



## Aplicações do Geo-radar no estudo geomorfológico em Gouveia, Serra do Espinhaço, MG.

Paulo Roberto Antunes Aranha – Departamento de Geologia – IGC/UFMG

Frederico Garcia Sobreira – Departamento de Geologia – EM/UFOP

Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin – CPMTC – IGC/UFMG

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The GPR has been used in several applications since last decade. Nevertheless it has not been widely applied in geomorphologic studies. Recently GPR profiles were obtained from slopes in the Gouveia region, Serra do Espinhaço – MG. The profiles reveals slopes internal structures, such as: stone lines, fractures, paleo-channel, saprolite/soil contact etc. The radargrams were interpreted based on the reflections patterns and with the aid of profiles opened along the slopes with the use of mechanical gauge. Indeed, these results show the efficiency and powerful use of the GPR for geomorphological studies in order to identify the subsurface structures.

Palavras-chaves: Geo-radar, geomorfologia, voçoroca, Serra do Espinhaço.

### Introdução

Os métodos geofísicos tornam possível o exame de estruturas locais geológicas e geomorfológicas, em especial das coberturas superficiais e subsuperficiais, proporcionando uma visão bi ou mesmo tridimensional destas. Dentre os métodos geofísicos, o Geo-radar tem sido utilizado para resolver muitos problemas nos quais a resolução requerida é métrica, numa faixa de 1-30m de profundidade, tais como: estratigrafia, descontinuidades do solo, aspectos pedológicos, infiltração, percolação de água, migração do ferro, pesquisa e exploração de água subterrânea, geotecnia, investigações arqueológicas, desenvolvimento de minas subterrâneas e outros (Holub e Dumitrescu, 1994; Benson, 1995; Daniels et al., 1995). Também é utilizado para auxiliar nos levantamentos de solos, como forma de agilizar o trabalho de campo e diminuir os custos associados com esses tipos de estudos (Doolittle e Collins, 1995; Mellet, 1995).

Nessa pesquisa utilizou-se o Geo-radar para caracterizar a subsuperfície das vertentes a partir da interpretação dos radargramas, procurando identificar os tipos e as dimensões das descontinuidades. Outro objetivo foi o de investigar a utilização do Geo-radar nesse tipo de estudo, em função da presença de camadas de solos argilosos, uma vez que é corrente, na literatura internacional, que solos argilosos não

seriam propícios à utilização do Geo-radar (Cook, 1973; Doolittle, 1987; Collins et al., 1990; Bristow, 1994; e outros).

Na área de estudo obteve-se uma um quadro detalhado da estruturação da subsuperfície com o uso do Geo-radar, o que permitiu identificar fatores que auxiliam e contribuem para explicar os processos que envolvem a dinâmica das coberturas superficiais.

No estado do Amazonas, Sauck et al. (1995b) conseguiram utilizando a antena de 100 MHz uma resposta do radar na profundidade de 12 m e verificaram que as crostas lateríticas da região refletiam muito bem o sinal do radar. Os autores identificaram, através do radar, a presença de microfauna (formigueiros) a profundidade de 6 m e, ainda, realizaram teste de aquisição para dados de radar sobre a lâmina d'água, conseguindo identificar o leito do rio Amazonas numa profundidade de lâmina d'água de 12 m. Sauck et al. (1995a), no estado do Pará, realizaram testes com Geo-radar em diferentes tipos de solos e constataram a penetração da onda do radar até 15 m, utilizando antenas de 100 MHz.

Nos estudos geomorfológicos mais amplos, todavia, a aplicação do Geo-radar é menos intensa, destacando-se, dentre eles, Neves et al. (1997) e Aranha et al. (1998 e 1999), que foram realizados em vertentes na região de Gouveia para a identificação da estrutura da subsuperfície, isto é, a estrutura do manto de alteração. Tem-se também o trabalho de Bacellar (2000) no estudo de voçorocas na região de Cachoeira do Campo – Minas Gerais; e de Ucha et al. (1999), que também utilizaram o Geo-radar em estudo geomorfológico, identificando a profundidade de crostas lateríticas em sedimentos do Grupo Barreiras na Bahia.

### Descrição da Área

A área de estudo está localizada na Serra do Espinhaço meridional, na bacia do ribeirão do Chiqueiro (Fig. 1). Nela afloram litologias dos Supergrupos Espinhaço e Paraúna, do Complexo Gouveia, isto é, rochas do grupo Costa Sena, da Suíte Metabásica Pedro Pereira e das formações São João da Chapada, Galho do Miguel e Sopa-Brumadinho. Nessa bacia tem-se a ocorrência de morros poli-convexos, com declividade suave (Augustin, 1995). Na parte central da bacia também ocorrem processos erosivos intensos, voçorocas, principalmente onde há o predomínio de rochas granito-gnáissicas.

### Metodologia

Os perfis de Geo-radar foram obtidos nas proximidades de quatro vertentes, objetivando fornecer informações sobre a estrutura das encostas. Estes foram executados ao longo da vertente, perpendicularmente à direção da máxima declividade. Na aquisição, foram utilizadas antenas com

freqüências centrais de 50 e 100 MHz. Desse modo, as imagens possuem diferentes profundidades e níveis detalhamento. Os perfis foram adquiridos no modo *common-offset*, com as antenas espaçadas de 0,5 e 0,2m, respectivamente. As antenas foram posicionadas perpendicularmente à direção dos perfis. Para a identificação das distâncias foi utilizada uma trena com dupla face em metros. Os pontos iniciais e finais dos perfis foram marcados no terreno com piquetes.

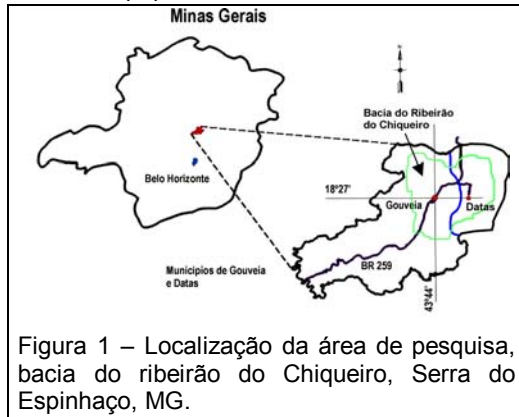


Figura 1 – Localização da área de pesquisa, bacia do ribeirão do Chiqueiro, Serra do Espinhaço, MG.

O processamento dos dados obtidos consistiu em: edição dos dados, *declipping*, *dewow*, marcação do tempo zero, aplicação de ganho AGC, filtragem – filtro do tipo *gaussiano*, e migração. Para realizar esta última, os campos de velocidades foram obtidos em cada vertente a partir da interpretação de perfis de CMP's obtidos em pontos diferentes nas encostas. Estes foram executados onde se observou mudança de litologia, inferidas através de mudanças da cor do solo na superfície. No geral, os perfis de velocidade foram elaborados a partir das médias das velocidades e das profundidades (em tempo) interpretadas nos perfis de CMP's. Em seguida, a variação de topografia foi corrigida com a aplicação da correção estática convertendo-se o radargrama em escala de tempo (ns) para escala de profundidade (m) utilizando os campos de velocidade da vertente.

### Resultados Obtidos

A primeira área de pesquisa corresponde a um alvéolo onde se localiza a voçoroca denominada de Nº 30 (Fig. 2).

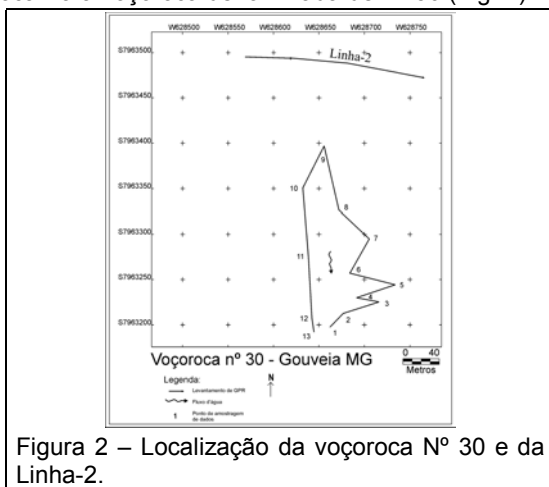


Figura 2 – Localização da voçoroca Nº 30 e da Linha-2.

Á montante desse alvéolo foi realizado o perfil de Geo-radar perpendicularmente à direção do canal da voçoroca (Linha-2).

No radargrama obtido com antenas de 50 MHz ao longo da Linha-2 (Fig. 3) observa-se uma reflexão superficial bem marcada associada à linha de seixos, que é melhor visualizada na janela da esquerda com radargrama obtido com antenas de 100 MHz. Na parte final observa-se o arqueamento deste refletor indicando a presença de uma paleo-canal. Este é melhor observado na janela da direita com radargrama obtido com antenas de 100 MHz. Alguns lineamentos mais superficiais, relacionados com fraturas, estão pouco nítidos. No entanto, as feições e os lineamentos mais profundos estão visíveis. Essa linha tem direção aproximada E-W. Desse modo, as fraturas e os lineamentos identificados têm atitudes compatíveis com aqueles observados para a área, obtidos em estudos anteriores (Almeida-Abreu, 1993; e outros).

Na segunda área, onde ocorre uma vertente curta e mais inclinada, voçoroca Nº 81, também foram realizados perfis (Fig. 4).

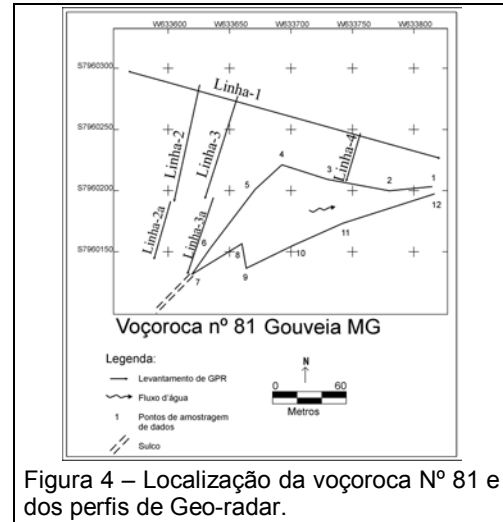


Figura 4 – Localização da voçoroca Nº 81 e dos perfis de Geo-radar.

O radargrama obtido na Linha-1, com as antenas de 50 MHz (Fig. 5), apresenta refletores bem nítidos e distintos. Na parte superior do radargrama, nota-se o contato entre o material mais argiloso e o material mais arenoso, associado ao refletor "A" que também pode ser interpretado como frente de intemperismo físico-químico. Os refletores "C<sub>1</sub>", "C<sub>2</sub>" e "C<sub>3</sub>", com base em suas atitudes, são associados a planos de esfoliações. Eles são comuns em granitóides, devido não somente aos processos de alteração da própria rocha, como também, devido ao alívio da tensão confinante. Nota-se que o refletor "A" estende-se por toda a seção, tornando-se mais raso à medida que se aproxima da distância de 220 m. A partir desse ponto, o refletor fica mais profundo, indicando a presença de um canal aluvial (feição "D"). Nos primeiros metros do radargrama, nota-se a interrupção do refletor "A", possivelmente indicando a presença de pequenos diques de rochas metabásicas. A existência desses diques pode ser inferida pela intensidade da coloração vermelho-bruno do solo encontrado no local.

Para se obter maior detalhamento das feições identificadas na Linha-1, realizou-se o levantamento com Geo-radar ao longo da mesma, utilizando-se antenas de 100 MHz. No

radargrama (Fig. 6), observa-se o refletor “K”, que marca o contato entre o colúvio e o elúvio; contato este marcado por uma linha de seixos, que também pode ser visualizada nas paredes da voçoroca. O radargrama mostra em detalhe a região compreendida entre os refletores “A” e “B”. No entanto, nota-se que estes refletores, “A” e “B”, não estão tão nítidos no radargrama obtido com antenas de 100 MHz, sendo que a diferença entre as duas regiões é percebida apenas pela mudança de textura no radargrama. Na parte superior, a textura apresenta lineamentos horizontais menores, mais próximos, enquanto na parte inferior, a textura apresenta lineamentos horizontalizados e inclinados, mais espaçados entre si. Entre as distâncias 150 e 250 m, logo abaixo do refletor “A”, nota-se o refletor “C<sub>1</sub>”, associado ao plano de esfoliação da rocha, bastante evidente. Outros lineamentos subverticalizados e com atitudes contrárias às direções das esfoliações são observados. Após a distância de 150 m (T-2), o contato entre o material argilo-arenoso e material franco-arenoso é realçado pelo refletor “A”, que torna-se mais nítido. A profundidade deste contato diminui até a distância de 220 m, tornando-se, a partir desse ponto, gradativamente maior, atingindo 10 m na posição 270 m. Este aspecto está relacionado com presença do canal aluvial (região “D”) que também está identificado no radargrama obtido com as antenas de 50 MHz (Fig. 5). Este canal apresenta, em detalhe, refletores planos, curvados, descontínuos, com pequenas ondulações comuns num sistema aluvial. No contato com o embasamento visualizam-se *onlaps*.

Na terceira área foi feito o levantamento da vertente onde se localiza a Voçoroca N° 275 (Fig. 7). Esta vertente é marcada pela presença de vegetação mais densa na parte superior da encosta.

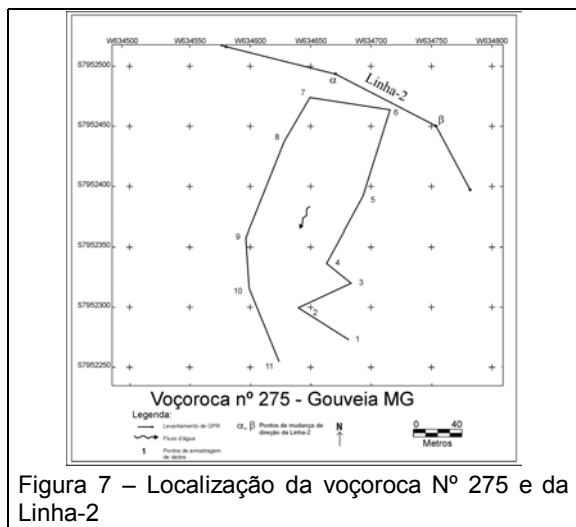


Figura 7 – Localização da voçoroca N° 275 e da Linha-2

Nessa área foram realizados perfis no topo da vertente, perpendiculares à direção da catena (Linha-2), para se obter a visualização lateral das feições da subsuperfície no local.

No radargrama obtido na Linha-2, com as antenas de 100 MHz (Fig. 8), pode-se observar a estrutura da subsuperfície. Nele aparece bem nítido a reflexão da linha de seixos, que ocorre ao longo de quase todo o perfil. Visualiza-se ainda sua variação de profundidade, tornando-se mais rasa na distância de 146-148 m. Abaixo deste refletor, observam-se estruturas e fraturas inclinadas para ambos os lados. Entre as distâncias compreendidas entre 40 e 90 m é possível

verificar-se um ligeiro rebaixamento da linha de seixos em ambos os lados, apresentando, logo abaixo, refletores curvados para cima, sugerindo a existência de uma paleo-canal. A presença de reflexões truncadas e inclinadas indica a existência de muitos lineamentos que podem ser explicados como sendo reflexões devido aos fraturamentos ou aos planos de foliação da rocha, ainda preservados no saprólito. Na parte final do radargrama nota-se que a reflexão do sinal na linha de seixos torna-se menos nítida, devido à mudança de direção da Linha-2, sugerindo que, nesta direção, ela tenha diminuído de espessura ou que a quantidade de seixos reduziu ou se encontra e dispersa no perfil.

### Conclusões

Os resultados obtidos indicam que o Geo-radar constitui uma ferramenta útil e eficaz no estudo geomorfológico, uma vez que possibilita a identificação de feições de interesse para o estudo da evolução da encosta, tais como: linha de seixos, paleo-canais, fraturas, esfoliações de rochas granitóides, contato solo/saprólito. Deve-se ressaltar, contudo, esses resultados são excepcionalmente bons devido às propriedades dielétricas do solo local, o que pode não ocorrer em outras áreas.

Outro aspecto a ser salientado é a utilização de antenas com frequências diferentes, 50 e 100 MHz, na obtenção dos perfis, o que possibilitou a identificação de estruturas da subsuperfície com maior detalhe e com grau de certeza maior.

### Referências Bibliográficas:

- Almeida-Abreu, P.A.** (1993). Evolução geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade de Freiburg, 150p. Freiburg-Alemanha.
- Aranha, P.R.A.; Augustin, C.H.R.R.; Lucio, P.S. e Neves, F.A.P.S.** (1998). Estudo das coberturas superficiais na região de Gouveia - MG, com o uso de GPR (ground penetrating radar). XL Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, p.387, Belo Horizonte.
- Aranha, P.R.A.; Augustin, C.H.R.R. e Botelho, M.A.B.** (1999). The use of Ground Penetrating Radar (GPR) to Access Subsurface Structures near a Hollow With a Gully, Gouveia, MG-Minas Gerais. Regional Conference on Geomorphology (IAG-UGB), p.67, Rio de Janeiro.
- Augustin, C.H.R.R.** (1995). Geoökologische Studien in Südlichen Espinhaçogebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien unter besonderer Berücksichtigung der Landschaftsentwicklung. Tese de Doutorado, Universidade de Frankfurt. 121p., Frankfurt-Alemanha.
- Bacellar, L.A.P.** (2000). Condicionantes Geológicas, Geomorfológicas e Geotécnicas dos Mecanismos de Voçorocamento na Bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG. Tese de Doutorado, COPPE/UFRRJ, 226p., Rio de Janeiro.
- Benson, A.K.** (1995). Applications of GPR in assessing some geological hazards: examples of ground water

contamination, faults, cavities. *Journal of Applied Geophysics*, v.33, p.177-193.

**Bristow, C.** (1994). A new look at the Lower Greensand using ground-penetrating radar. *Geology Today*, p.24-27.

**Collins, M.E.; Puckett, W.E.; Schellentrager, G.W. e Yust, N.A.** (1990). Using GPR for micro analyses of soils and karst features on the chiefland limestone plain in Florida. *Geoderma*, v.47, p.159-170.

**Cook, J.C.** (1973). Radar exploration through rock in advance of mining. *Trans. Soc. Mining Eng., AIME*, v.254, p.140-146.

**Daniels, J.J.; Roberts, R. e Vendl, M.** (1995). Use of GPR in detecting contamination plume. *Journal of Applied Geophysics*, v.33, p.195-207.

**Doolittle, J.A.** (1987). Using ground-penetrating radar to increase the quality and efficiency of soil surveys. In: Reybold, W.U. e Petersen, G.W. (Eds.), *Soil Survey Techniques*. Soil Science Society of America, Special Publication, N° 20, p.98.

**Doolittle, J.A. e Collins, M.E.** (1995). Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, v.33, p.101-108.

**Holub, P. e Dumitrescu, T.** (1994). Détection des vaités à l'aide de mesures électriques et du géoradar dans une galerie d'amenée d'eau. *Journal of Applied Geophysics*, v.31, p.185-195.

**Mellet, J.M.** (1995). GPR and its applications in Engineering, Geology and Environmental Manegement. *Journal of Applied Geophysics*, v.33, p.157-166.

**Neves, F.A.P.S.; Aranha, P.R.A. e Lucio, P.S.** (1997). Estudos de voçorocas usando GPR. *Simpósio Regional de Geologia (SBG)*, Resumos, p.35, Penedo, Rio de Janeiro.

**Sauck, W.A.; Alves, J.G.V. e Luiz, J.G.** (1995a). Succesfull applications of GPR in the Lower Amazon Region, Belém, Pará, Brazil. 4° Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. SBGf, Cdroom, SBGf296-95, Rio de Janeiro.

**Sauck, W.A.; Oliveira, J.A.D. e Carvalho, J.S.** (1995b). GPR in the middle Amazon basin, Amazonas State, Brazil. 4° Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, SBGf, Cdroom, SBGf297-95, Rio de Janeiro.

**Ucha, J.M.; Vilas Boas, G.S.; Botelho, M.A.B.; Ribeiro, L.P. e Santana, P.S.** (1999). Utilização do radar de penetração no solo – GPR na identificação das camadas de fragipã e de duripã nos solos desenvolvidos sobre os sedimentos do grupo Barreiras. VII Congresso da Abequa. O quaternário e o Meio-Ambiente. Cdroom, Bahia, VIIABEQUA 1CP011.pdf, Porto Seguro.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Fapemig (CEX 1669-95) pelo suporte financeiro desta pesquisa.



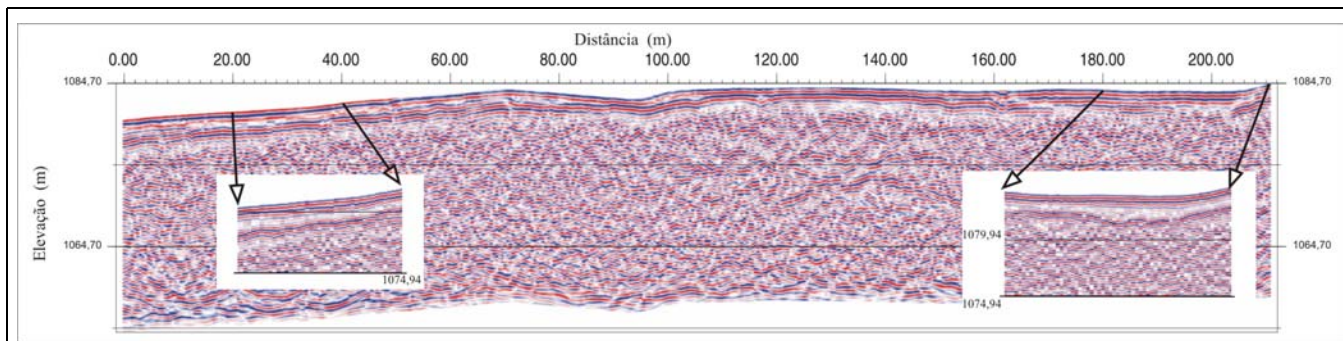


Figura 3 – Radargrama da Linha-2, obtido com antenas de 50 MHz. Observa-se a reflexão na parte superior relacionada com a linha de seixos. Na parte final do radargrama é possível identificar-se também um paleo-canal, marcado pela presença do arqueamento da linha de seixos. Este aspectos são melhor visualizados nas janelas com radargramas obtidos com antenas de 100 MHz.

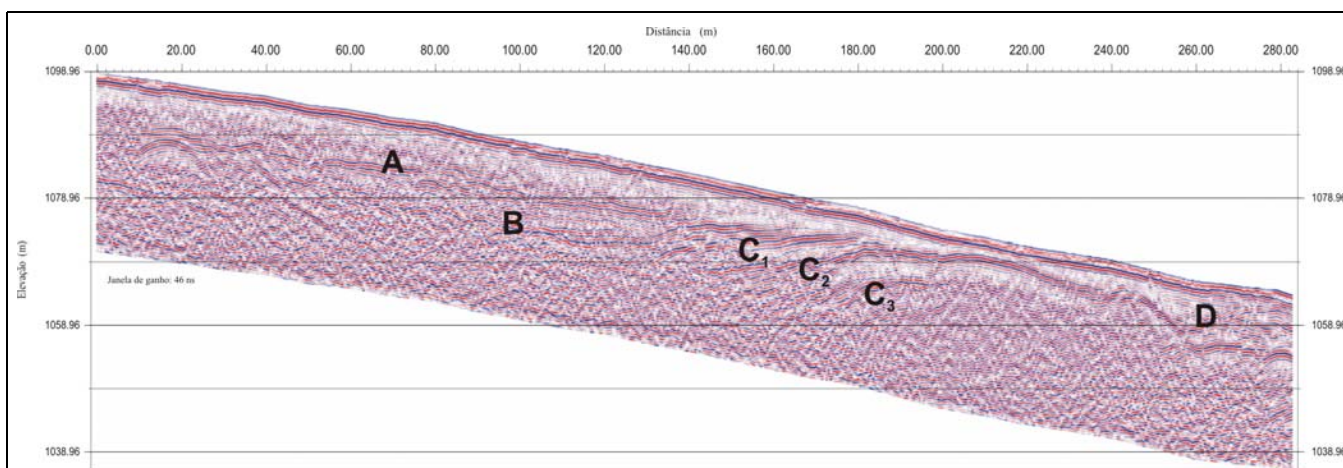


Figura 5 – Radargrama obtido com antena de 50 MHz ao longo da Linha-1. Observam-se os refletores nomeados de A, B, C e a área D. O refletor A é correlacionado com o contato solo/saprólito. Os refletores C's são correlacionados com fraturas de esfoliação do granitóide; enquanto a área D é um aluvião.

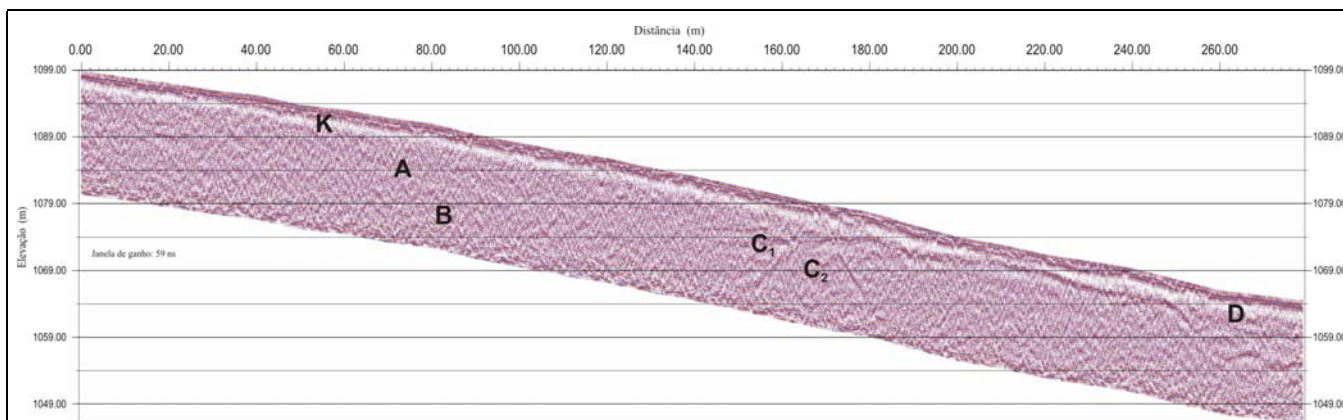


Figura 6 – Radargrama obtido com antenas de 100 MHz ao longo da Linha-1. Neste observam-se também os refletores presentes na figura 5; embora os refletores “A” e “B” não estejam nítidos.

