da fundação ao topo barragem B1.

3.1 EMBASAMENTO

Consistem granitóides isotrópicos de composição quartzo-feldspática e baixo grau intempérico.

3.2 ALUVIÃO

Esta unidade está geneticamente vinculada a antigos paleocanais existentes no local. É composta por sedimentos arenosos inconsolidados, com a presença de argila e cascalhos finos subordinados.

3.3 COLÚVIO

Via de regra, possui cor marrom-avermelhada e composição siltosa.

3.4 ATERRO

Possui em média 4m de espessura e encontra-se intercalado a horizontes de rejeito. Descrições desta unidade realizadas durante sua adequação indicaram uma composição heterogênea, marcada pela presença de materiais com faixa granulométrica entre argila e cascalho. Por vezes, foi identificada a presença de matéria orgânica.

3.5 REJEITO

Trata-se de uma camada com até 10 m de espessura. Possui composição heterogênea, contendo normalmente porções arenosas a níveis superficiais e porções argilosas em horizontes mais profundos.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO GPR E ANÁLISE DE RADARGRAMAS

O levantamento GPR foi realizado ao longo da crista da barragem e em uma berma. As seções foram executadas exclusivamente sobre o litotipo aterro. A Figura 3

apresenta um modelo esquemático representativo da barragem B1, onde o segmento noroeste, denominado Trecho-01 (TR-01), contém a linha de levantamento GPR-L1 e o segmento sudeste, denominado Trecho-02 (TR-02), contém a linha de levantamento GPR-L15. Ainda, foi realizada uma trincheira em cada um dos trechos, como será debatido nos subtópicos 4.1 e 4.2 adiante.

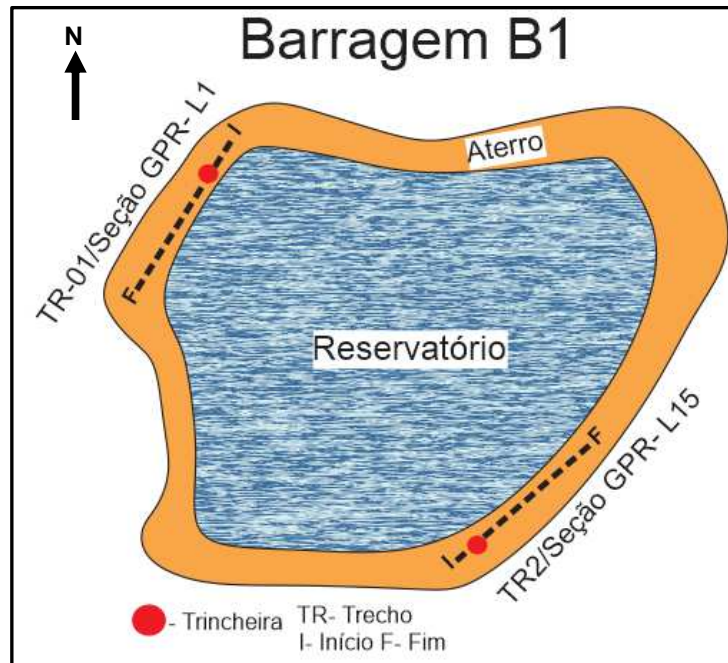


FIGURA 3: Representação esquemática da barragem B1 com a indicação do posicionamento das linhas Seção GPR-L01 e Seção GPR-L15 e das duas trincheiras realizadas.

Os dados dos levantamentos GPR foram utilizados na confecção de radargramas para os 7803,28 m de perfis executados. Em todos os radargramas produzidos destacaram-se feições indicativas de variações na espessura, mergulho, orientação, continuidade e contraste (atenuação) dos refletores. Em síntese, duas estruturas marcantes ficaram evidentes, sendo estas (Figura 4):

- i. A primeira estrutura consiste em uma vasta gama de hipérboles onipresentes em todas as seções, que se diferenciam apenas em função de suas amplitudes;
- ii. A segunda estrutura consiste em regiões pontuais e, normalmente, de formato circular, marcadas por um forte contraste na atenuação dos refletores. Estes locais apresentam cores em tons de cinza mais escuros que suas adjacências.

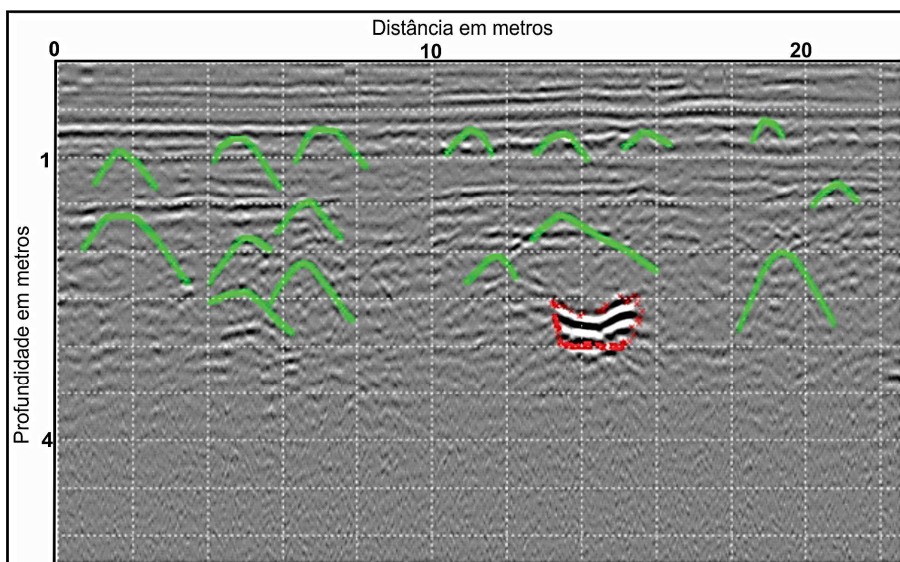


FIGURA 4: Radargrama obtido na barragem B1 com destaque para as hipérboles em verde e para o forte contraste de atenuação dos refletores, delimitado em vermelho.

Posteriormente, afim de se verificar a natureza dos dois principais padrões de anomalias geofísicas supracitados, foram selecionados os trechos TR-01 e TR-02 da barragem B1 (Figura 3). As seções GPR para cada um destes trechos tiveram parte de suas anomalias verificadas através da execução de trincheiras, posicionadas especificamente sobre os pontos anômalos. Os subtópicos a seguir apresentam uma correlação entre os levantamentos geofísicos e os dados de campo.

4.1 TR-01/ SEÇÃO GPR-L1

A seção GPR-L1 possui uma extensão de 190 m e foi realizada na porção noroeste da barragem. O radargrama, exposto na Figura 5, apresenta o trecho da seção GPR-L1 compreendido entre 92 m e 104 m. A linha laranja define o traçado da trincheira executada. Esta possui dimensões iguais a 1,5 m de profundidade; 1,0 m de largura e 6,0 m de extensão, e intercepta anomalias hiperbólicas (em verde) e uma anomalia de contraste (em vermelho).

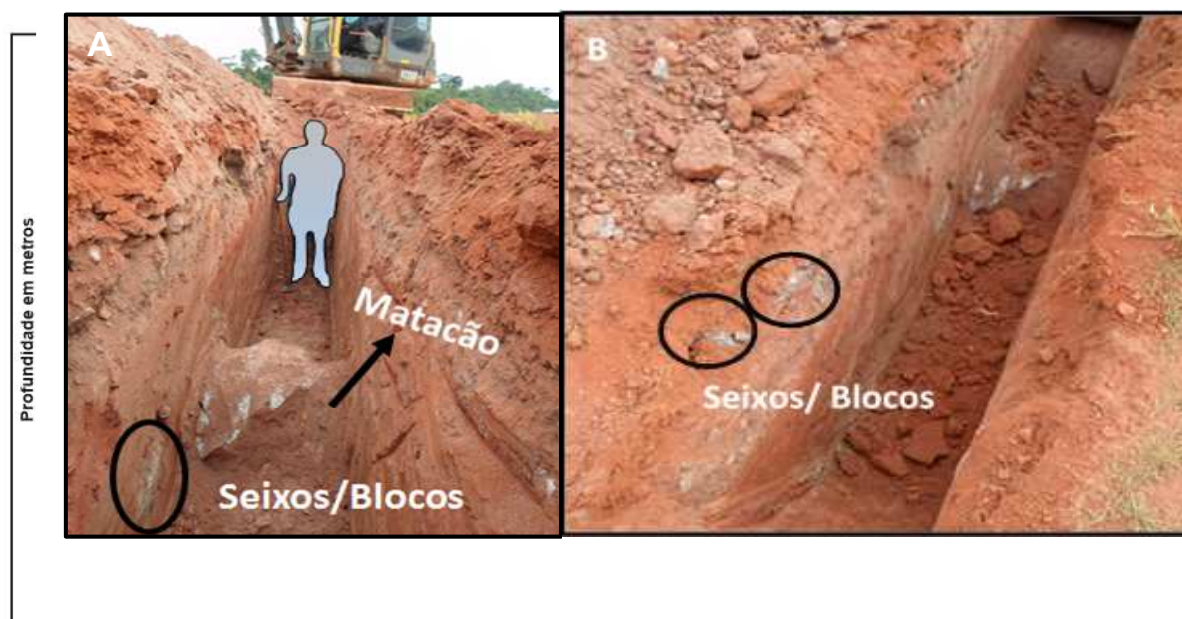


FIGURA 5: Fragmento da seção GPR-L1 compreendido entre 92 m e 104 m. Destaque para o traçado da trincheira executada (linha laranja).

As Figuras 6A e 6B mostram a trincheira aberta na seção GPR-L1. A análise do material exposto permite as seguintes considerações:

- i. A anomalia em vermelho destacada na seção GPR-L1 encontra-se localizada no mesmo ponto onde foi identificado o matacão de granitóide (dimensão superior a 1,0 m). Possivelmente esta rocha possui uma maior resistividade elétrica se comparado ao meio que a envolve;
- ii. As hipérboles em verde destacadas na seção GPR-L1 têm origem na ampla gama de seixos e blocos de granitóides dispersos no maciço terroso;
- iii. A estruturação plano-horizonta dos refletores nesta seção deve-se a estratificação constituída por horizontes silto-argilosos.

FIGURA 6: As figuras A e B registram a presença de seixos, blocos e um matacão de granitóide identificados na trincheira realizada.

4.2 TR-02/ SEÇÃO GPR-L15

A seção GPR-L15 possui uma extensão de 50m e ocupa a porção sudeste da barragem. O radargrama exposto na Figura 7 apresenta o trecho da seção GPR-L15, o qual está compreendido entre 0m e 12m. Alinha laranja representa o traçado da trincheira executada. Esta possui dimensões iguais a 1,5 m de profundidade; 1,0 m de largura e 3,0 m de extensão, e intercepta anomalias hiperbólicas (em verde) e uma anomalia de contraste (em vermelho).

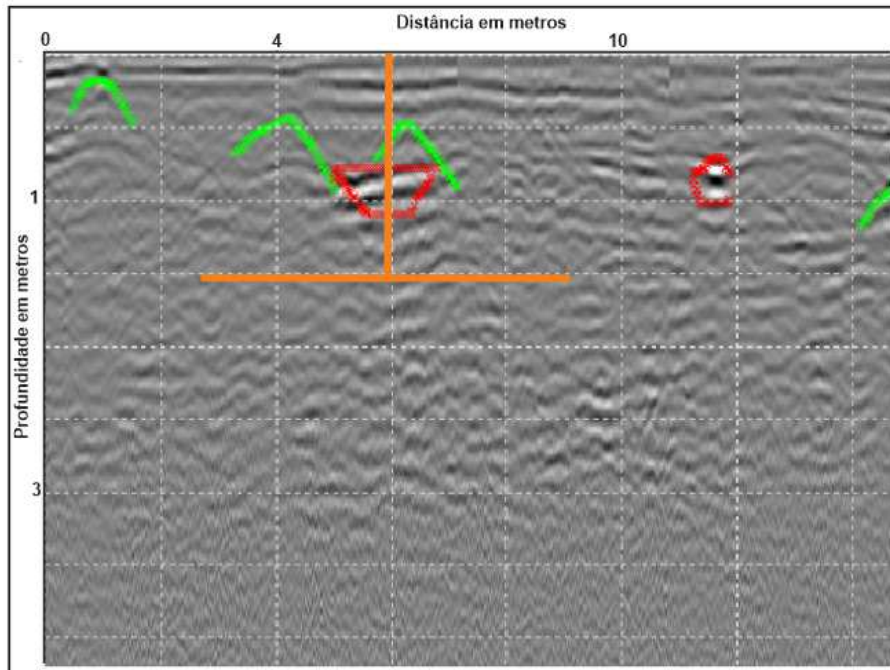


FIGURA 7: Fragmento da seção GPR-L15 compreendido entre 0 m e 12 m. Destaque para o traçado da trincheira executada (linha laranja).

A Figura 8 apresenta a trincheira aberta na seção GPR-L15. A análise do material exposto permite as seguintes considerações:

- i. A anomalia em vermelho destacada na seção GPR-L15 encontra-se localizada no mesmo ponto onde foi identificado o horizonte arenoso. A areia, essencialmente quartzosa e bem selecionada, possui uma maior resistividade elétrica se comparada aos materiais silto-argilosos (com a presença de cascalho) que a envolve;
- ii. As hipérboles, em verde destacadas na seção GPR-L15, têm origem possivelmente nos blocos e seios de granitóide;
- iii. A ausência de estratos plano-horizontais na trincheira reflete a falta de continuidade e variações na orientação dos refletores.



FIGURA 8: Trincheira expondo um bolsão arenoso, com a presença de seixos e blocos de granitóide sobrejacentes imersos em material silto-argiloso.

4.3 AS SEÇÕES GPR E A BARREGEM B1

Considerando todas as seções GPR levantadas, é importante ressaltar que a análise dos radargramas não indica a presença de um nível de água elevado no maciço da barragem. Contudo, estruturas adicionais, também vinculadas a variação composicional do aterro, foram constatadas como a presença de bolsões argilosos e/ou argilo-siltosos isotrópicos, marcados pela atenuação das ondas eletromagnéticas (Figura 9).

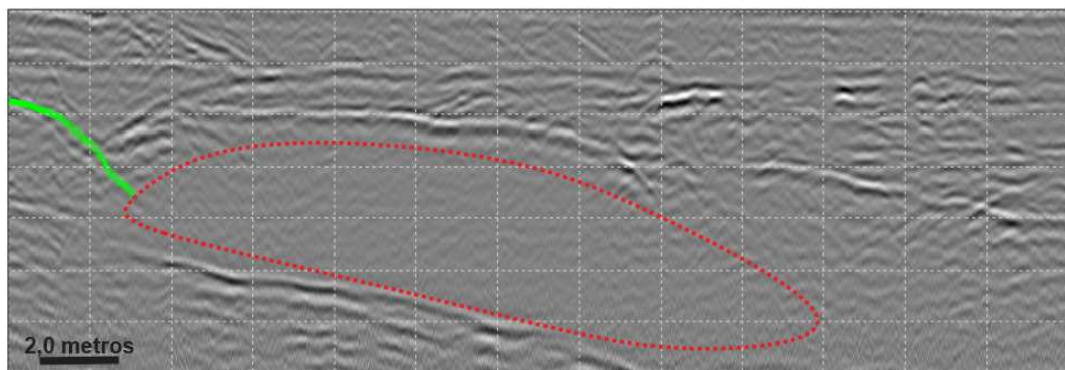


FIGURA 9: Seção GPR indicando a presença de um bolsão argilo-siltoso, contornado pela elipse vermelha na figura.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados geofísicos provenientes do levantamento GPR, realizado na barragem B1 em conjunto a sua posterior validação via a execução de trincheiras, forneceram um panorama geral das condições atuais da barragem. Os seguintes pontos podem ser destacados:

- i. A presença de hipérbolos de forma onipresente em todas as seções de GPR realizadas indica que o maciço da barragem foi edificado fazendo uso de uma ampla gama de materiais geológicos, principalmente fragmentos de rocha na fração cascalho. A falta de continuidade dos refletores detectados em diversas seções, contribui com esta perspectiva;
- ii. As variações no grau de atenuação das ondas eletromagnéticas indicam que ao longo do maciço da barragem existem materiais geológicos com significativo contraste em seus valores de resistividade elétrica. Foi constatado, durante a execução das trincheiras, que os referidos materiais tratam-se de matacões de granitóide ou bolsões de areia quartzosa. No entanto, não se pode descartar que parte destas anomalias observadas sejam provenientes da presença de matéria orgânica;
- iii. Salienta-se que sondagens percussivas realizadas posteriormente ao levantamento geofísico corroboram com o panorama aqui apresentado;
- iv. É relevante ressaltar que apesar do maciço da barragem B1 ser constituído por diversos tipos de materiais geológicos, o que lhe confere uma significativa heterogeneidade, os dados geofísicos não evidenciaram nenhuma estrutura erosional, composicional ou antrópica que atualmente comprometa a estabilidade da barragem. Obviamente análises adicionais devem ser realizadas para confirmar tal panorama.

Por fim, como apresentado no presente trabalho, destaca-se a importância da aplicação do método GPR em barragens, com o objetivo de se detectar instabilidades geotécnicas e, ainda, de reconhecer a estrutura geral de barragens cujo histórico construtivo é deficiente e/ou inexistente.

6. PALAVRAS-CHAVE

Barragem, GPR, Radargrama, Aterro

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MELLO, F. (2011) – “A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens”, livro editado pela Corrado Piasentin, Rio de Janeiro;
- [2] DARRACOTT, B., e LAKE, M. (1981)– “An initial appraisal of ground probing radar for site investigation in Britain”. Ground Engineering, 14:14–18;

- [3]LEGGO, P. (1982) –“Geological applications of ground impulse radar,Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy B”, Applied Earth Sciences, 91:B1–5;
- [4] KIM, J, YI, M. e SONG, Y. et al. (2007) – “Application of geophysical methods to the safety analysis of an earth dam”, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 12:221–235;
- [5]REYNOLDS, J. (2011) – “An Introduction to Applied and EnvironmentalGeophysics”, livro editado pela JohnWiley & Sons, Ltd, Inc., UK;
- [6] JOL, H. (2011) –“Ground Penetrating Radar: Theory and Applications”, livro publicado pela Elsevier Science, Inc., UK;