

Avaliação Geotécnica de Encostas Urbanas Sob Condições Críticas: Estudo do Caso na Avenida Niemeyer, 494

Mariana Miranda de Souza

Engenheira Civil Geotécnica (Msc.Geotecnia), Fundação GEO-RIO, Rio de Janeiro, Brasil,
mariana.msouza@prefeitura.rio

Bruno Vieira de Jesus

Engenheiro Civil Geotécnico (Msc.Geotecnia), Fundação GEO-RIO, Rio de Janeiro, Brasil,
brunojesus@prefeitura.rio

RESUMO: Avenida Niemeyer, situada na zona sul do Rio de Janeiro, foi impactada, em abril de 2019, por um escorregamento de grande porte causado por um evento de chuva extrema. Este estudo tem como objetivo avaliar a estabilidade do talude localizado entre a Rua João Goulart, nº 857, e a Avenida Niemeyer, nº 494, utilizando modelagens numéricas no software Slide. Foram empregados dados de campo e parâmetros geotécnicos estimados por retroanálise. As simulações consideraram diferentes condições de saturação do solo: solo seco, solo saturado com funcionamento dos drenos sub-horizontais e solo saturado sem funcionamento dos drenos. A análise demonstrou que o fator de segurança do talude se manteve dentro de níveis satisfatórios ou minimamente aceitáveis mesmo nos cenários mais críticos. As obras de contenção executadas — como cortinas atirantadas e sistema de drenagem profunda — mostraram-se eficazes na mitigação dos riscos geotécnicos. Os resultados obtidos reforçam a importância da adoção de medidas preventivas, da manutenção dos sistemas de drenagem e do monitoramento contínuo das encostas em áreas urbanas suscetíveis a escorregamentos, especialmente em regiões sujeitas a eventos pluviométricos extremos e às ações antrópicas.

PALAVRAS-CHAVE: Taludes antrópicos, estabilidade de taludes, modelagem numérica, chuvas extremas.

ABSTRACT: Niemeyer Avenue, located in the southern zone of Rio de Janeiro, was impacted in April 2019 by a large-scale landslide triggered by an extreme rainfall event. This study aims to evaluate the stability of the slope situated between Rua João Goulart, nº 857, and Niemeyer Avenue, nº 494, using numerical modeling with the Slide software. Field data and geotechnical parameters estimated through back analysis were employed. The simulations considered different soil saturation conditions: dry soil, saturated soil with functioning sub-horizontal drains, and saturated soil without functioning drains. The analysis showed that the slope's factor of safety remained within satisfactory or minimally acceptable levels even in the most critical scenarios. The implemented containment works — such as anchored retaining walls and a deep drainage system — proved effective in mitigating geotechnical risks. The results obtained reinforce the importance of adopting preventive measures, maintaining drainage systems, and continuously monitoring slopes in urban areas prone to landslides, especially in regions subject to extreme rainfall events and anthropogenic activities.

KEYWORDS: Anthropogenic slopes, slope stability, numerical modeling, extreme rainfall.

1 INTRODUÇÃO

A Avenida Niemeyer, situada entre os bairros do Leblon e São Conrado no Rio de Janeiro, é uma via de grande importância para a mobilidade urbana, desempenhando papel estratégico no escoamento do tráfego entre as zonas sul e oeste da cidade. No entanto, sua implantação em terreno de relevo acidentado, com taludes íngremes, solos residuais profundos e descontinuidades rochosas, torna o local geotecnicamente vulnerável. Historicamente, a avenida tem sido afetada por instabilidades de encosta, sobretudo em períodos de chuvas intensas, como o deslizamento de grande porte ocorrido em abril de 2019, que resultou na interdição total da via por meses.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise geotécnica detalhada do talude localizado entre a Rua João Goulart, nº 857, e a Avenida Niemeyer, nº 494. Por meio de modelagens numéricas no software Slide (ROSCIENCE, 2018), utilizando dados topográficos, pluviométricos e sondagens executadas após o evento, busca-se avaliar a estabilidade do talude e verificar as condições atuais após as obras de contenção. O estudo adota parâmetros geotécnicos estimados com base na retroanálise referente ao deslizamento ocorrido e visa contribuir para a compreensão e mitigação de riscos em áreas similares.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado na vertente sul do Morro Dois Irmãos, no bairro do Vidigal (Rio de Janeiro – RJ), abrangendo a área entre a Rua João Goulart e a Avenida Niemeyer. O local foi afetado por um escorregamento do tipo planar em 9 de abril de 2019, envolvendo solo coluvionar, solo residual, blocos rochosos, vegetação e entulho descartado pela comunidade local. Estima-se que o volume deslocado tenha sido de 10.000 m³, com uma extensão de 300 metros e largura de 40 metros (Figura 1). A ocorrência causou destruição de moradia (Figura 2) e levou à interdição de outras residências ameaçadas por possíveis escorregamentos secundários. Na cicatriz do deslizamento também foram observados pontos de surgência (artesianismo) no contato solo-rocha.

A área analisada integra a Serra da Carioca no Maciço da Tijuca, com geologia caracterizada por ortognaisse facoidal da Suíte Rio de Janeiro. O perfil da encosta é retilíneo a côncavo, coberto por uma camada superficial de solo coluvionar sobre solo residual derivado do gnaiss, com espessura média de 2 metros. A declividade varia entre 30° e 45°, e há presença de vegetação arbórea densa. De acordo com a Fundação GEO-RIO, a região é classificada como de alta suscetibilidade a escorregamentos.



Figura 1. Foto aérea mostrando o ponto onde ocorreu o deslizamento em abril de 2019. Fonte: adaptado Fundação GEO-RIO (2019).



Figura 2. Massa de solo que atingiu moradia localizada na Avenida Niemeyer, 494. Fonte: Fundação GEO-RIO (2019).

2.2 Dados Pluviométricos

No ano de 2019, a Avenida Niemeyer foi severamente impactada por chuvas intensas, muito acima da média histórica. Nos meses de fevereiro e abril, ocorreram dois eventos pluviométricos de grande magnitude e com características distintas, registrados na cidade do Rio de Janeiro. Ambos apresentaram intensidades e volumes acumulados extremamente elevados para a região da Avenida Niemeyer.

Na Estação Pluviométrica do Vidigal pelo Sistema Alerta Rio, em fevereiro de 2019, a precipitação máxima registrada em uma hora foi de 89,0 mm/h, com um total acumulado de 162,0 mm ao longo do evento, acompanhado de rajadas de vento de até 110 km/h. Esses fatores resultaram na queda de árvores e em 18 movimentos gravitacionais de massa ao longo do talude a montante da via.

Já em abril do mesmo ano, foi registrada precipitação de 20,2mm em 15 minutos em 08/04/2019, atingindo uma precipitação máxima de 68,6 mm em uma hora. Sendo classificada como chuva muito forte, de acordo com os critérios vigentes do Alerta Rio, que estabelecem esta classificação quando a intensidade da pluviosidade ultrapassa 50mm em 1 hora. Em 24h o acumulado total foi de 312,2 mm (Tabela 1), o que agravou os escorregamentos já existentes e provocou o surgimento de dois novos deslizamentos, sendo um deles o ponto do presente estudo.

Tabela 1. Maiores chuvas precipitadas em 24h desde a implantação do Sistema Alerta Rio.

Fonte: adaptado Sistema Alerta Rio.

Estação	mm/24h	Data	Hora
Sumaré	360,2	06/04/2010	17:35
Rocinha	343,4	09/04/2019	15:00
Alto da Boa Vista	341,2	09/04/2019	16:15
Barra/Barrinha	335,2	09/04/2019	15:00
Jardim Botânico	334,4	09/04/2019	15:30
Copacabana	329,4	09/04/2019	15:00
Vidigal	312,2	09/04/2019	14:45
Barra/Riocentro	311,4	09/04/2019	15:00
Guaratiba	310,6	01/04/2022	20:55
Jacarepaguá/Cidade de Deus	289,6	09/04/2019	16:00

2.3 Topografia e investigações geotécnicas

Após o evento de deslizamento, foram realizados levantamentos topográficos e sondagens à trado, os quais identificaram um perfil geotécnico composto por uma camada superficial de solo com espessura variando entre 2 a 3 metros, sobrejacente a uma formação rochosa contínua ao longo de todo o talude. Durante o escorregamento ocorrido em abril de 2019, observou-se a exposição do perfil rochoso entre as cotas 120 m e 185 m, aproximadamente. A partir dessa evidência, foi conduzida uma retroanálise do talude, considerando um mecanismo de ruptura nesse intervalo altimétrico, o que possibilitou a estimativa de parâmetros geotécnicos aproximados para a camada de solo residual, conforme será abordado no item 2.4.

2.4 Parâmetros estimados

Para a estimativa dos parâmetros geotécnicos do solo residual presente no talude, foi realizada uma retroanálise por meio do software Slide (ROSCIENCE, 2018), com base nos dados obtidos a partir de levantamento topográfico e sondagens à trado executadas após o evento de deslizamento. A superfície de escorregamento foi delimitada com base na exposição do topo rochoso identificada entre as cotas 120 m e 185 m, aproximadamente, após o escorregamento. A análise de estabilidade foi conduzida pelo método de Morgenstern-Price, o qual permite o equilíbrio completo de forças e momentos, resultando na obtenção de um fator de segurança igual a 1,0 (ruptura) nos parâmetros geotécnicos correspondentes, conforme apresentado na Figura 3. Os valores dos parâmetros para o solo rochoso foram considerados como infinite strength (resistência infinita), por se tratar de rocha com boa integridade.

Como resultado da retroanálise, foram obtidos os seguintes parâmetros para o solo residual em condição pré-ruptura (natural): ângulo de atrito interno (ϕ) de 34° , coesão (c) de 15 kPa e peso específico (γ) de 17 kN/m^3 . Tais valores apresentam boa concordância com os intervalos típicos descritos na literatura técnica para solos residuais de características semelhantes. Nas análises subsequentes deste estudo, será adotada uma penalização dos parâmetros de resistência do solo, de forma a refletir o comportamento pós-ruptura do material (solo coluvionar) ao longo da superfície de escorregamento, conforme sugerido por Skempton (1985). Sendo adotados os valores para o solo pós-ruptura (legenda verde), com uma redução de aproximadamente 25% do valor do ângulo de atrito e considerando perda significativa da coesão após escorregamento, conforme apresentados na Tabela 2. Os valores adotados para o aterro foram estimados com base em referências bibliográficas (Souza Neto, 2016).

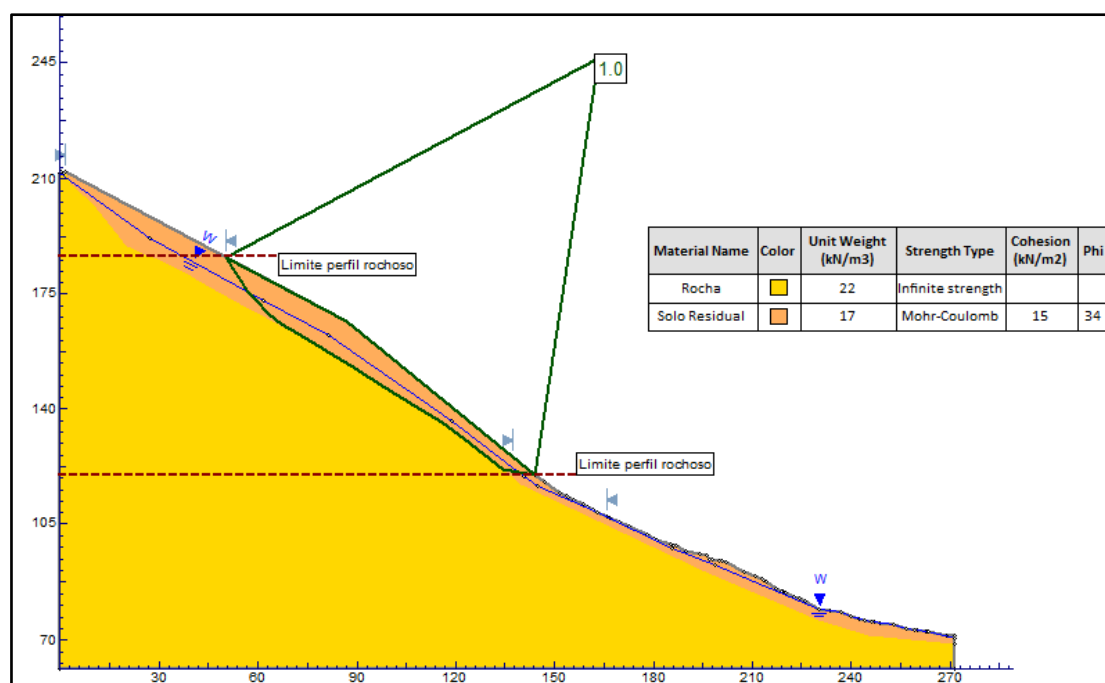





Figura 3. Retroanálise.

Tabela 2. Parâmetros de resistência adotados nas análises.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
ROCHA SÃ		22	Infinite strength		
SOLO		17	Mohr-Coulomb	5	25
ATERRO		17	Mohr-Coulomb	5	30

2.5 Solução Adotada

Para a estabilização do local afetado, adotou-se uma solução composta por dois níveis de cortinas atirantadas implantadas na porção inferior do talude, após a remoção de uma moradia que havia sido parcialmente colapsada durante o escorregamento. Cada cortina possui 5 m de altura, com extensões longitudinais de 30 m e 35 m, respectivamente, e três linhas de tirantes cada cortina, totalizando 88 tirantes com carga de trabalho de 350kN cada (Figura 4).

Diante da ocorrência de condições artesianas identificadas após o deslizamento, foram também instalados 16 drenos sub-horizontais profundos ao longo das cortinas, com o objetivo de reduzir a pressão intersticial e melhorar as condições de drenagem interna do maciço.

As cortinas atirantadas foram executadas com fundações do tipo estaca raiz, com diâmetro de 310 mm e espaçamento de 60 cm entre elas. Complementarmente, a jusante das cortinas foi construída uma mureta de contenção, com a finalidade de estabilizar o solo a jusante e evitar deslocamentos residuais que comprometam o solo de fundação das cortinas.



Figura 4. Vista das cortinas executadas. Fonte: adaptado Fundação GEO-RIO (2021).

3 RESULTADOS

A seguir, apresentam-se as análises de estabilidade realizadas com o objetivo de avaliar as condições do local após a execução das obras. Este estudo não contempla as condições de estabilidade da porção superior do talude — situada nas proximidades da Comunidade do Vidigal — correspondente ao trecho a montante da crista do deslizamento ocorrido. Ressalta-se que essa área também foi alvo de intervenções pontuais realizadas pela Fundação GEO-RIO, incluindo a remoção de moradias em situação de risco.

O foco desta avaliação recai sobre o trecho do talude localizado a jusante da cicatriz de deslizamento resultante do evento ocorrido em abril de 2019. Essa área foi contemplada com a implantação de sistema de drenagem superficial, associado à execução de cortinas e muretas de contenção, conforme descrito no item anterior.

3.1 Análise de Estabilidade – NA baixo

A primeira análise de estabilidade considerou a condição de solo seco, representativa de um período de estiagem, adotando-se o nível piezométrico adjacente ao contato entre o solo e o maciço rochoso. Tal configuração foi assumida com base na observação de artesianismo nesse contato, em trecho a montante do talude, e na hipótese de pleno funcionamento dos drenos sub-horizontais implantados (conforme indicado pela linha tracejada em azul escuro nas análises).

Para essa condição, o fator de segurança obtido foi igual a 2,84 (Figura 5), utilizando-se o método de Morgenstern-Price. O valor encontrado indica uma condição de estabilidade satisfatória, uma vez que o fator de segurança está significativamente acima do limite mínimo convencional de 1,5, comumente adotado em análises geotécnicas para taludes em condições estáticas.

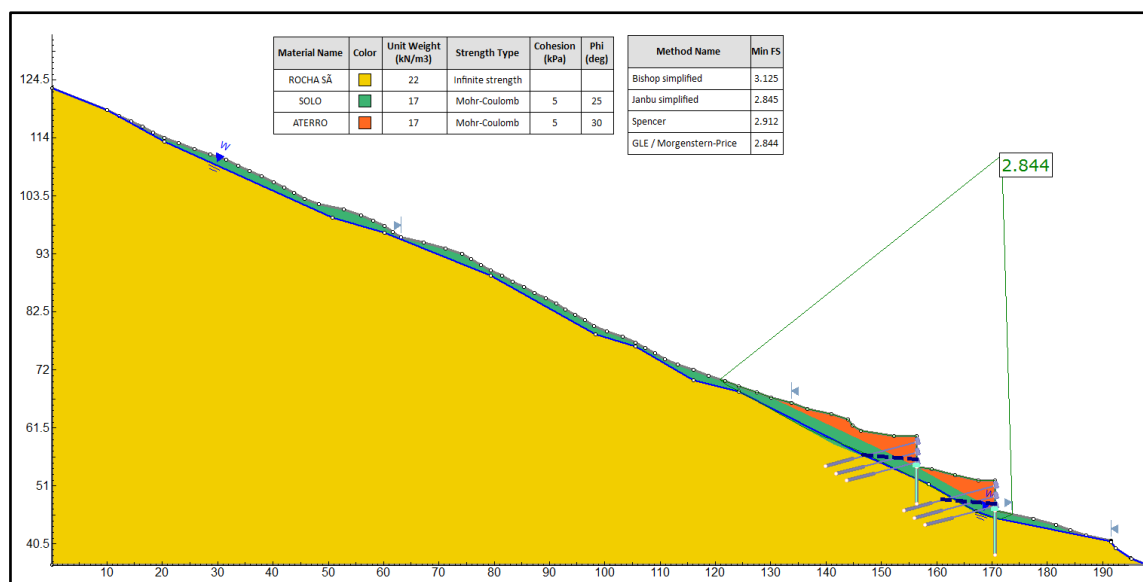


Figura 5. Análise de estabilidade – NA baixo. Fator de segurança igual 2,84.

3.2 Análise de Estabilidade – NA elevado

A análise de estabilidade subsequente considerou a elevação da linha piezométrica no interior do maciço, simulando-se uma condição de período chuvoso extremo (compatível com a situação ocorrida no dia do deslizamento em abril de 2019), ainda sob a premissa de pleno funcionamento dos drenos sub-horizontais. Para essa configuração, foi obtido um fator de segurança igual a 1,85, empregando-se o método de Morgenstern-Price (Figura 6).

O valor encontrado permanece dentro dos limites considerados aceitáveis para condições estáticas (superior a 1,5), indicando estabilidade global satisfatória. No entanto, observa-se uma redução significativa na resistência do talude em relação à situação anterior (com nível d'água rebaixado), ainda que a geometria da superfície de ruptura permaneça semelhante à verificada na primeira análise.

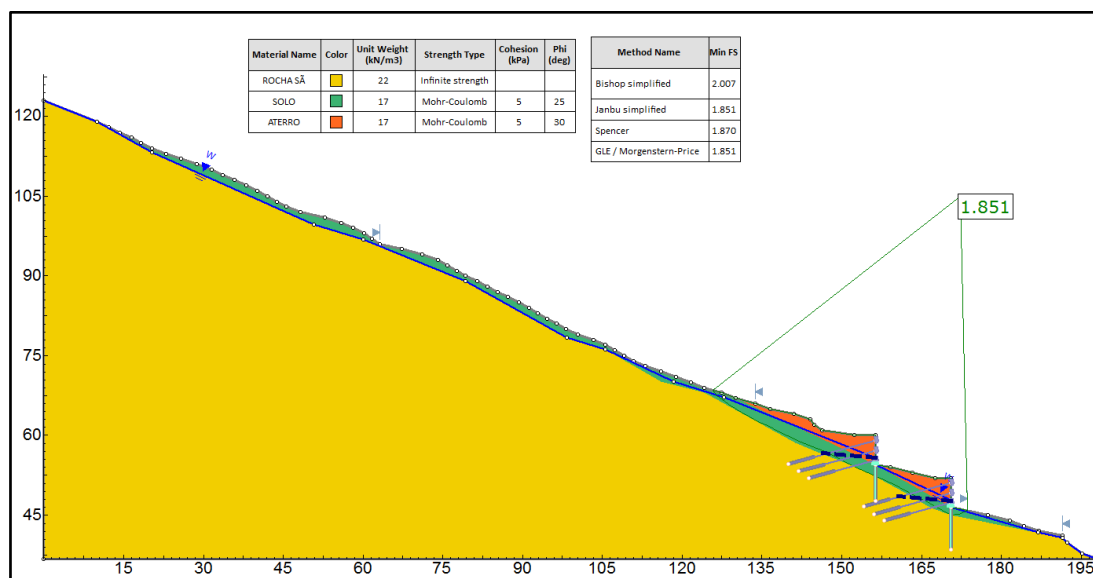


Figura 6. Análise de estabilidade – NA elevado. Fator de segurança igual 1,85.

3.3 Análise de Estabilidade – NA elevado (sem drenos sub-horizontais)

Nesta análise de estabilidade, foi considerada uma condição de chuva extrema, representada por um nível d'água elevado, além da hipótese de entupimento ou mau funcionamento dos drenos sub-horizontais das cortinas atirantadas. Essa combinação de fatores implicaria em um aumento do nível piezométrico nos aterros, resultando em maiores esforços de empuxo atuando sobre as cortinas.

Como esperado, o fator de segurança obtido foi significativamente inferior ao da análise anterior. No entanto, mesmo sob essa condição severa, o valor calculado ainda se mostrou aceitável do ponto de vista da segurança geotécnica. Embora o fator de segurança esteja ligeiramente abaixo do limite convencional de 1,5, o desempenho observado pode ser considerado satisfatório, dado o caráter excepcionalmente adverso da situação simulada (Figura 7).

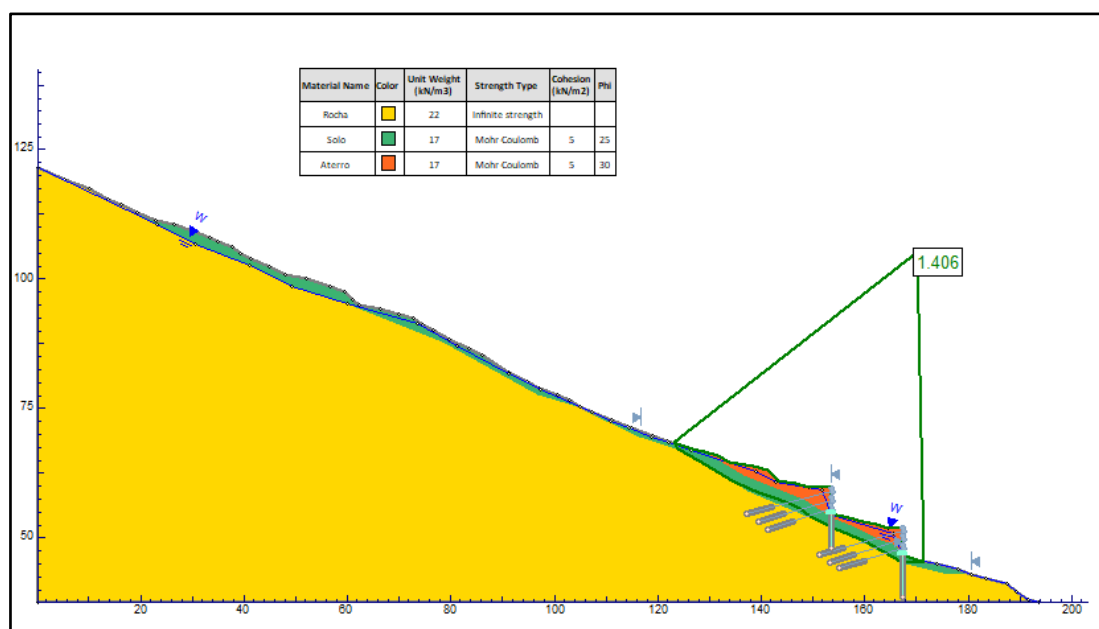


Figura 7. Análise de estabilidade – NA elevado e sem drenos sub-horizontais. Fator de segurança igual 1,41.

Tabela 3. Tabela comparativa dos resultados obtidos nas análises.

Cenário	Nível d'água	FS
Após execução das intervenções (cortinas)	Baixo	2,84
	Elevado	1,85
	Elevado e sem DHP's	1,41

4 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou, por meio de modelagens numéricas, a estabilidade de um trecho da encosta da Avenida Niemeyer, afetado por escorregamento em abril de 2019. Os resultados demonstraram que, após a execução das obras de contenção e drenagem, o talude passou a apresentar fator de segurança satisfatório, inclusive em cenários simulados de chuvas extremas. Mesmo diante da hipótese de falha do sistema de drenagem profunda, o desempenho global manteve-se dentro de limites minimamente aceitáveis, evidenciando a relevância da manutenção periódica das estruturas de contenção.

Recomenda-se a implementação de diretrizes sistemáticas de monitoramento, com ênfase na inspeção regular da integridade dos drenos profundos, incluindo a verificação do fluxo de água, a análise da profundidade e inclinação dos dispositivos, bem como a inspeção visual para identificação de possíveis obstruções. Sugere-se, ainda, a realização de estudos complementares, contemplando ensaios de resistência, sobretudo no solo previamente mobilizado, com vistas à validação dos parâmetros de resistência adotados, os quais foram ajustados a partir de referências bibliográficas. Ensaios de permeabilidade, aliados a análises de fluxo e de estabilidade em diferentes condições pluviométricas, poderão contribuir para aprofundar a compreensão do comportamento da encosta e subsidiar estratégias mais robustas de prevenção e mitigação de riscos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todo o corpo técnico da Fundação GEO-RIO pelo trabalho dedicado e incansável na promoção da segurança geotécnica no município do Rio de Janeiro. Em especial, registramos nossa gratidão aos profissionais que atuaram diretamente nos atendimentos emergenciais, na elaboração de soluções técnicas e na fiscalização das obras relacionadas aos acidentes geotécnicos ocorridos em decorrência das chuvas extremas dos meses de fevereiro e abril de 2019.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fundação GEO-RIO (2019). *Laudo Técnico da Fundação GEO-RIO Relativo ao Risco Geológico associado a deslizamento ao longo da Avenida Niemeyer*.
- Fundação GEO-RIO (2021). *Relatório de Inspeção Visual dos Taludes de Montante ao Longo da Avenida Niemeyer*.
- Fundação GEO-RIO (2022). *Caracterização Geológico-Geotécnica e de Risco da Av. Niemeyer*.
- Fundação GEO-RIO (2023). *Relatório Geológico-Geotécnico da Avenida Niemeyer*.
- Fundação GEO-RIO (2024). *Situação Atual do Risco para a Avenida Niemeyer, após os Eventos Chuvosos de 2019 e as Intervenções Adicionais de Gerenciamento de Risco Implantadas*.
- Rocscience Inc. (2023). *Slide2 Theory Manual*.
- Skempton, A. W. (1985). *Residual strength of clays in landslides...* Géotechnique, 35(1), 3–18.
- Souza Neto, Danisete Pereira (2016). *Estudos Geotécnicos de um Aterro de Solos na Formação Barreiras na Região Metropolitana do Recife*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFPE.