



Investigação de campo da encosta na base do Dedo de Deus, BR-116/RJ – km 91,4

Luiz Augusto da Silva Florêncio

Professor Assistente, Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil,
luiz.florencio@poli.ufrj.br

Maurício Ehrlich

Professor Pleno, COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, me@coc.ufrj.br

Gabriel Barros Trunkl

Geólogo, CEG Engenharia, São Paulo, Brasil, gabriel.trunkl@ceg.eng.br

Maurício Abramento

Engenheiro Civil PhD, CEG Engenharia, São Paulo, Brasil, abramento@ceg.eng.br

Beatriz Herter Pozzebon

Gerência de Infraestrutura Rodoviária, Ecorodovias, São Paulo, Brasil,
Beatriz.Pozzebon@ecorodovias.com.br

RESUMO: O presente artigo apresenta a investigação geológico-geotécnica da encosta na base do Dedo de Deus, localizada no km 91+400 a montante da Rodovia Rio-Teresópolis, BR-116/RJ. A investigação teve por objetivo compor a análise inicial das causas do evento que originou a cicatriz de ruptura causada pelo impacto promovido pela queda de um bloco de rocha de grandes dimensões. Foram realizadas visitas técnicas ao local da ocorrência de modo a avaliar a condição da cicatriz por meio de fotos, imagens aéreas e avaliação dos processos geológicos-geomorfológicos da encosta. A campanha de investigação subdividiu a área investigada em dois setores: maciço verticalizado e depósito de Tálu e foi composta por aerofotogrametria, geofísica por eletrorreatividade e sondagens mistas. De forma geral, no trecho em análise, as encostas são formadas por rochas graníticas-gnáissicas, com grau de intemperismo e fraturamento variável, capeada por solo coluvionar. Há um predomínio de rochas maciças e heterogêneas soltas. As investigações foram aplicadas ao mapeamento geomecânico do maciço rochoso e avançaram no sentido de identificar zonas fraturadas do maciço, estimar a geometria dos matacões imersos e definir a posição do topo rochoso.

PALAVRAS-CHAVE: Talude rochoso, Movimento de encostas, Tálu, Geomorfologia, Investigação do solo.

ABSTRACT: The present research presents a geological-geotechnical investigation of the slope at the base of the Dedo de Deus, located at km 91+400 upstream of the Rio-Teresópolis highway, BR-116/RJ. The present investigation aimed to compose the initial analysis of the causes of the event that formed the rupture scar due to the impact caused by the fall of a large rock block that was located at the top of the slope. Technical visits were carried out to the site of occurrence in order to assess the condition of the rupture scar through photos, aerial images and evaluation of the geological-geomorphological processes of the slope. The investigation campaign subdivided the area into two sectors: verticalized massif and Talus deposit and was composed of aerial photogrammetry, electroreactivity geophysics and Standard Penetration and core boring tests. In general, in this area under the slopes are formed by granite-gneiss, with varying degrees of weathering and fracturing, capped by colluvial soil. There is a predominance of massive and heterogeneous rocks. The investigations were applied to the geomechanical mapping of the rock mass advanced towards identifying fractured zones of the massif, estimating the geometry of the immersed boulders and defining the position of the rocky tops.

KEYWORDS: Rocky Slope, Slope movement, Talus, Geomorphology, Soil investigation.



1 INTRODUÇÃO

As encostas da Serra do Mar localizadas na região da Serra Fluminense, denominada de Serra dos Órgãos, são historicamente submetidas a eventos de movimentos de massa de grandes proporções. Segundo o inventário dos escorregamentos do estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000), as quedas de blocos correspondiam a menos de 10% das ocorrências entre todos os tipos significativos de movimentos de massa.

Nas últimas décadas, houve um crescente acúmulo de dados provenientes do monitoramento e de investigação geológico-geotécnica na região, além de pesquisas voltadas à análise e caracterização dos aspectos e causas desses eventos. Devido ao seu alto fluxo rodoviário e à sua importância nacional, trechos da Serra dos Órgãos, localizados na rodovia Santos Dumont (BR-116/RJ), também conhecida como Rodovia Rio-Teresópolis-Além-Paraíba, têm sido objeto de estudos que buscam subsidiar a tomada de decisão e aprofundar o entendimento sobre tais eventos (Silva et al. 2019; Freu 2016; Silva, 2014; Oliveira, 2012; D'orsi, 2011).

De forma a colaborar com a caracterização dessa região, o presente artigo tem por objetivo apresentar a investigação geológico-geotécnica da encosta da base do Dedo de Deus, km 91,4 da BR-116/RJ, que compõem a análise inicial do evento que originou a cicatriz de ruptura.

2 DESCRIÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA E DA OCORRÊNCIA VERIFICADA NO LOCAL

Entre o km 91 e km 92 da BR-116/RJ, tem-se encostas naturais formadas por rochas graníticas-gnaissicas, com grau de intemperismo e fraturamento variado, capeada por solo coluvionar, que sustenta vegetação de médio e grande porte. O local de estudo não apresenta obras de arte especiais ou estruturas de contenção.

Em fevereiro de 2020, no km 91+400 da BR-116/RJ, ocorreu um evento geotécnico caracterizado pelo impacto promovido pela queda de um bloco de rocha de grandes dimensões que se localizava encosta acima. Em virtude do impacto da queda do bloco houve movimento de solo superficial e formação de cicatrizes. A Figura 1 apresenta a localização da área de investigação com destaque para uma imagem de satélite com a visão geral do trecho da ocorrência e das cicatrizes originadas pelo evento.

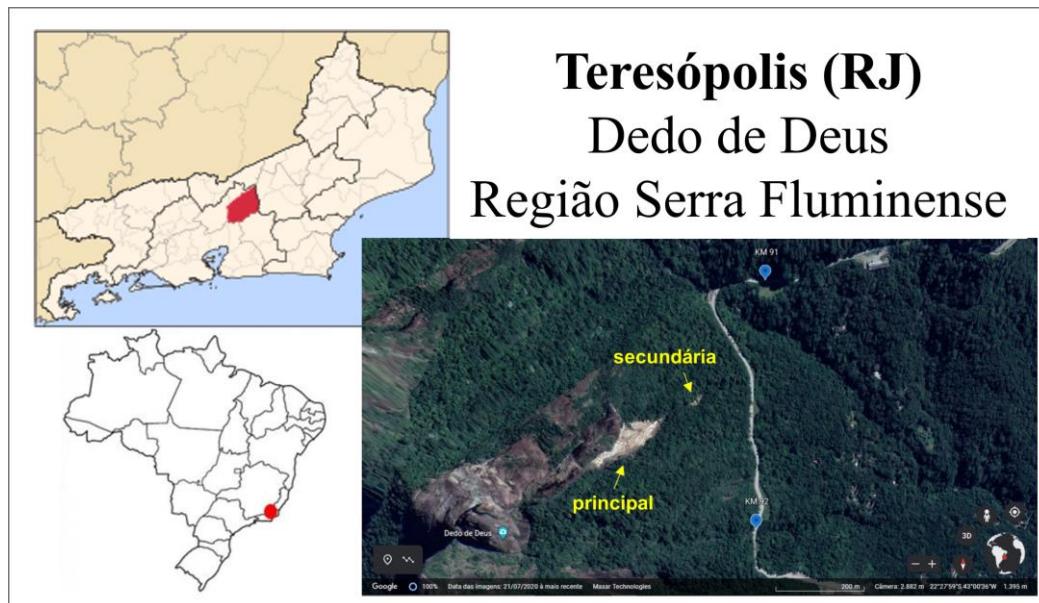


Figura 1. Localização da área de investigação com destaque para as cicatrizes pós evento, BR-116/RJ, entre km 91 e km 92. (Fonte: Google Earth, maio/2022).

No trecho situado entre a rodovia e a cicatriz, a encosta tem inclinação média de cerca de 40° a 45°. O montante de chuvas medido nas estações pluviométricas instaladas no km 89, km 90 e km 92 nas 24 horas anteriores ao evento foi de 3,4 mm, 0,6 mm e 1,5 mm, respectivamente. As análises preliminares após o evento caracterizaram a cicatriz principal com cerca de 300 m de extensão, 150 m de largura e profundidade variável. Considerando uma espessura média de 2 m de material deslocado e peso específico médio de 16,7 kN/m³, estimou-se que o montante de solo e rocha deslocado foi cerca de 150 mil toneladas. O material deslocado não

atingiu a rodovia, tendo permanecido, em grande parte, em um trecho de 150 m de vegetação abaixo da cicatriz principal e distante 250 m da BR-116/RJ. A Figura 2 apresenta um detalhe da área de investigação com as dimensões da cicatriz principal após o evento e da sua distância à rodovia.



Figura 2. Detalhe da área de investigação (a) Cicatriz principal (b) Distância da cicatriz principal à rodovia.
Março de 2020.

Segundo o mapa do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a região onde se insere o local de análise é composta por três grupos geológicos (Heilbron et al. 2016). Primeiro têm-se a Suíte Serra dos Órgãos, que inclui granitoides e granitos com biotita e/ou hornblenda de granulação grossa e estrutura equigranular a levemente porfirítica, geralmente com uma foliação incipiente e descontínua dada pela biotita e hornblenda, ocorrendo também granada nos termos leucocráticos. O Segundo é o Granito Teresópolis. Esse granito é caracterizado pela presença de titanita e allanita com minerais acessórios. Ocorre em duas variedades, ambas porfiríticas. Há também a presença do Complexo Rio Negro nessa região.

De forma geral, segundo o mapa de geodiversidade do estado do Rio de Janeiro da CPRM (Dantas et al. 2017), a região se insere no domínio dos complexos granitoides deformados. Esse domínio compreende corpos ígneos intrusivos de composição granítica, com uma série de estruturas deformacionais, como foliações, falhas e zonas de cisalhamento. Tem-se um predomínio de rochas maciças e heterogêneas, fraturadas, podendo localmente ter maior grau de fraturamento. As rochas desse domínio apresentam alta resistência ao cisalhamento e à penetração, elevado grau de coesão, alta resistência a compressão e aos intemperismos físico e químico e baixa porosidade primária. Nas regiões de maior fraturamento, com fraturas abertas, contínuas e persistentes, ocorre maior potencial hidrogeológico. Além disso, há ocorrência de blocos e matações rochosos nos perfis de solo residual. Com isso, os processos associados são: tombamento, queda e rolamento de blocos, deslizamentos planares e corridas de detritos. Predominam vertentes de alta a médias declividades. Comumente estão associados a esta unidade grandes depósitos de talus.

Em concordância com as descrições anteriores dos mapas da CPRM foi constatado em campo durante as primeiras visitas técnicas, a predominância de rochas graníticas e persistência de descontinuidades. Além disso, foi verificada outras pequenas cicatrizes na vegetação da encosta próxima ao Dedo de Deus, oriundas de escorregamentos anteriores. Na visita técnica de maio e agosto de 2022, dois anos após o evento, foi verificada intenso processo de regeneração da vegetação. Ao mesmo tempo, não foi observada variações significativas na cicatriz principal. Ao longo da cicatriz de ruptura notaram-se paredões rochosos, menos fraturados, de rocha íntegra e com descontinuidades persistentes, altitude variável, predominando mergulhos na direção da base da encosta. Além disso, no trecho inferior da cicatriz principal, tem-se uma área na qual se encontram depositados blocos de rocha, junto com troncos de árvores (talus recente).

A Figura 3 apresenta o perfil geológico da Serra dos Órgãos na região do Dedo de Deus, que tem três domínios geológicos diferentes. Nas partes mais altas tem-se a presença de granito Teresópolis, mais resistente às intempéries, em vermelho. Em verde mais escuro a Suíte Serra dos Órgãos. Em verde mais claro o Leucogranito gnaisse. Há também destaque para as fraturas e foliações presentes. De forma geral, os ortognaisses do complexo Rio Negro são cortados por corpos tabulares de granito Teresópolis. O local de inspeção e investigação no campo fica compreendido nas regiões verde escuro e verde claro do perfil apresentado na figura.

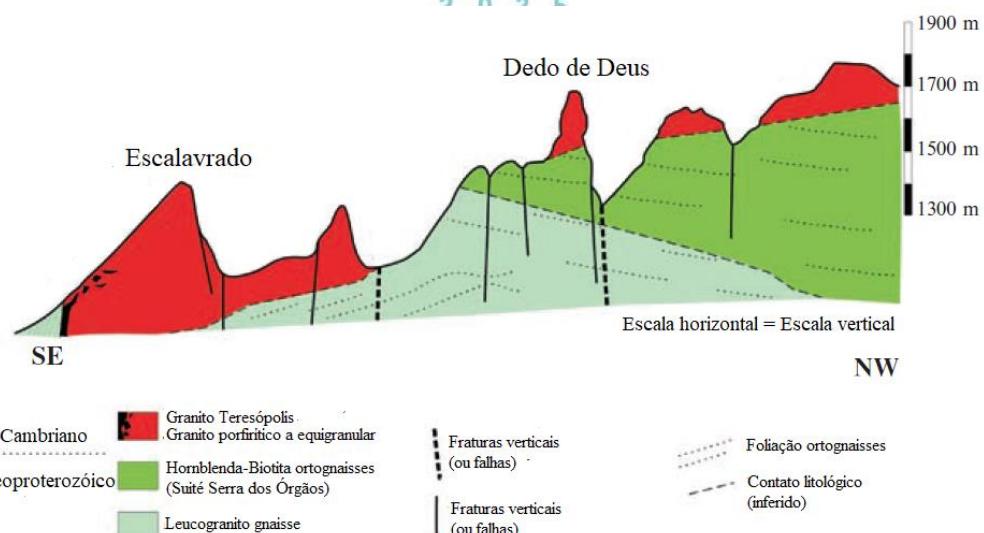


Figura 3. Perfil geológico da Serra dos Órgãos. Dedo de Deus. (Fonte: modificado de Fernandes et al. 2010).

A morfologia observada no local de investigação é caracterizada por uma superfície curvilínea da encosta com uma tendência convexa difusora na região mais à direita da cicatriz principal, olhando da BR-116/RJ para a encosta, e uma predominância de curvatura convexa coletora na região central e mais esquerda da área de estudo. A Figura 4 mostra a geomorfologia da encosta no entorno da cicatriz superior, focando na identificação de talvegues na encosta. São talvegues com feições de cicatriz de rupturas, constituindo parte natural da dinâmica de evolução das encostas, que são o caminho preferencial para escoamento de água e de possíveis materiais mobilizados em suas adjacências.



Figura 4. Visão geral dos talvegues a montante da BR-116/RJ entre os km 91 e 92.
(Fonte: Google Earth, 23/09/2021).

3 INVESTIGAÇÃO DE CAMPO

Uma segunda campanha de investigação foi efetuada em novembro de 2023, visando aprofundar a análise das características geológico-geotécnicas da encosta do Dedo de Deus. Neste estudo, subdividiu-se a área investigada em dois setores, Maciço e Depósito de Talus, conforme apresentado na Figura 5. A área do maciço contempla um penhasco verticalizado, no qual seria necessário trabalhos com cordas para uma inspeção convencional. No presente estudo, para agilizar e facilitar o levantamento de campo, se empregaram soluções tecnológicas recentes, com o uso de aerofotogrametria para estudos de descontinuidades, e análises cinemáticas. Já para a área do depósito de talus, onde foi possível acessar por via terrestre, empregou-se geofísica e sondagens mistas na investigação.

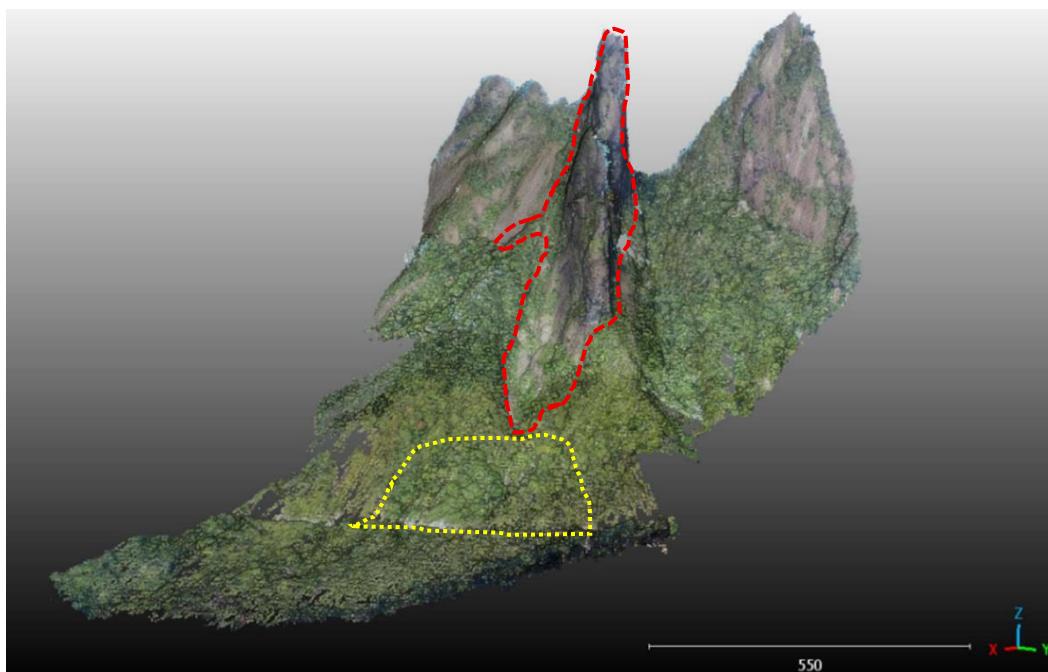


Figura 5. Divisão da área estudada. Vermelho indica o Maciço e amarelo o Depósito de *Talús*. Retirado do modelo aerofotogramétrico.

3.1 Aerofotogrametria

O levantamento das descontinuidades do maciço foi efetuado utilizando um drone MAVIC II PRO da fabricante DJI (Figura 6a), equipado com uma câmera Hasselblad com sensor CMOS de 1" full frame que permite uma qualidade de imagem com mais de 20 milhões de pixels efetivos, considerado excelente para a proposta do trabalho. No total foram utilizadas 219 imagens que foram pós processadas para a correção do posicionamento em função de uma base pelo método PPK. O ponto base foi coletado com o GPS configurado com estacionário EMLID RS2 (Figura 6b) e pós processado no IBGE-PPP - Serviço online para pós-processamento de dados GNSS.



Figura 6. (a) Drone MAVIC II Pró utilizado no levantamento (b) GPS REACH RS2 utilizado para coleta do ponto da base.

Com base na nuvem de pontos gerada, a cota mais elevada no maciço do Dedo de Deus está em 1651m, identificou-se que o fraturamento é persistente e que o espaçamento entre elas é da ordem de dezenas de metros. O fraturamento corresponde às principais descontinuidades e controla a geomorfologia do maciço. Ademais, foram identificadas 2 faces principais expostas no maciço, Figura 7. Face 1 com mergulho de 55° e direção de mergulho N 110° e Face 02 com mergulho mais acentuado da ordem de 82° e direção de mergulho de N 130°.

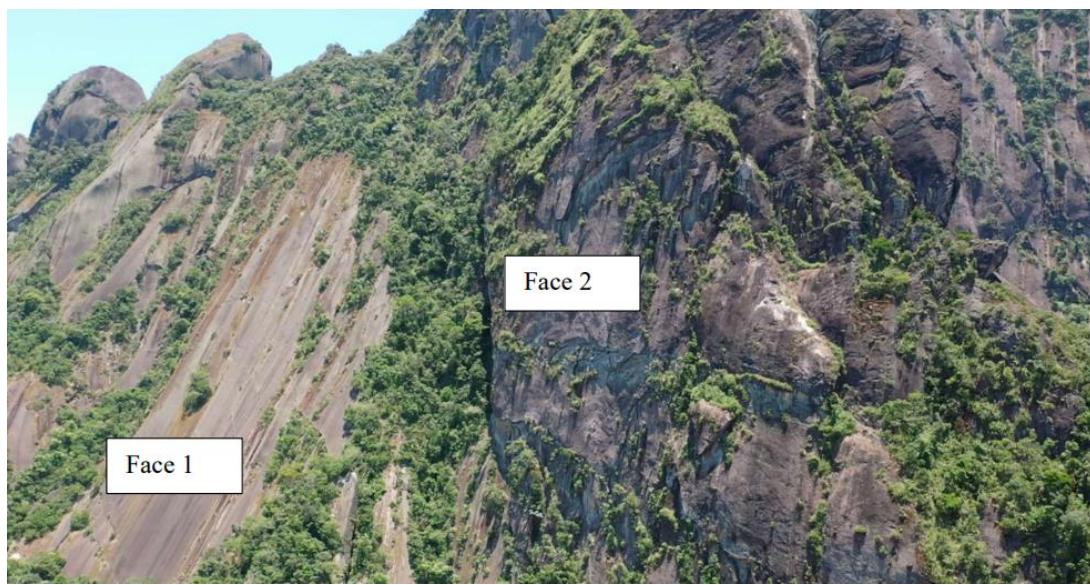


Figura 7. Vista da Face 01 e 02, obtidas através da análise da nuvem de pontos.

3.2 Estratigrafia local – Geofísica e sondagens mistas

Para o levantamento do perfil da região do depósito de talus utilizou-se dois métodos de investigação. O método de eletrorresistividade, cujo princípio está baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais do subsolo, expressando assim as propriedades eletromagnéticas dos solos e rochas da região estudada. Foram adquiridos 600 m de dados geofísicos, divididos em 4 linhas (Figura 8a). Além disso, foram executados três furos de sondagem mista no pé da encosta, na margem da BR-116/RJ, dentro da bacia de contribuição do talvegue principal que passa pela cicatriz de ruptura (Figura 8b).

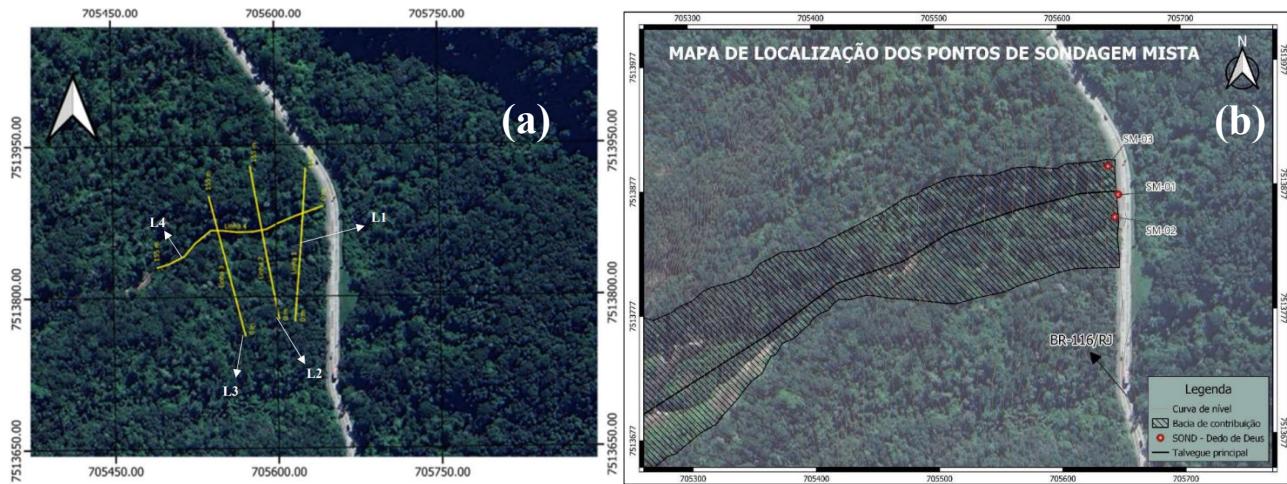


Figura 8. (a) Localização das linhas de eletrorresistividade (b) Localização dos pontos de sondagem mista.

De acordo com o diagrama 3D de isolinhas (Fig. 9), que abrange todas as linhas definidas na Figura 8(a), as regiões de baixa resistividade (azul), então relacionadas a zonas fraturadas, possíveis blocos ou presença de água. A região verde, indica rocha moderadamente alterada, solo seco e transicional. A região amarela da figura indica rocha sã ou grandes matacos. Desse modo, a região do talvegue apresenta a maior concentração de rochas expostas. No entanto, também revelaram uma zona fraturada, possivelmente associada a blocos de grandes dimensões (2 a 4 m). A capa de solos coluvionares que recobrem o maciço rochoso variam entre 0,20 e 3 m, concentrando o maior volume próximo a BR-116/RJ. Além disso, nas extremidades das seções paralelas ao eixo rodoviário (L1, L2 e L3), foi identificada uma concentração de blocos, com dimensões variando de 2 a 4 m, esses blocos estão submersos na massa de talus.

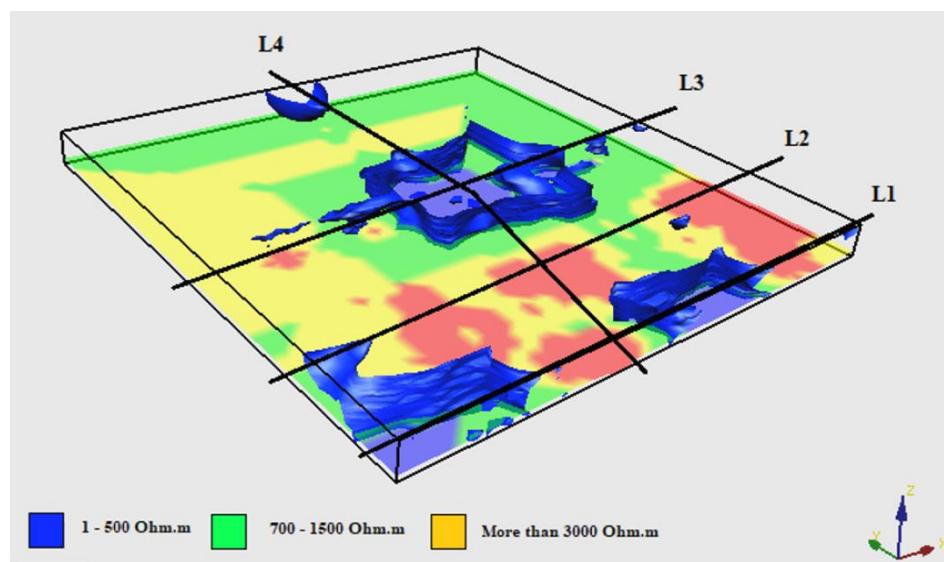


Figura 9. Diagrama 3D das linhas de eletrorresistividade.

Na Figura 10, tem-se o perfil geológico-geotécnico definido com base em resultados de sondagens mistas efetuadas no pé da encosta (projeção dos furos na Fig. 8b). Observa-se sobre topo rochoso uma espessa camada de depósito de talus com espessura entre 18 m e 23 m. Esta camada é constituída de matacões e blocos graníticos e de gnaisse imersos em uma matriz de solo coluvionar predominantemente silto-arenosa. A camada rochosa situada na base, segundo a sondagem SM01, trata-se de gnaisse, cinza claro e cinza escuro, fanerítico médio, com presença de foliações sub-horizontais, pouco alterada. A sondagem SM02 descreve a rocha como gnaisse equigranular, de granulação média, com foliação inclinada a subvertical composta por quartzo, plagiolásio e micas.

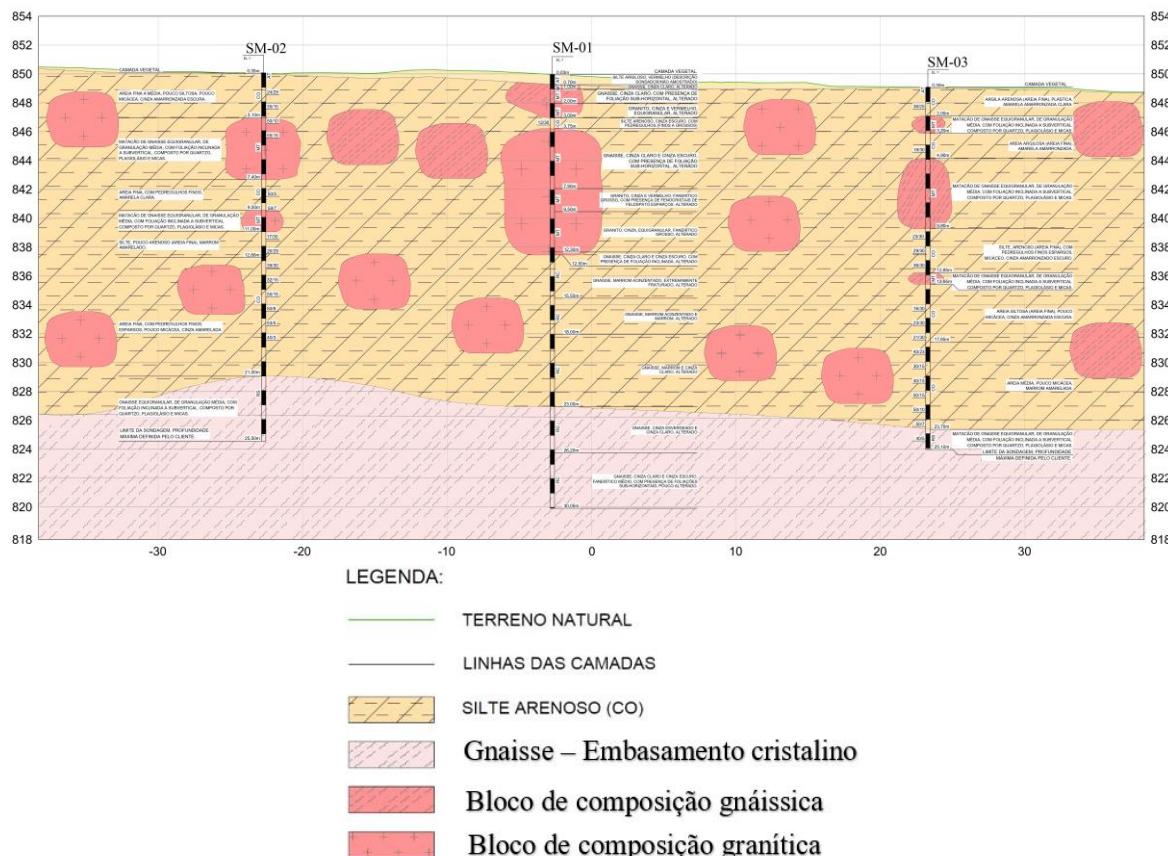


Figura 10. Seção geológica proposta pelas sondagens mistas.



4 CONCLUSÕES

No presente artigo, apresenta-se a investigação geológico-geotécnica da encosta situada na base do Dedo de Deus, km 91+400 da BR-116/RJ. Este estudo teve como objetivo caracterizar a cicatriz de ruptura originada pelo impacto da queda de um bloco de rocha desprendido do maciço localizado acima. O trecho em análise está situado em um dos principais talvegues da encosta, em uma região cujo perfil geológico é composto principalmente pela Suíte Serra dos Órgãos, Complexo Rio Negro e Leucogranito gnaisse.

A investigação realizada na área do maciço do Dedo de Deus identificou um fraturamento persistente que define a orientação das escarpas e dos vales no local, com espaçamento entre fraturas da ordem de dezenas de metros, e duas faces principais com sentidos de mergulhos distintos, ambos voltadas para a encosta. A região do talvegue apresenta o topo rochoso exposto, recoberto, em outros trechos, por uma delgada camada de solo coluvionar, com espessura variando entre 0,20 m e 3 m. Além disso, o perfil estratigráfico no pé da encosta próximo à rodovia, apresenta um depósito de talus com espessura entre 18 e 23 m sobre o topo rochoso.

A presente campanha de investigação complementa as informações existentes sobre o perfil de solos e rochas na região, oferecendo subsídios importantes para o entendimento da dinâmica dos movimentos de massa das encostas da Serra dos Órgãos, além de embasar estudos de estabilidade, monitoramento e avaliação da suscetibilidade à ocorrência de eventos futuros similares.

AGRADECIMENTOS

A CRT concessionária e a EcoRodovias pelo suporte técnico durante as campanhas de investigação e permissão para publicação dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CPRM (2000). *Projeto Rio de Janeiro - Inventário de Escorregamento*. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/17229/6/rel_proj_rj_escorregamentos.pdf. Acesso em 4 de jun. de 2025.
- D'orsi, R.N. (2011) *Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da serra dos órgãos da rodovia federal BR-116 RJ (Rio-Teresópolis)*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 287 p.
- Dantas, M.E., Moraes, J.M. Ferrassoli, M.A., Jorge, M.Q e Hilquias, V.A. (Org) (2017). *Mapa Geodiversidade do Estado do Rio de Janeiro*. Escala 1:400.000. CPRM-Serviço Geológico do Brasil.
- Fernandes, N.F., Tupinambá, M., Mello, C.L. e Peixoto, M.N.O. (2010) *Rio de Janeiro: A metropolis between Granite-Gnaisse Massifs, Geomorphological Landscapes of the World*, Springer, 371 p.
- Freu, P.H.A. (2016) *Análise da influência de chuvas e descontinuidades hidráulico-mecânicas na estabilidade de encostas estudo do caso do km 85,70 da BR-116/RJ*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 324p.
- Heilbron, M., Eirado, L.G. e Almeida, J. (Org) (2016). *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro*. Escala 1:400.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), Mapas Geológicos Estaduais. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte.
- Oliveira, G.A. (2012) *Correlação entre pluviometria, piezometria e movimentos das encostas dos quilômetros 87 e 101 da rodovia BR-116/RJ (Rio-Teresópolis)*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 203 p.
- Silva, G.F. (2014) *Influência da pluviometria em movimentos de massa nas encostas da rodovia BR-116/RJ (rodovia Rio-Teresópolis)*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 314 p.
- Silva, R.C.; Ehrlich, M.; Da Costa, D. P. (2019) Effects of Discontinuities and Groundwater on Rock Slope Stability. In: *International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering, 2019*, Foz do Iguaçu. ISRM 2019. v. 1. p. 01-08.