

# Retroanálise de um Escorregamento Ocorrido na Av. Niemeyer, Rio de Janeiro, em 2019

Juliana Sousa de Araujo Anelli 1

Aluna de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, juliana.aneli.eng@gmail.com

Ana Cristina Castro Fontenla Sieira 2

Professora Titular, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, sieira@eng.uerj.br

**RESUMO:** A Avenida Niemeyer é uma das mais icônicas do Rio de Janeiro por interligar três bairros da Zona Sul da cidade: Leblon, Vidigal e São Conrado. O escorregamento, objeto de estudo, iniciou-se na parte superior da encosta, onde se concentra a comunidade do Vidigal, até a Avenida Niemeyer, deixando a avenida interditada por 1,5 ano. Na ocasião, não foi emitido alerta de possibilidade de deslizamento e, consequente, interdição da via, pois não havia sido atingido o limite de 45 mm de chuva em uma hora ou 220 mm em 24 horas. O presente trabalho tem como objetivo a retroanálise deste escorregamento, visando entender o que motivou o movimento de massa de solo de grande volume. A retroanálise foi realizada pelos Métodos de Equilíbrio Limite e de Elementos Finitos, utilizando o perfil crítico da área em que ocorreu o escorregamento, a partir do levantamento topográfico posterior ao evento. Para determinação dos parâmetros de resistência do solo, foram realizados ensaios de cisalhamento direto, utilizando amostras indeformadas do solo residual adjacente ao escorregamento. O estudo apontou para o rompimento de uma espessa massa de solo na crista do talude, em um primeiro momento, dando origem, ao deslizamento de 300 m de extensão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Retroanálise, Método do Equilíbrio Limite, Método de Elementos Finitos, Caracterização geológico-geotécnica.

**ABSTRACT:** The Niemeyer Avenue is one of the most iconic in Rio de Janeiro for interconnecting three neighborhoods of the South Zone of the city: Leblon, Vidigal and São Conrado. The slide, object of study, began in the upper part of the slope, where the community of Vidigal is concentrated, until Avenida Niemeyer, leaving the avenue closed for 1.5 years. At the time, there was no warning of the possibility of slippage and, consequently, road closure, because the limit of 45 mm of rain in one hour or 220 mm in 24 hours had not been reached. The present work has as objective the retrospective analysis of this slip, in order to understand what motivated the mass movement of soil of great volume. The retroanalysis was carried out by the Limit Equilibrium and Finite Element Methods, using the critical profile of the area in which the slip occurred, from the topographic survey after the event. To determine the soil resistance parameters, direct shear tests were performed using undeformed samples of the residual soil adjacent to the slip. The study pointed to the rupture of a thick soil mass in the ridge of the slope, at first, giving rise to the landslide of 300 m of extension.

**KEYWORDS:** Back-analysis, Limit Equilibrium Method, Finite Element Method, Geological-Geotechnical Characterization.

## 1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra em taludes naturais são recorrentes em todo o mundo e fazem parte do processo natural das encostas, devido ao intemperismo e à gravidade. Quando ocorrem em regiões urbanas, causam grandes impactos sociais e econômicos, com perdas humanas e materiais. No Brasil, país cuja geomorfologia, clima tropical e índice de pluviosidade favorecem a ocorrência de deslizamentos em algumas regiões, a população tem sido muito afetada ao longo de anos por desastres desta natureza.



O Sudeste apresenta 47,8% da área com suscetibilidade alta a muito alta a deslizamentos, sendo o Rio de Janeiro, o Estado mais suscetível, com 53,9% do seu território com suscetibilidade a deslizamentos classificada como muito alta (IBGE, 2019).

Desta forma, muitos estudos têm sido realizados, a fim de entender as causas dos escorregamentos, bem como prever e/ou evitar possíveis eventos futuros.

Os mecanismos que deflagram a ruptura do talude e, consequente, movimento de massa de solo são de origem natural, antrópica ou ambos. Esta ruptura ocorre quando as tensões no maciço de solo se igualam à resistência ao cisalhamento.

Por meio da retroanálise, é possível obter os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo da ruptura ocorrida: o estudo de estabilidade compara as tensões do maciço e a resistência ao cisalhamento, definindo um fator de segurança igual a um (abordagem determinística).

A Figura 1 mostra o escorregamento que ocorreu, em 2019, no Morro Dois Irmãos, no Rio de Janeiro. O movimento de massa teve início na parte superior da encosta, onde se concentra a comunidade do Vidigal, e se estendeu até a Avenida Niemeyer, deixando a via interditada por 1,5 ano. Destaca-se que não foi emitido alerta de possibilidade de deslizamento e, consequente, interdição da avenida, pois não havia sido atingido o limite de 45 mm de chuva em uma hora ou 220 mm em 24 horas (O Dia, 2019).



Figura 1. Vista aérea do deslizamento ocorrido na Av. Niemeyer, em 2019. (fonte: site Prefeitura do Rio de Janeiro)

O objetivo principal deste trabalho é realizar a retroanálise deste escorregamento, comparando os resultados obtidos pelos Métodos de Equilíbrio Limite e Método de Elementos Finitos, visando entender o que motivou o movimento de massa de solo de grande volume. A existência de amostras retiradas no local contribuiu para a realização de uma retroanálise mais acurada, a partir de parâmetros geotécnicos obtidos em ensaios de laboratório.

## 2 ESTUDO DE CASO

### 2.1 Localização, Clima e Vegetação

A área de estudo está localizada no litoral do município do Rio de Janeiro, no Morro Dois Irmãos, e corresponde à encosta das proximidades da Av. Niemeyer, situada entre os bairros Leblon e São Conrado. Parte do maciço é ocupado pela comunidade do Vidigal numa área de, aproximadamente, 295.662 m<sup>2</sup> com 20.000 moradores, em 2019 (Jornal O Globo).

A encosta estudada faz parte do maciço da Tijuca, cujo clima é definido como tropical de altitude. Até 500 metros de altura, intervalo compreendido no estudo, o clima é tropical e, acima desta altura, a temperatura é do tipo climático temperado (site ICMBio). Os meses de outubro a abril são os que tem a maior precipitação e a média anual é de 2200 mm, com temperatura média de 22°C.

Por estar inserida na Mata Atlântica, possui cobertura vegetal típica, classificada como Floresta Ombrófila Densa (formações florestais de grande porte), de acordo com o Mapa de Vegetação do Brasil (site IBGE).

## 2.2 Geomorfologia

O reconhecimento geológico na área em estudo foi obtido através do uso do Mapa Geológico do Rio de Janeiro. A litologia do maciço compreende as placas do período Neoproterozoico Ediacarano, formadas a partir do magmatismo sincolisional, dando origem às rochas graníticas ricas em biotita.

O processo de intemperismo dá origem a solos residuais que carregam as propriedades mineralógicas e estruturais das rochas de origem. Neste contexto, as rochas graníticas, intemperizadas, dão origem aos solos arenoargilosos (micáceo).

A biotita, assim como outras micas, tem estrutura foliada composta por diversas camadas de fraca ligação e partículas com formato de finas placas. Areias e siltes, com pequeno percentual de mica, apresentam características como alta compressibilidade quando carregados e significativa expansibilidade sob variação de umidade. Baixa resistência ao cisalhamento em condição residual é uma tendência em solos ricos em micas, ainda que pouco plásticos (Heidemann, M. et al, 2017).

## 2.3 Movimento de Massa

O movimento de massa ocorrido foi caracterizado por uma superfície de ruptura planar, associado a heterogeneidade de solo e rocha na encosta, sendo classificado como escorregamento planar ou translacional.

A cicatriz da encosta possuiu, aproximadamente, 300 m de comprimento, 50 m de largura e 15.800 m<sup>2</sup> de área.

## 3 RETROANÁLISE

Para a retroanálise, foi realizada a sobreposição da topografia pré e pós-deslizamento, para definição da seção crítica e dos perfis de solo pré-deslizamento e pós-ruptura. Foi observada uma espessura de massa rompida variando de 0,50 m a 2,5 m ao longo de toda a extensão, e cerca de 11 m próximo à crista, conforme a Figura 2.

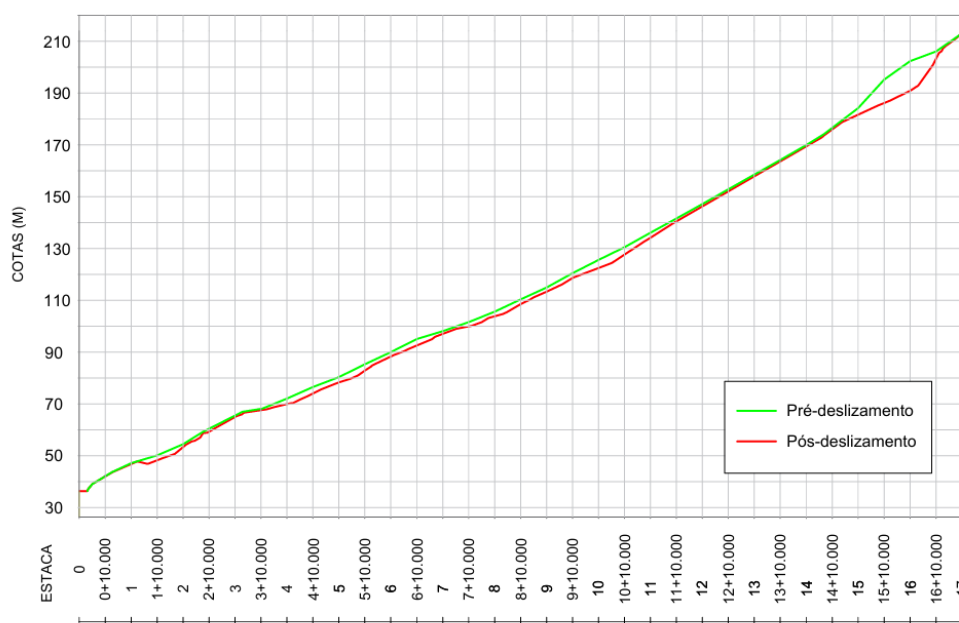


Figura 2. Geometria do talude pré e pós-deslizamento, na seção crítica estudada.

A interpretação geológico-geotécnica da encosta foi realizada a partir dos parâmetros de resistência do solo, obtidos por ensaios de cisalhamento direto (CID).

A análise de estabilidade foi realizada pelo Método de Equilíbrio Limite (MEL), no Slide2 e pelo Método de Elementos Finitos (MEF), no Rocscience 2, utilizando as geometrias das seções do talude anterior e posterior ao deslizamento e os parâmetros geotécnicos obtidos a partir de ensaios de cisalhamento direto, visando entender as possíveis causas do deslizamento.

Após diversas análises realizadas pelo MEL, apontando para ruptura na crista (região com menor fator de segurança), cuja massa de solo é de 11 m e considerando a geometria do talude pós-deslizamento, cuja extensão de massa rompida apresenta baixa espessura, sob terreno resistente, a análise foi realizada considerando a possibilidade da ruptura ter ocorrido em dois estágios, com pouca diferença de tempo entre eles: o primeiro, definido por uma superfície de ruptura na crista, equivalente à topografia atual e, o segundo, definido pela superfície de ruptura ao longo do perfil da topografia atual, decorrente do primeiro deslizamento.

### 3.1 Ensaios de Laboratório

O programa experimental constou de ensaios de cisalhamento direto executados em amostras indeformadas retiradas do solo residual em local adjacente ao escorregamento e teve como objetivo a obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento.

Os ensaios apresentados neste artigo foram executados em amostras nos estados natural e inundado, com aplicação de tensões normais de 25, 50, 100 e 200 kPa.

A velocidade de deslocamento horizontal, definida através do critério apresentado por Head (1994, apud Gibson e Henkel, 1954), onde a velocidade de cisalhamento ideal é a razão entre o deslocamento final previsto na ruptura e o tempo até a ruptura, para ensaios de cisalhamento lentos, foi de 0,4 mm/min. Neste trabalho, optou-se por utilizar uma velocidade de deslocamento horizontal constante ainda mais baixa, de 0,07 mm/min até a ruptura do corpo de prova, para garantir que ocorresse o cisalhamento drenado.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 Ensaios de Laboratório

Na Figura 3 são apresentados os gráficos tensão cisalhante x deslocamento horizontal dos solos inundado e natural, onde observa-se que, com exceção da curva de tensão normal de 25kPa para o solo natural, as curvas não apresentam pico de tensão, associado a processo de expansão.

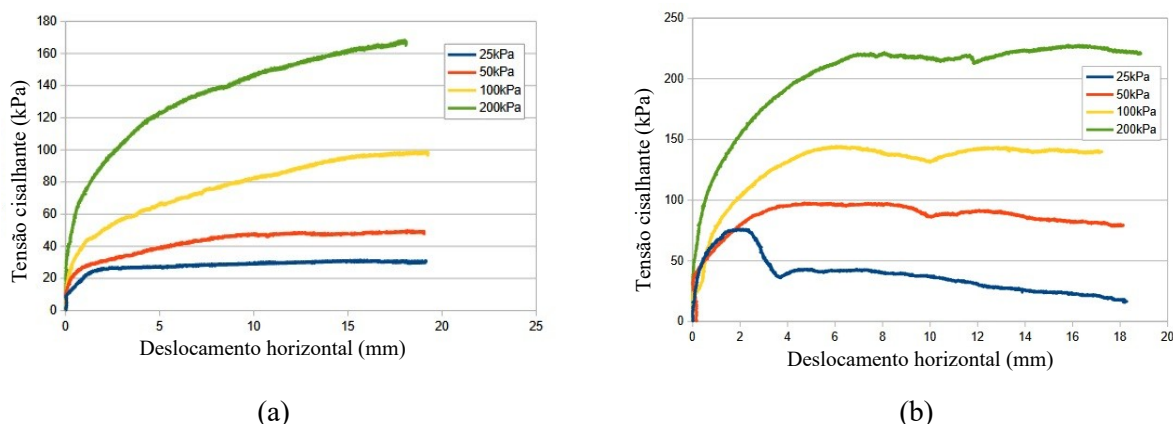
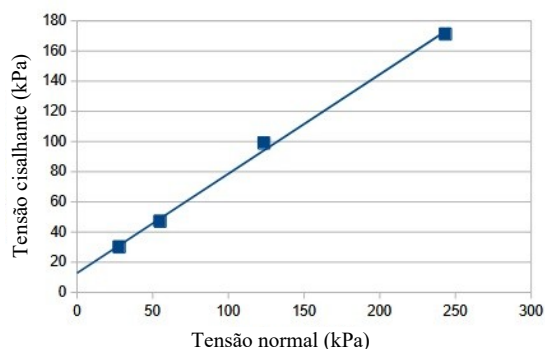


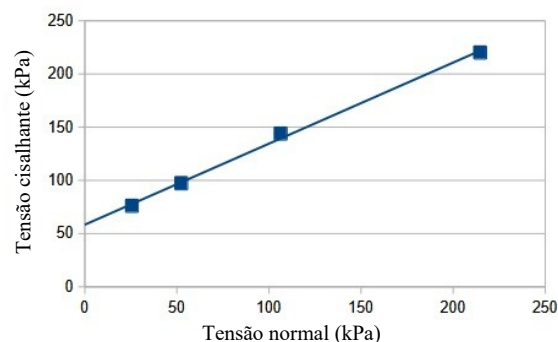
Figura 3. Gráficos tensão cisalhante x deslocamento horizontal do solo inundado (a) e natural (b).

A Figura 4 apresenta as envoltórias de resistência do solo natural e inundado, onde observa-se valores maiores de coesão e ângulo de atrito para o solo natural, conforme esperado. Os parâmetros de resistência estão reunidos na Tabela 1.





(a)



(b)

Figura 4. Envolvórias de resistência do solo inundado (a) e natural (b).

Tabela 1. Parâmetros de resistência do solo.

Solo residual	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
Natural	58	37
Inundado	13	33

## 4.2 Método do Equilíbrio Limite

A análise pelo Método do Equilíbrio Limite foi realizada no software Slide2, da Rocscience, utilizando a topografia apresentada na Figura 2, na qual foi considerada uma camada de solo residual sobrejacente ao terreno resistente, com os parâmetros de resistência apresentados na Tabela 1. Para o terreno resistente subjacente, considerou-se a coesão de 100 kPa e o ângulo de atrito de 45°. Foram adotados os métodos Spencer (1967) e Morgenstern-Price (1965), para obtenção do fator de segurança (FS) mínimo.

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos nas análises por equilíbrio limite, considerando-se a condição natural, que indicaram um valor alto de fator de segurança, igual a 2,2. Como este resultado não reproduz a condição de deslizamento de campo, optou-se por avaliar o talude na condição inundada com razão de poropressão ( $R_u$ ) iguais a zero e 0,10. A razão de poropressão representa a relação do acréscimo de poropressões em relação ao aumento de tensão vertical. Neste caso, foram obtidos FS iguais a 1,17 (Figura 6.a) e 1,04 (Figura 6.b) para  $R_u$  iguais a zero e 0,10, respectivamente.

A análise de estabilidade da encosta na condição natural apresentou FS=2,2 (figura 5), enquanto que para a condição inundada do solo, FS=1,17 (figura 6.a). Observa-se que, para uma variação da razão de poropressão ( $R_u=0,1$ ), ocorre a ruptura do maciço, com FS=1,04 (figura 6.b).

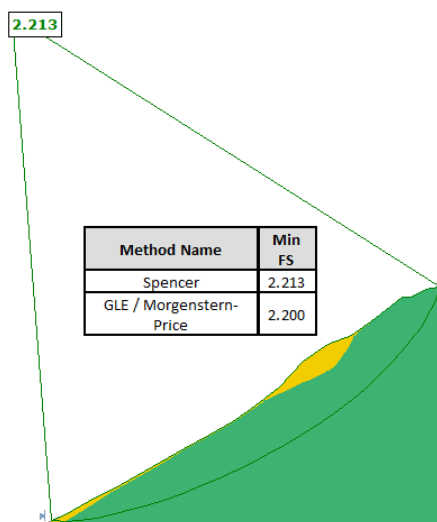


Figura 5. Análise considerando a condição natural.

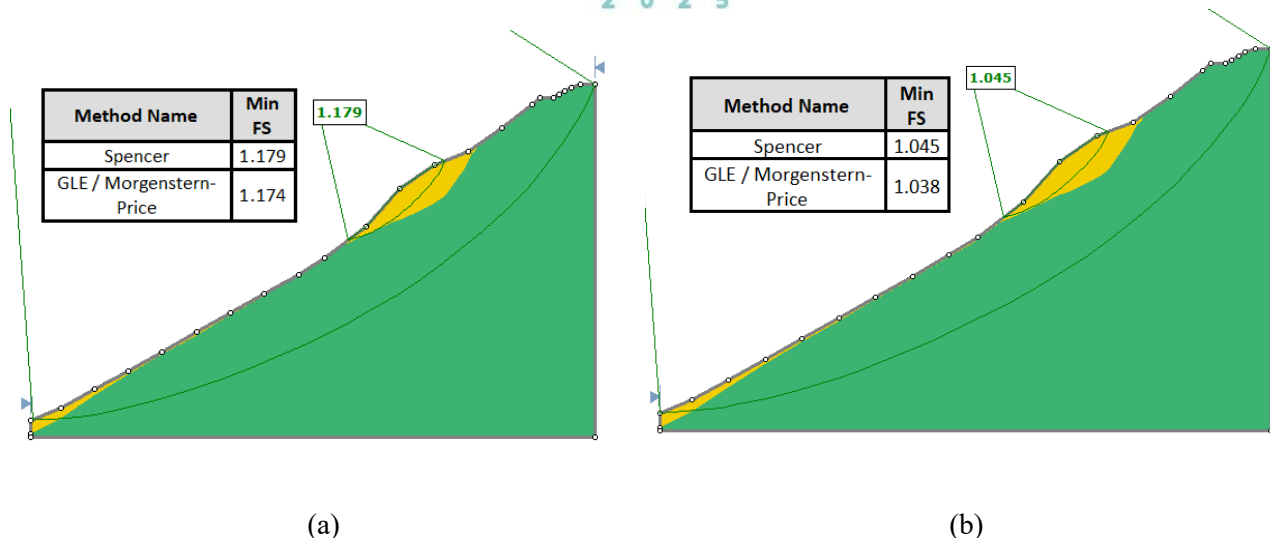


Figura 6. Análise considerando solo inundado com  $R_u=0$  (a) e  $R_u=0,1$  (b).

### 4.3 Método de Elementos Finitos

A análise pelo Método de Elementos Finitos foi realizada para o solo inundado, no software Rocscience2, utilizando as mesmas considerações descritas para o MEL. Foram utilizados módulo de elasticidade de 11.000 MPa e coeficiente de poisson de 0,4.

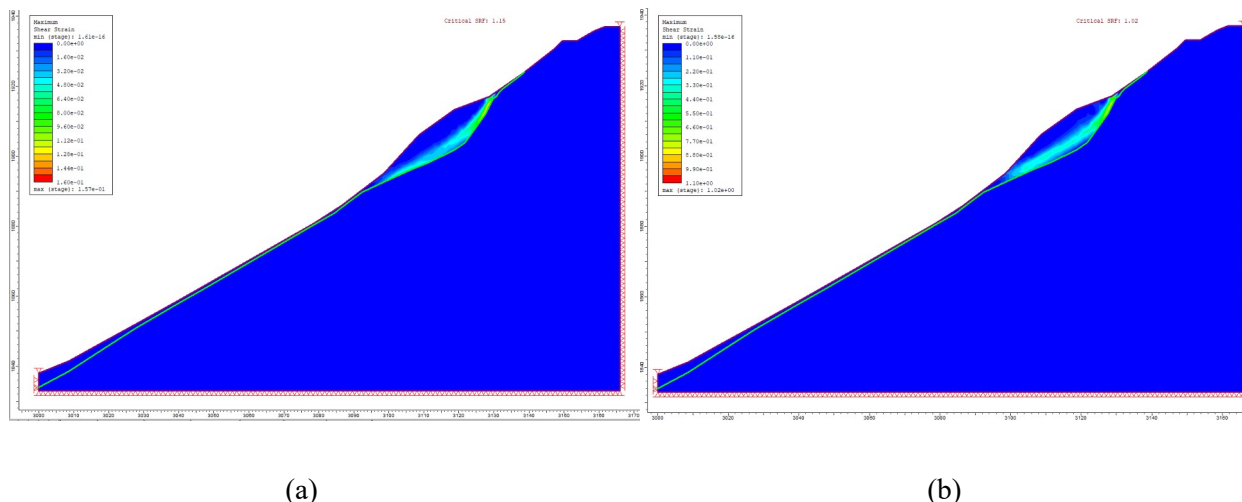


Figura 7. Análise considerando solo inundado com  $R_u=0$  (a) e  $R_u=0,1$  (b).

A análise da estabilidade para  $R_u=0$  apresentou Fator de Redução de Resistência (SRF) igual a 1,15 (Figura 7.a) e para  $R_u=0,1$ ,  $SRF=1,02$  (Figura 7.b). Observa-se que a superfície de ruptura formada, na Figura 7.b, é bem próxima à topografia apresentada pós-deslizamento, onde há a transição do solo residual para o solo mais resistente.

A Tabela 2 compara os resultados obtidos pelos diferentes métodos (MEL e MEF).

Tabela 2. Comparação entre os resultados.

Solo residual	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	$R_u$	FS	SRF
Natural	58	37	0	2,2	-
Inundado	13	33	0	1,17	1,15
Inundado	13	33	0,1	1,04	1,02

## 4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados é possível concluir que houve boa convergência dos resultados da análise de estabilidade pelo MEL e pelo MEF. Ambos apresentaram fatores de segurança aproximados, mostrando rompimento do talude na condição de variação de poropressão, com  $R_u=0,1$  e superfície de ruptura localizada na massa de solo da crista do talude.

Tratando-se de uma retroanálise, cuja superfície de ruptura ocorrida no solo é conhecida (geometria pós-deslizamento), o MEF apresentou maior precisão, uma vez que a superfície de ruptura se localizou bem próxima à topografia pós-deslizamento.

Os resultados apresentados indicam que o rompimento do talude ocorreu não somente devido à redução dos parâmetros de resistência, mas também à variação da razão de poropressão, ocasionada possivelmente pela elevação do lençol freático. Uma vez que a pluviometria no local não foi alta, é possível que uma infiltração ocasionada pelo rompimento de tubulações, uma vez que o local é bem próximo à comunidade, tenha contribuído para este cenário, porém são necessários mais estudos para relacionar estas variáveis.

Estão sendo estudadas, ainda, diversas envoltórias (oriundas de ensaios realizados no local por outros autores/instituições), considerando a variação da poropressão e dos parâmetros de resistência.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio à Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e à Marinha do Brasil, bem como a todos professores e orientadores que possibilitaram a presente pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Head, K. H. (1994) *Manual of Soil Laboratory Testing, Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests*, 2nd ed., Pentech Press, London, England, GB-ENG, UK, v. 2, 565-570 p.
- Heidemann, M.; Bressani, L.A.; Flores, J. A.; Conte, M. A. G.; Pérez, Y. G.; Silva, P. V. da (2017) *Comportamento de Solos Residuais de Granito-Biotita Associados a um Movimento de Massa na Grande Florianópolis*. Disponível em: <[http://https://www.researchgate.net/publication/334204217\\_Comportamento\\_de\\_Solos\\_Residuais\\_de\\_GranitoBiotita\\_Associados\\_a\\_um\\_Movimento\\_de\\_Massa\\_na\\_Grande\\_Florianopolis](http://https://www.researchgate.net/publication/334204217_Comportamento_de_Solos_Residuais_de_GranitoBiotita_Associados_a_um_Movimento_de_Massa_na_Grande_Florianopolis)>. Acesso em: 10 jul.2025
- IBGE (2004) *Mapa de Vegetação do Brasil*. Disponível em: <[http://https://geofp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf](http://https://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf)>. Acesso em: 09 jul. 2024.
- Morgenstern, N.R. and Price, V.E. (1965) The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Géotechnique*, 15, 79-93.
- Spencer, E. (1967) A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. *Géotechnique*, 17(1), p.11-26.
- <<http://https://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2019/05/5643210-niemeyer-esta-fechada-ha-mais-de-24-horas-desde-novo-deslizamento.html>>. Acesso em: 11 mai. 2024.
- <<http://https://www.icmbio.gov.br/parnatijuca/informacoes-gerais.html>>. Acesso em: 09 jul. 2024.
- <[https://extra.globo.com/noticias/vidigal-vive-crescimento-descontrolado-30-imoveis-novos-em-uma-semana-23430232.html](http://https://extra.globo.com/noticias/vidigal-vive-crescimento-descontrolado-30-imoveis-novos-em-uma-semana-23430232.html)>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- <<http://https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/26118-estudo-inedito-do-ibge-mostra-sul-e-sudeste-como-regioes-que-concentram-as-maiores-areas-de-suscetibilidade-a-deslizamentos>>. Acesso em: 20 abr. 2024.