



Aplicação do GPR na análise da estabilidade de taludes na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG

Paulo Roberto Antunes Aranha^a, Maria Giovana Parizzi^a, Frederico Garcia Sobreira^b,
Terezinha Cássia de Brito Galvão^c & Elder Antônio Beirigo^d

Recebido em 23 de novembro de 2004 / Aceito em 22 de maio de 2005

Resumo

Este trabalho relata utilização do Geo-radar (Radar de penetração do solo) no estudo de estabilidade de talude urbano. Os taludes selecionados para análise foram denominados de Planetóides e Rio Acima, são constituídos, respectivamente, por depósitos de tálus sobre filitos e xisto; e estão localizados na Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG. Eles se caracterizam por sofrerem sucessivos escorregamentos a cada período chuvoso. No Talude Planetóides foi possível detectar a espessura do depósito de tálus, e também a presença de mais de uma superfície de ruptura circular. No Talude Rio Acima, os perfis possibilitaram a detecção em profundidade das disposições e intensidades das fraturas e da xistosidade, as quais são condicionantes de rupturas planares no maciço de xisto. A análise dos dados do Geo-radar juntamente com outros métodos geotécnicos tradicionais de análise de estabilidade possibilitaram a identificação de importantes parâmetros utilizados durante as análises de estabilidades. Mais além, essas investigações permitiram a identificação dos mecanismos de ruptura atuantes em cada um dos taludes.

Palavras-Chaves: Geo-Radar, Taludes, Deslizamentos, Geotecnia

Abstract

This article describes the use of GPR in urban slopes stability analysis. The studied slopes, located at Belo Horizonte County, Brazil, were named Planetóides and Rio Acima and, respectively, are composed by talus over phyllites and talus over schist. Successive landslides have been occurred in these sites during rainy season. At Planetóides slope was possible to observe the talus depth and the presence of more than two circular landslide surface scars. At Rio Acima slope the geophysics profile made possible to observe the depth, orientation and intensity of the schistosity and fractures. These discontinuities are responsible for planar failures of the rock mass. The results of the GPR analysis together with other geotechnical studies made possible the detection of the main parameters used during stability analysis and helped in establishment of the failure mechanisms that had occurred in these slopes.

Keywords: GPR, Slopes, Landslides, Geotechnical studies

^aInstituto de Geociências – Depto de Geologia / UFMG, Campus Pampulha, Av. Antônio Carlos, 6627.
Tel.: 34995442. E-mail: aranha@igc.ufmg.br

^bDepto de Geologia - Escola de Minas – UFOP, Morro do Cruzeiro, S/N. E-mail: sobreira@degeo.ufop.br

^cDepartamento de Geologia Escola de Engenharia / UFMG, Av. do Contorno, Centro. E-mail: tcgalvão@msn.com

^dAluno de Pós-Graduação em Geotecnia/FT, Universidade de Brasília –UNB, Brasília/DF

1. Introdução

Este trabalho apresenta a análise de estabilidade de taludes atualmente instáveis, localizados em diferentes locais na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Os métodos utilizados em análises de estabilidade de taludes são numerosos e a escolha daqueles mais adequados para cada caso depende das características gerais dos taludes escolhidos e das facilidades ou dificuldades para a aplicação de determinados procedimentos.

Os métodos aplicados na investigação dos taludes selecionados envolveram análises geológicas e geotécnicas dos terrenos e interpretação de imagens obtidas com o *Ground Penetrating Radar* (GPR). Este último tem sido utilizado para resolver muitos problemas nos quais a resolução requerida é métrica, numa faixa de 1-30m de profundidade, tais como: geotecnia (Ulriksen, 1982; Katzo et al., 1995; Mellet, 1995), estratigrafia, descontinuidades do solo, aspectos pedológicos, infiltração, percolação de água, migração do ferro, pesquisa e exploração de água subterrânea, investigações arqueológicas, desenvolvimento de minas subterrâneas etc. (Holub e Dumitrescu, 1994; Benson, 1995;

Daniels et al., 1995; Doolittle & Coolins, 1995; Franco et al., 2001; Aranha, 2002; e outros).

A utilização do Geo-radar neste estudo teve a finalidade de identificar contatos entre os depósitos de tálus e os maciços, a espessura dos depósitos, a profundidade e geometria das superfícies de ruptura existentes, a intensidade e orientações das descontinuidades presentes nos maciços rochosos em profundidade. A análise dos dados geofísicos, juntamente com informações das outras investigações geológicas e geotécnicas realizadas, possibilitou a identificação dos principais fatores condicionantes e mecanismos de ruptura atuantes em cada um dos taludes.

Os taludes analisados localizam-se nos municípios de Belo Horizonte e Rio Acima e incorporam litologias do Quadrilátero Ferrífero (Renger et al. 1994) (Fig. 1). O Talude Planetóides está inserido no Grupo Piracicaba, que é composto por filitos da Formação Fecho do Funil e filitos e quartzitos ferruginosos da Formação Cercadinho.

O Talude Planetóides localiza-se entre a BR 356 (topo) e a Rua Planetóides (base). O substrato rochoso é composto pela Formação Cercadinho, entretanto, no talude, o maciço rochoso está totalmente coberto por depósito de tálus, constituído por

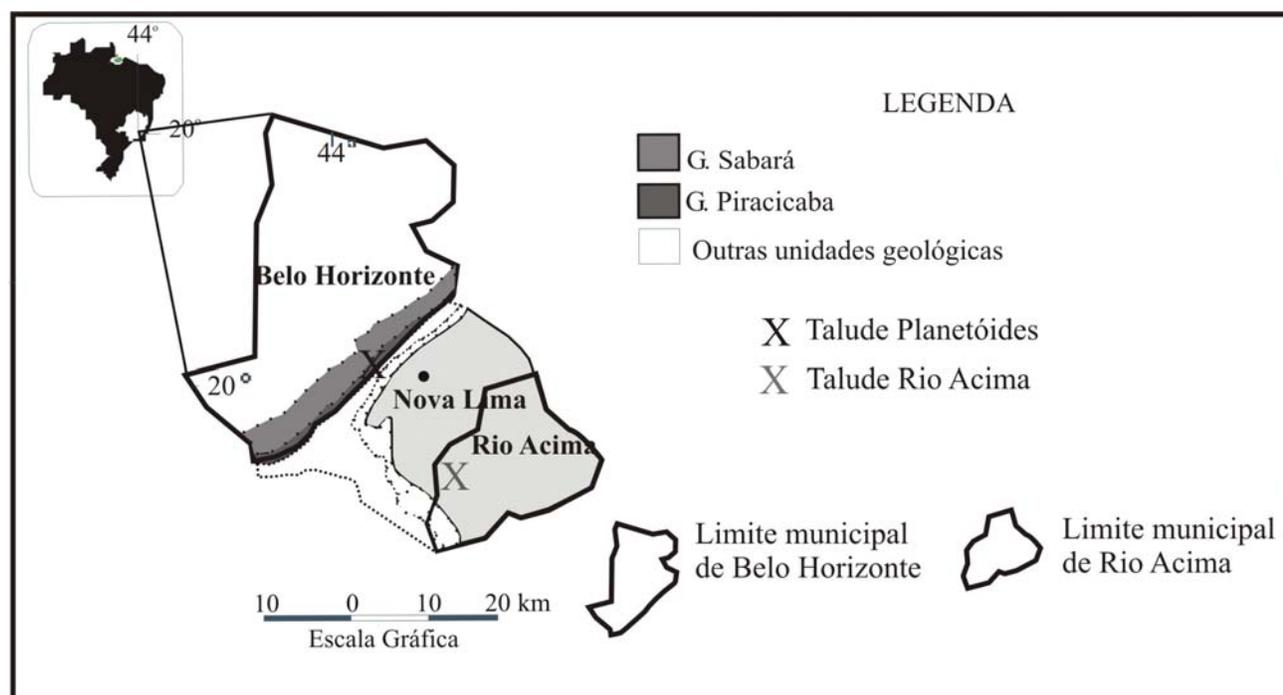


Fig. 1. Esboço geológico e localização dos taludes analisados (modificado de Parizzi, 2004).

fragmentos dessa formação. O talude apresenta inclinação média de 30° e altura de 40 m. O material que constitui o depósito de tálus, provavelmente, foi lançado na encosta na época da abertura da BR 356.

O Talude Rio Acima é constituído por quartzo-sericita-xisto do Grupo Nova Lima (Parizzi, 2004). Localiza-se na entrada da cidade de Rio Acima, 40 km a sul de Belo Horizonte, na estrada MG030, que liga Belo Horizonte aos municípios de Nova Lima e Rio Acima. Esse talude é constituído por maciço rochoso pertencente à Unidade Mestre Caetano do Grupo Nova Lima (CPRM, 1996). Apresenta altura de 35 m e inclinação geral de 30°. Durante os meses chuvosos, blocos rochosos se rompem do maciço e, quando não caem diretamente na estrada, geram depósito de tálus de pequena espessura ao longo da face do talude.

2. Metodologia

Para a execução desse estudo foram utilizados métodos geotécnicos auxiliados por imagens obtidas pelo Geo-radar. Em cada um dos taludes foram realizados levantamentos topográficos detalhados para a obtenção de suas características morfológicas.

Os métodos geotécnicos escolhidos para a investigação dos taludes foram empregados de acordo com os seguintes critérios:

Os maciços rochosos foram caracterizados através de inspeções geológicas de campo, incluindo o mapeamento das camadas litológicas que caracterizam o maciço do local e a medição das descontinuidades, conforme os aspectos de rugosidade, abertura, persistência, preenchimento e condições de umidade.

Os dados obtidos das inspeções geológicas de campo foram tratados através do sistema de classificação dos maciços rochosos RMR de Bieniawisk (1989) e do Sistema Q (Barton *et al.*, 1974).

A análise de estabilidade dos maciços rochosos foi executada seguindo-se os critérios da análise cinemática das descontinuidades, com o auxílio de projeção estereográfica e da análise de

equilíbrio limite. Para esta última, utilizou-se os programas “*Planar Failure Analysis e Wedge Failure Analysis*” (Kroeger, 2000).

A análise de estabilidade de equilíbrio limite dos depósitos de vertentes foi executada de acordo com o método das Fatias (Bishop, 1955). O Programa *Xslope*, desenvolvido por Balaam (2001), foi utilizado para a execução das análises de estabilidade do depósito de tálus, incluindo retroanálise.

A caracterização física dos depósitos de tálus existentes nos taludes, através de ensaios de laboratório e de campo, em amostras deformadas e indeformadas da matriz do tálus. Os ensaios incluem granulometria, limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos, cisalhamento direto com amostras inundadas e massa específica natural da matriz do tálus. Ensaios em campo da permeabilidade foram executados com o auxílio do Permeâmetro *Guelph*.

Nos taludes Planetóides e Rio Acima foram realizados perfis com o Geo-radar (GPR). Este método consiste na emissão de ondas eletromagnéticas (espectros variando entre 10 e 2.500 MHz) e recepção dos sinais refletidos nas estruturas ou interfaces da subsuperfície. Os sinais são emitidos e recebidos através de antenas dispostas na superfície do terreno. As medidas de tempo de percurso das ondas eletromagnéticas são efetuadas ao longo de uma direção, e quando justapostas lado a lado, fornecem uma imagem detalhada (de alta resolução) da superfície ao longo do perfil estudado. A penetração da onda EM do radar é condicionada principalmente pelas propriedades elétricas dos terrenos. Os perfis foram obtidos no modo de afastamento-comum, utilizando antenas de 100 MHz, com espaçamento de 0,20 m entre as estações de medida. As antenas foram posicionadas perpendicular à direção dos perfis. Os pontos iniciais e finais dos perfis foram marcados no terreno com piquetes. O posicionamento das antenas no plano inclinado do talude foi realizado utilizando-se uma trena, dessa forma necessitou-se corrigir a localização de cada ponto (traço) no programa de processamento, uma vez que a medida original de distância horizontal foi inclinada. Para a obtenção do perfil de velocidade

foram obtidos perfis CMP's perpendicularmente à linha de maior declividade dos taludes, devido às suas inclinações.

O processamento dos dados 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 talude a partir da interpretação de perfis de CMP's. No geral, os perfis de velocidade foram elaborados a partir das médias das velocidades e das profundidades (em tempo) interpretadas em cada um dos perfis de CMP's. No talude Planetóides a velocidade varia de 88 μ /ms na parte superior até 72 μ /ms na parte inferior do perfil. No talude Rio Acima a velocidade varia de 96 μ /ms na parte superior até 76 μ /ms na parte inferior do perfil. Os perfis foram migrados (*F-K*), utilizando-se o campo de velocidade obtido com os perfis CMP's. Em seguida, a variação de topografia foi corrigida com a aplicação da correção estática e converteu-se o radargrama em escala de tempo (ns) para escala de profundidade (m) utilizando os campos de velocidade de cada talude.

3. Discussão dos Resultados

O Talude Planetóides apresenta cicatrizes de ruptura com inúmeros degraus de abatimento e fendas de tração que evidenciam a existência de rastejamento como o principal tipo de movimentação do talude. Como não há exposição do maciço rochoso as investigações concentraram-se no depósito de tálus existente. A forma côncava do local investigado diferencia-se dos outros taludes vizinhos, geralmente retilíneos ou convexos. Essa morfologia favorece o acúmulo de depósitos e também a concentração de águas pluviais. Não há exposição do maciço rochoso no talude, que está coberto por depósito de tálus. O tálus possui fragmentos de filito e quartzito, geralmente muito ferruginosos, o que resulta em uma coloração cinza escura a preta para a matriz do depósito. Nesse depósito é nítido o suporte dos fragmentos pela matriz mais abundante, constituído de material silto-arenoso. Os ensaios de

cisalhamento direto forneceram ângulos de atrito entre 30 a 28° e coesão entre 0 a 10 kPa. A presença de óxidos de ferro na constituição mineralógica da matriz, proveniente da hematita dos fragmentos de quartzito ferruginoso, é, possivelmente, responsável pela alta massa específica dos grãos encontrada para as amostras, da ordem de 3,0 g/cm³. A matriz desse depósito também apresentou elevados valores de massa específica natural, da ordem de 2,0 g/cm³ a 1,8 g/cm³, e da ordem de 1,65 para a massa específica seca. O índice de vazios foi considerado alto (0,8 – 0,9), de acordo com a classificação da IAEG (1979).

Os perfis de Geo-radar no Talude Planetóides foram executados com o objetivo de investigar a espessura do tálus, caracterizar a geometria das superfícies de ruptura existentes e definir o contato entre o depósito e o maciço. Foram realizados quatro perfis, sendo três transversais e um longitudinal à face do talude (Fig. 2). Ao analisar o radargrama do perfil - L1 (Fig. 3), observa-se a presença do depósito de tálus sobre o maciço rochoso, pela identificação de dois padrões de reflexões existentes na parte superior. As reflexões do tálus se mostram com boas amplitudes e contínuas, enquanto que as amplitudes das reflexões do maciço se apresentam mais fracas e descontínuas. Mais além, foi possível identificar a geometria de superfícies de rupturas no tálus (reflexões fortes e paralelas ao contato tálus/macico rochoso) e de lineamentos mais profundos, interpretados como foliação da Formação Cercadinho mergulhando para sul com ângulo aproximado de 30°.

Os perfis transversais também permitiram a identificação dos mesmos tipos de reflexões, interpretadas como sendo o depósito de tálus em contato com o maciço rochoso. Isto pode ser visualizado no radargrama do perfil L-4 obtido transversalmente próximo à base do talude (Fig. 4). Neste é possível visualizar-se mais de uma superfície de escorregamento. A espessura média para o tálus é de 3m, que varia ligeiramente em função do relevo local. Algumas rupturas pouco profundas (1 a 2 m) e outras próximas ao contato tálus/macico (3 m) são reflexões com fortes

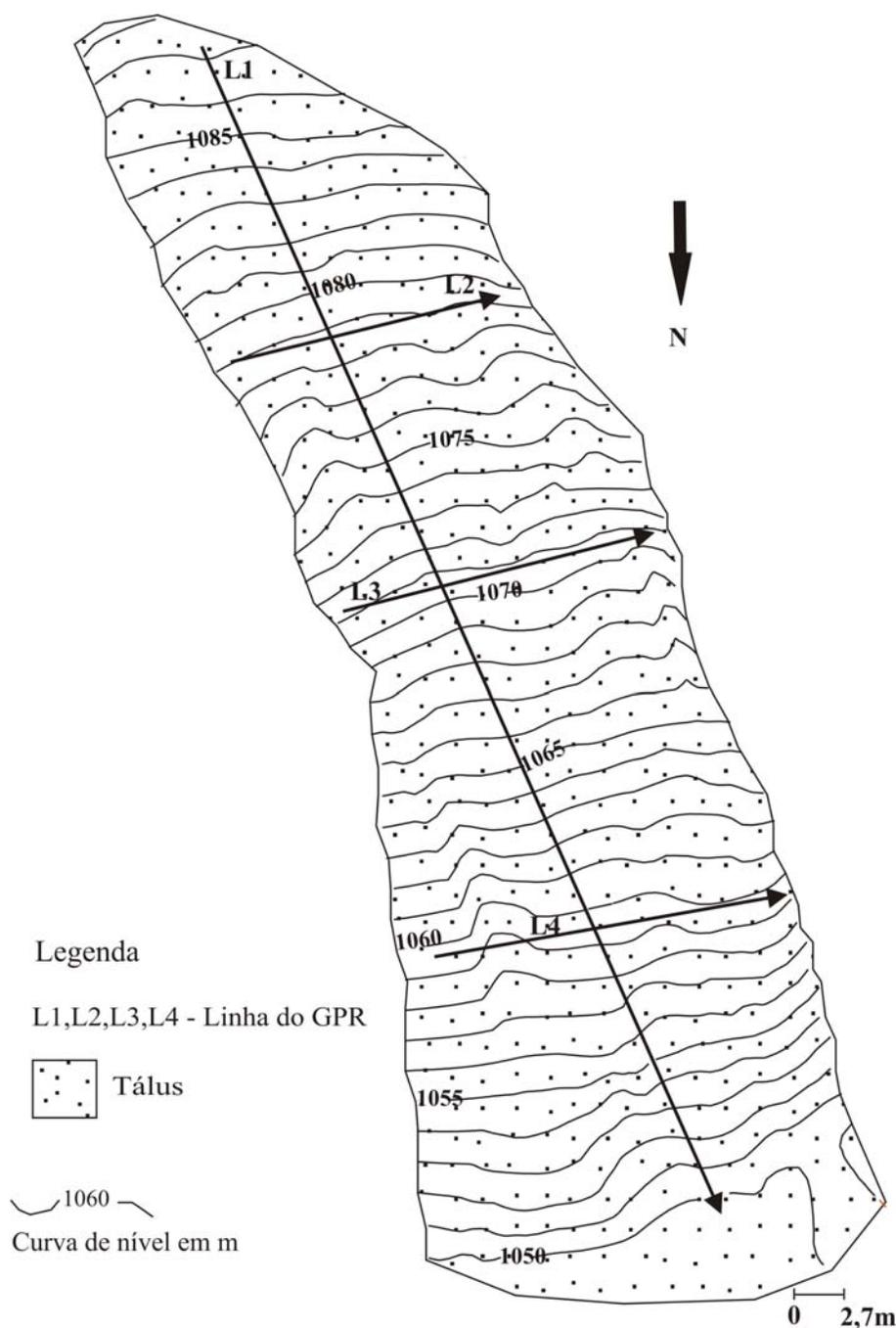


Fig. 2. Perfil topográfico do Talude Planetóides, com a localização dos perfis de Geo-radar (modificado de Parizzi, 2004).

amplitudes que se destacam, elas geralmente estão contínuas e semicirculares.

Os dados obtidos pelas investigações geotécnicas permitiram a execução de retroanálise das últimas rupturas ocorridas no Talude Planetóides. Os parâmetros utilizados incluíram as faixas de valores de coesão e atrito obtidos nos ensaios laboratoriais, a topografia do talude (inclinação e altura) e a geometria das superfícies de ruptura

obtidas através da interpretação dos radargramas. As poro-pressões atuantes no momento da ruptura foram estimadas através do coeficiente de poro pressão r_u , descrito por Bishop & Morgenstern (1960). A retroanálise permitiu a obtenção dos parâmetros de r_u , considerando o fator de segurança unitário. A coesão de 2kPa e o atrito de 28° foram os valores que possibilitaram o traçado das superfícies de ruptura que mais se

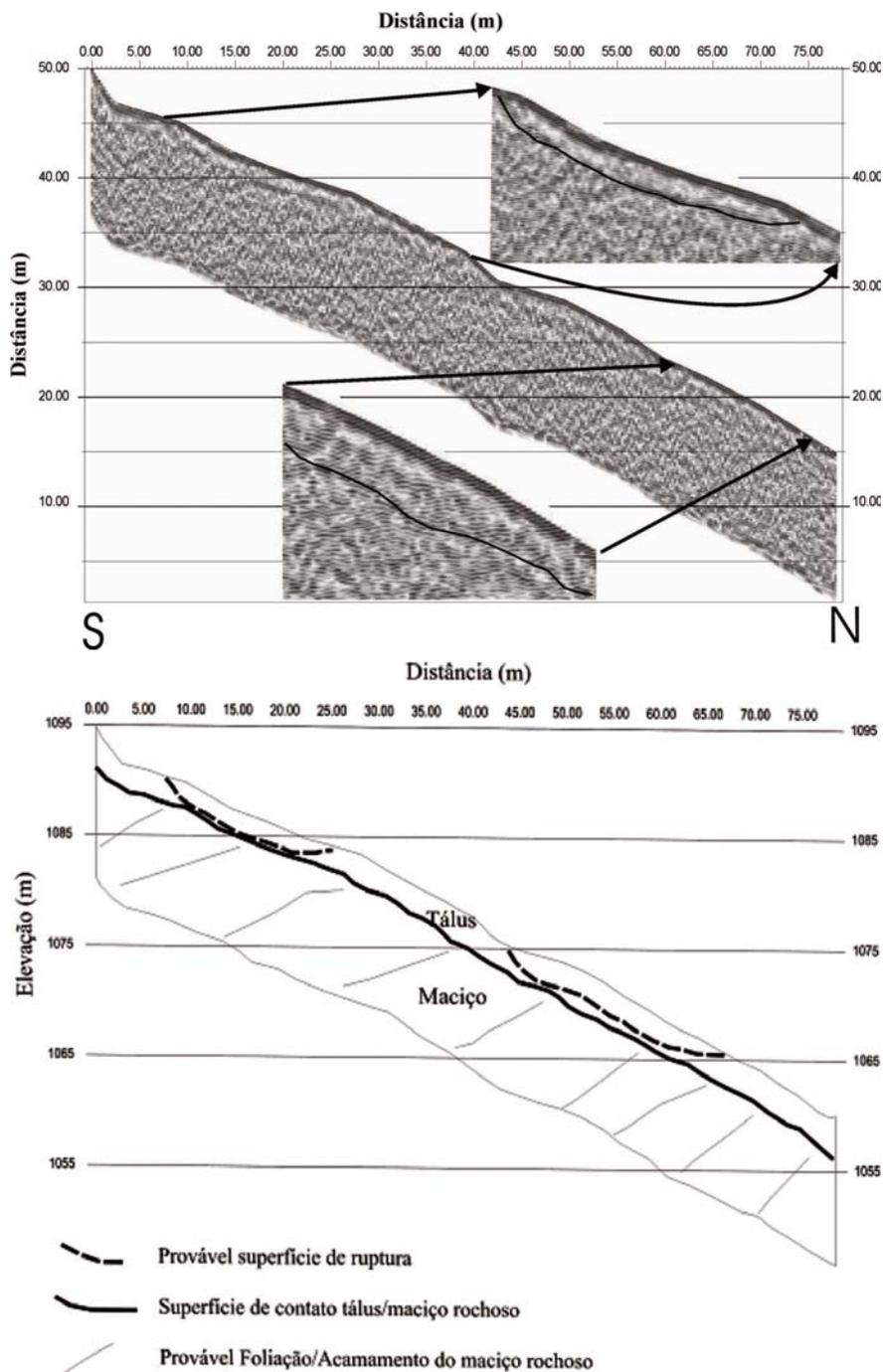


Fig. 3. a) Radargrama do perfil L1, obtido ao longo do talude, com antenas de 100 MHz; b) perfil interpretado do talude.

aproximaram das superfícies interpretadas nos radargramas. A retroanálise indica os parâmetros responsáveis pela condição de equilíbrio limite do talude. O perfil do Talude Planetóides e o modelo de ruptura elaborado durante a retroanálise estão mostrados na Figura 3b.

O segundo talude, Rio Acima, apresenta altura de 35 m e inclinação geral de 30° (Fig. 5). No maciço observa-se a xistosidade bem pronun-

ciada com direção e mergulho geral de N60/30° que, localmente, muda para N335/30° devido à presença de um dobramento suave e aberto, com eixo N15/23°. Além da xistosidade, foram identificadas três famílias de fraturas subverticais, persistentes e com espaçamento médio de 90 cm. Estas são responsáveis pela delimitação dos blocos de xisto que se rompem do xisto. As Classificações RMR (Bieniawski, 1989) e Q (Barton *et al.*, 1974) do

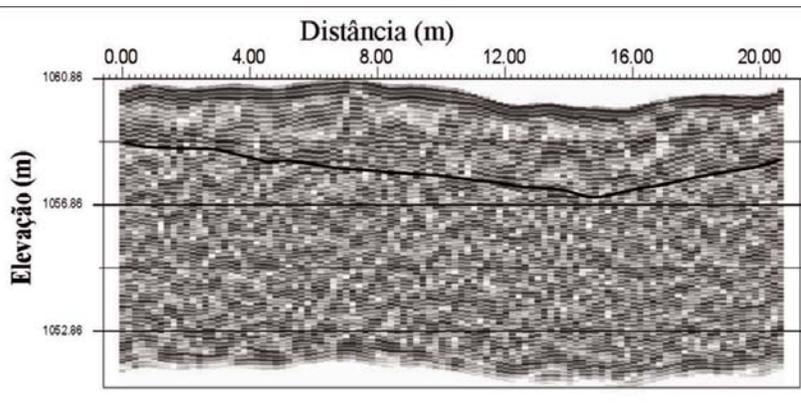


Fig. 4. Radargrama do perfil L4, transversal ao talude, com antenas de 100 MHz.

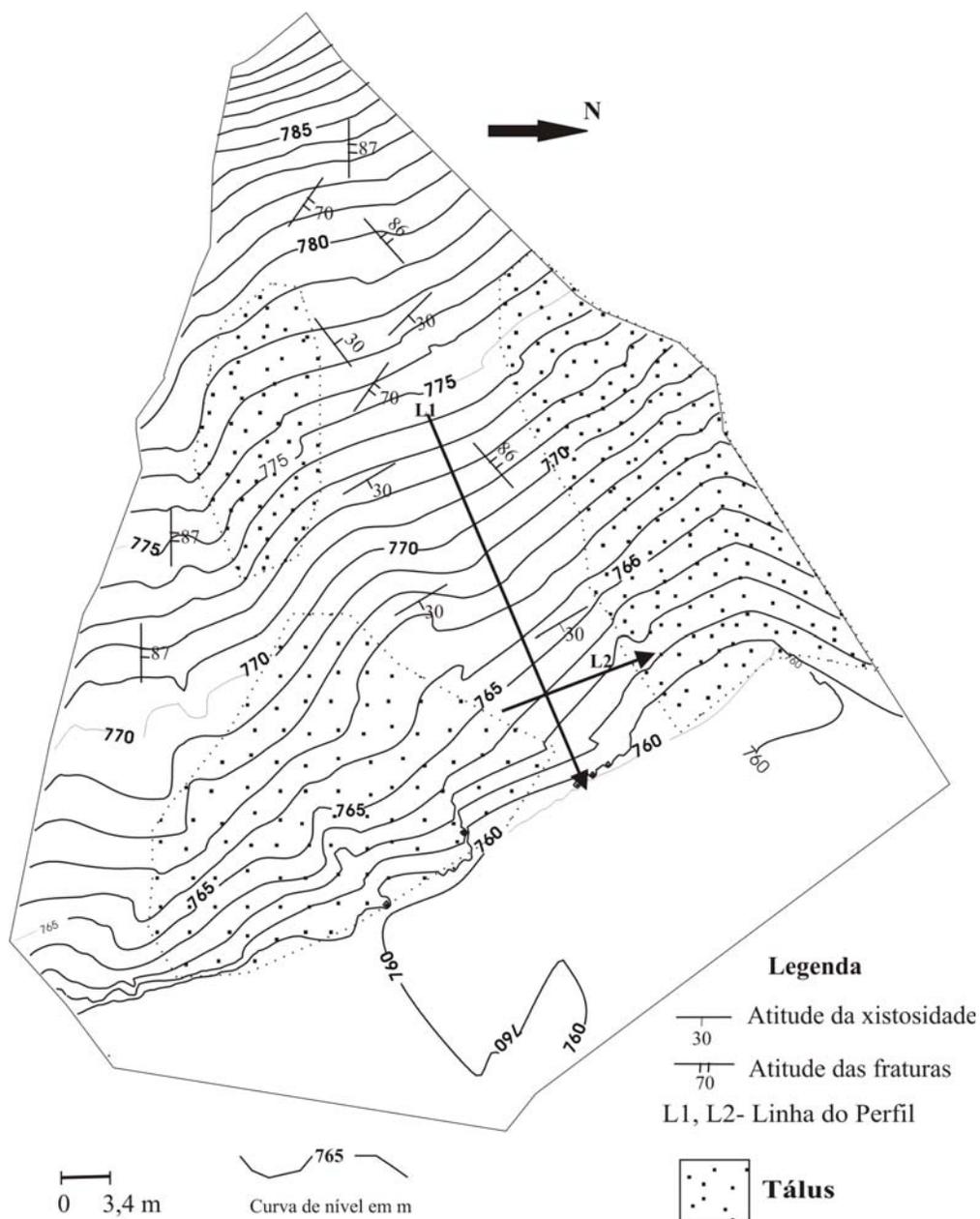


Fig. 5. Mapa Topográfico do Talude Rio Acima, no qual são mostrados os depósitos de tálus e os perfis de Geo-radar, L1 e L2 (modificado de Parizzi, 2004).

maciço foram realizadas para a obtenção de valores aproximados dos parâmetros de resistência. A classificação do maciço conforme o critério RMR foi classe V (nota = 7), ou seja, maciço muito ruim, com valores prováveis de ângulos de atritos menores ou iguais a 15° e coesão menor que 100 kPa. Pelo critério de Barton, o ângulo de atrito encontrado foi de 14° , valor próximo ao encontrado pela classificação RMR.

A análise cinemática das discontinuidades permitiu a comprovação de que o maciço rochoso é susceptível apenas a rupturas planares (Fig. 6). As superfícies de ruptura são paralelas aos planos de xistosidade, que por sua vez, são paralelos ao plano do talude.

Os perfis de Geo-radar foram realizados na face do talude ao longo das linhas L1 e L2 (Fig. 5), objetivando caracterizar melhor o sistema de discontinuidades do maciço e outras estruturas presentes. O perfil L1 foi obtido a partir da cota 760 m até a cota 774 m do talude, paralela ao mergulho da xistosidade. O segundo perfil L2 foi

obtido transversalmente ao perfil L1, na cota de 764 m.

Pela análise do radargrama do perfil L1 (Fig. 7), foram observados planos de xistosidade ligeiramente ondulados e das discontinuidades subverticais, principalmente as famílias de fraturas J3 e J4. Mais além, verificou-se que as discontinuidades subverticais são persistentes e atingem profundidades maiores (cota 748 m). Entretanto, a continuidade de algumas fraturas é interrompida por uma reflexão sub-horizontal à profundidade de 752,70 m com forte amplitude, a qual foi interpretada como veio de quartzo. Em direção ao topo do talude, ao final da linha L1, as reflexões das discontinuidades estão mais nítidas. Nesse ponto, também pode-se observar maior imbricação dos planos de xistosidade, interpretada como resultante dos escorregamentos planares dos blocos limitados pelas discontinuidades. À medida que se deslocam, os blocos rompidos comprimem uns aos outros provocando imbricação e desenvolvimento de trincas.

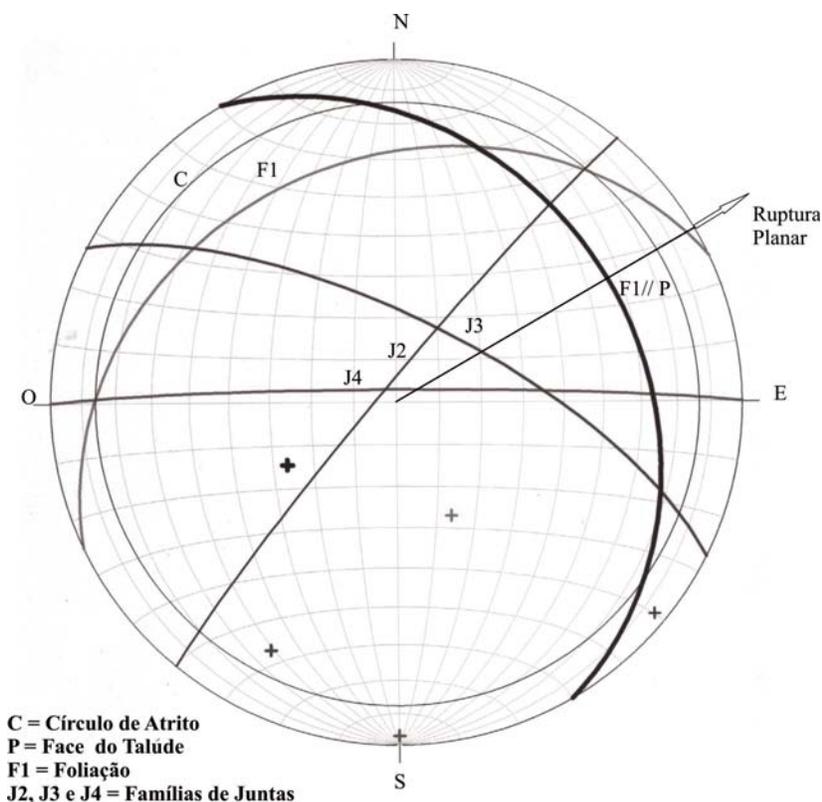


Fig. 6. Projeção Estereográfica (Schmidt Lambert) exibindo a análise cinemática das discontinuidades do Talude Rio Acima.

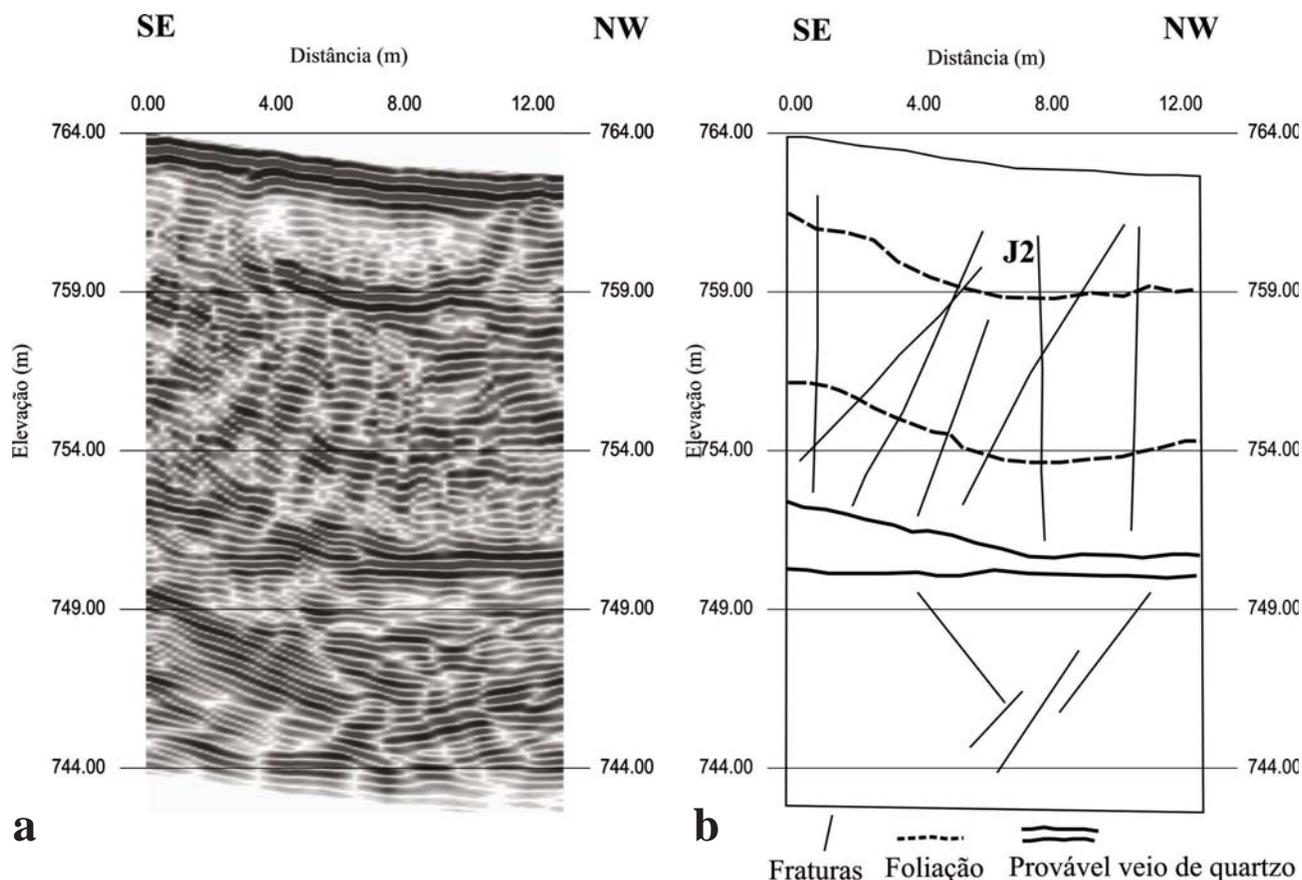


Fig. 7. a) Radargrama do perfil L1, obtido com antenas de 100 MHz, ao longo do talude; b) perfil interpretado do radargrama.

O radargrama do Perfil L2 (Fig. 8) permitiu a visualização do dobramento aberto dos planos de xistosidade, das famílias de fraturas “J2” e do (possível) veio de quartzo cortando as camadas em profundidade (cota 752,70 m).

Pela análise dos dados geotécnicos e geofísicos, observou-se que o Talude Rio Acima sofre rupturas planares segundo blocos pouco espessos, paralelos aos planos de xistosidade. De um modo geral, o comprimento desses blocos é determinado pelo espaçamento entre as fraturas subverticais e a espessura é determinada pelo espaçamento entre as fraturas paralelas à xistosidade, que não ultrapassam 50 cm. As aberturas maiores que 3 cm, observadas nas famílias de fraturas subverticais, são indicadores de deslocamento dos blocos. As fraturas paralelas à xistosidade, são, provavelmente, desenvolvidas pelo alívio de tensão e estimuladas pelos escorregamentos dos blocos sotopostos e pela a percolação da água nas descontinuidades. Utilizando-se os parâmetros

obtidos na classificação do maciço e na análise cinemática, fez-se uma análise da estabilidade do talude com relação à ruptura planar com a utilização do programa *Plane Failure Analysis*.

As seguintes características foram estabelecidas para a configuração do bloco de ruptura:

- A face inferior do talude corresponde ao corte realizado na base do talude, com altura de 1,30, direção paralela à xistosidade e mergulho de 90°.

- A face superior do talude corresponde à face do maciço com direção e mergulho paralelo ao da xistosidade. Entretanto, o valor do mergulho foi de 29,8° e não de 30°, isso para atender às condições de análise de ruptura planar de Hoek & Bray (1981) e Kroeger (2000) que, dentre outras, determinam que a inclinação da face superior do talude deve ser menor que a inclinação do plano de ruptura.

As famílias de fraturas subverticais, que delimitam os blocos, geram possíveis fendas de

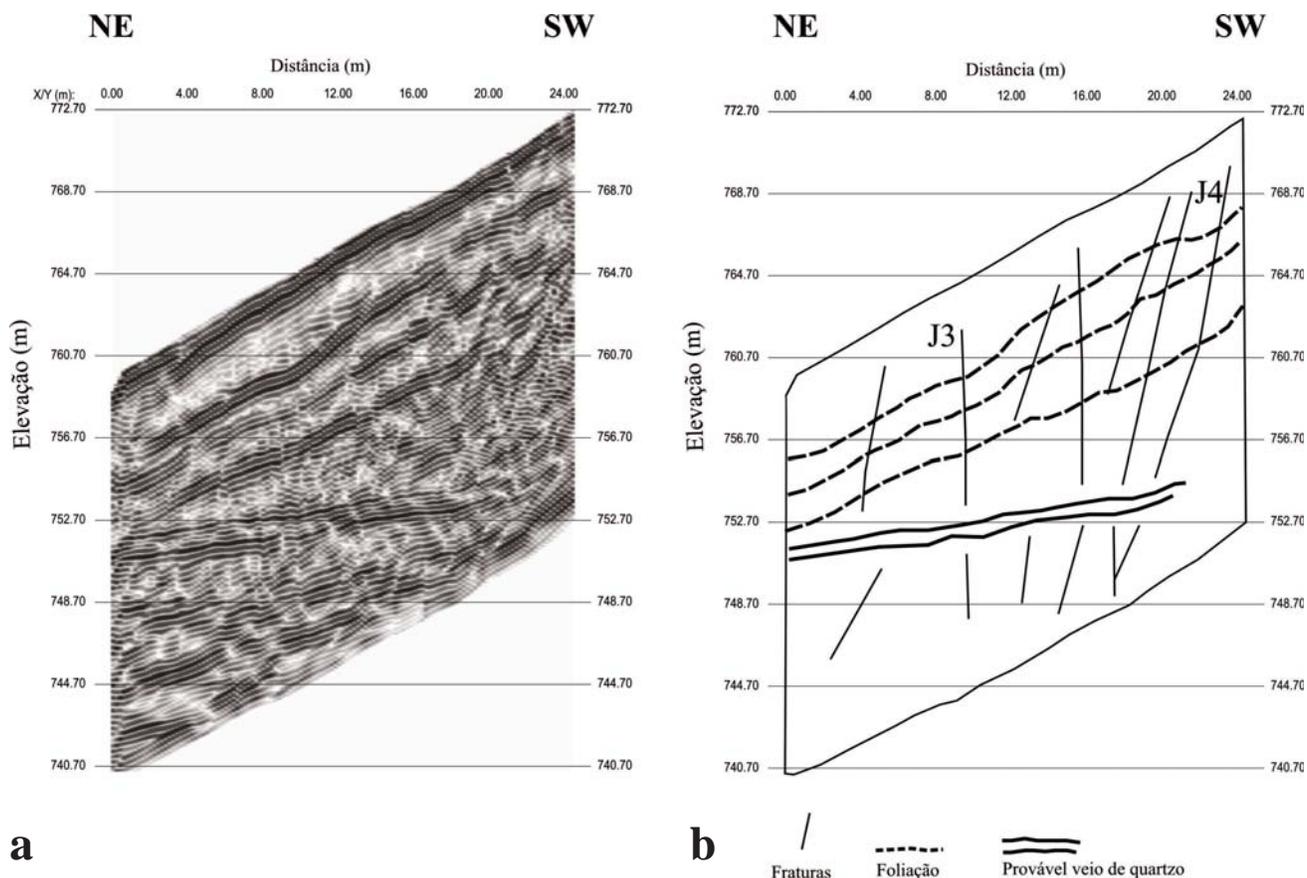


Fig. 8. a) Radargrama do perfil L2, obtido com antenas de 100 MHz, transversalmente à direção do talude; b) perfil interpretado do radargrama.

tração e são caminhos de percolação da água até os planos de xistosidade. Neste caso, as fraturas subverticais implicariam em fendas de tração profundas e cada plano de xistosidade é uma possível superfície de ruptura.

4. Conclusões

Os estudos geotécnicos prévios nortearam o trabalho da prospecção geofísica, pois definiram qual o tipo de estrutura e material a ser investigado e qual a posição e traçado das linhas de prospecção, os quais foram essenciais para a obtenção dos dados utilizados nas análises de estabilidade. Pela análise dos resultados foi possível a distinção dos condicionantes e dos mecanismos de ruptura atuantes nos taludes investigados.

A partir da análise dos radargramas foi possível determinar os seguintes parâmetros:

- A geometria e localização das superfícies de rupturas, possibilitando a detecção de super-

fícies planares ou circulares nos depósitos de tálus e maciços rochosos;

- A espessura dos depósitos superficiais e o traçado da superfície de contato depósito/maciço rochoso;

- A intensidade e profundidade de fraturamento dos maciços, os quais são importantes aspectos para a análise do estado geral de degradação do maciço rochoso, e para a verificação da influência das discontinuidades na percolação da água e definição da geometria dos blocos que se rompem.

Esses parâmetros foram essenciais para a execução das retroanálises e outros estudos de estabilidade. Os dados obtidos pelas retroanálises podem contribuir para o desenvolvimento de planos de defesa civil que visem o monitoramento nos taludes.

Diante dos resultados foi possível estabelecer os mecanismos de ruptura dos taludes:

No Talude Planetóides, rupturas do tipo rastejamento e escorregamentos circulares ocor-

rem no talus com espessura de 3 m. As superfícies de ruptura não alcançam necessariamente o contato solo/maciço, demonstrando que a frente de saturação provoca tensões que alcançam as tensões de fluência do material antes de ser atingido o contato.

Em taludes com cortes paralelos à xistosidade, como o Talude Rio Acima, ocorre somente o escorregamento planar. Nestes taludes o processo de alívio de tensão contribui para a total perda de resistência coesiva dos planos de xistosidade. Os blocos limitados pelas outras famílias de descontinuidades ficam, praticamente, sustentados pelo atrito, até que, durante a estação chuvosa, a água infiltrada desencadeia as movimentações.

Conclui-se que o Geo-radar foi uma ferramenta importante no estudo de escorregamentos de taludes, pois os dados que forneceu permitiram a identificação dos parâmetros essenciais na análise dos processos de ruptura.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento de Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento dessa pesquisa – Número 4703/2001.

Referências Bibliográficas

- Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S. & Boyce, G.M., 2001, Slope Stability and Stabilization Methods. New York, John Wiley & Sons, Inc. (2 ed), 712p.
- Aranha, P.R. A., Augustin, C.H.R.R. & Sobreira, F.G., 2002, The use of GPR for characterizing underground weathered profiles in the sub-humid tropics. *Journal of Applied Geophysics*, **49**: 195-210.
- Balaam, N.P., 2001, Slope Stability Analysis – User's Manual for Program XSlope for Windows. Centre for Geotechnical Research, University of Sydney, 98p.
- Barton, N., Lien, R. & Lunde, J., 1974, Engineering Classification of Rock Masses. *Rock Mechanics*, **6** (4): 189 – 236.
- Benson, A.K., 1995, Applications of GPR in assessing some geological hazards: examples of ground water contamination, faults, cavities. *Journal of Applied Geophysics*, **33**: 177-193.
- Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classification. John Wiley, New York, 215p.
- Bishop, A.W., 1955, The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes, *Geotechnique*, **5**: 7-17.
- Bishop, A.W. & Morgenstern, N., 1960, Stability Coefficients for earth slopes. *Geotechnique*, **10** (4): 129-147.
- CPRM, 1996, Projeto Rio das Velhas. CPRM, Belo Horizonte, 203p.
- Daniels, J.J., Roberts, R. & Vendl, M., 1995, Use of GPR in detecting contamination plume. *Journal of Applied Geophysics*, **33**: 195-207.
- Doolittle, J.A. & Collins, M.E., 1995, Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, **33**: 101-108.
- Duncan, J.M., 1996, Soil Slope Stability Analysis. In: Turner, A.K. & Schuster, R.L. (ed.) Landslides – Investigation and Mitigation, Special Report 247. Washington D.C., National Academy Press, 337 – 371.
- Fernandes, G., 2000, Caracterização Geológico-Geotécnica e Propostas de Estabilização da Encosta do Morro do Curral-Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Depto de Engenharia Civil, UFFOP, 136p.
- Fontoura, S.A.B, Campos, L.E.P., & Filho, L.M.C., 1984, A Reanalysis of Some Slides in Gneissic Residual Soils. IV International Symposium on Landslides, Toronto, **1**: 625-629.
- Franco, H.A., Mello, G.A., Pires, A.C.P. & Costa, A.L.L., 1997, Aplicação da metodologia GPR e EM 34-3XL em depósitos coluvionares do vale do Rio do Sono, Novo Acordo, TO. 5º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, SBGf, São Paulo, SBGf170-97, 4p.
- Gomes Correia, A., 1988, Revisão da classificação de solos para propósitos de engenharia. *Geotecnia*, Lisboa, **52**: 75-90.
- Hoek, E. & Bray, J., 1981, Rock Slope Engineering. IMM & Elsevier Applied Science, London, 527p.
- Hoek, E. & Brown, E.T., 1980, Underground Excavations in Rock. Institution of Min. Metall., London, 527p.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C.T. & Corkum, B., 2002, Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. In: Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting, Toronto, 1-7.
- Holub, P. & 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*, **31**: 185-195.
- IAEG, 1979, Classification of rocks and soils for engineering geology mapping. Part 1: rock and soil materials. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld, **19**: 364 –371.
- ISRM – International Society for Rock Mecanics, 1983, Métodos Para a Descrição Quantitativa de Descontinuidades em Maciços Rochosos. São Paulo, ABGE e Comitê Bras. Mec. Rochas. 132p. (Tradução nº 12).
- Katzuo, S., Tsuchida, T. & Toshioka, T., 1995, Application of GPR to detecting and mapping cracks in rock slopes. *Journal of Applied Geophysics*, **33**: 119-124.

- Kroeger, E.B., 1999, Slope Stability Software, **1**: 1-3, <http://www.engr.siu.edu/mining/kroeger>
- Kroeger, E.B., 2000, Analysis of Plane Failures in Compound slopes. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, **14**: 215-222.
- Mellet, J.M., 1995, GPR and its applications in Engineering, Geology and Environmental Management. *Journal of Applied Geophysics*, **33**: 157-166.
- Renger, F.E., Noce, C.M., Romano, A.W. & Machado, N., 1994, Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, **2** (1): 1-11.
- Rocscience Inc., 2002, Roclab- Rock mass strength analysis using the Hoek-Brown failure criterion – User's-Guide. Rocscience, Toronto, 25p.
- Santos, A.R., 2002, Geologia de Engenharia – Conceitos, Métodos e Prática. ABGE-IPT, São Paulo, 219p.
- Souza, L.A.P., Silva, R.F. & Iyomasa, W.S., 1998, Métodos de Investigação. In: A. M. S. Oliveira & S. N. A Brito (ed.) *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, 163 - 196.
- Parizzi, M.G. 2004, Condicionantes e Mecanismos de ruptura de taludes na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. Tese de Doutorado, UFOP, 213p.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. & Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics*. Cambridge, University Press, 770p.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B., 1967, *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley, New York, 659p.
- Turner, A.K., 1996, Colluvium and Talus. In: Turner, A. K & Schuster, R.L. (ed.) *Landslides – Investigation and Mitigation*, Special Report 247. National Academy Press, Washington D.C., 525 - 554.
- Ulriksen, C.P.F., 1982, Application of impulse radar to civil engineering. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia de Engenharia, Lund University of Technology, Lund – Suíça, 175p.



REVISTA DE GEOLOGIA



Assine

**GARANTA o recebimento dos números
da REVISTA DE GEOLOGIA**

FAÇA uma assinatura anual

As instruções encontram-se no site

www.revistadegeologia.ufc.br