XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/16

Análise de Sensibilidade e Incerteza dos Parâmetros Geotécnicos na Estabilidade de um Talude da BR-470

Maria Eduarda Bus
Mestranda, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, bus.maria@ufpr.br

Maria Eduarda Hass
Engenheira Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, dudahass@hotmail.com

Tainá Silva Sá Britto
Doutoranda, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, tainabritto@ufpr.br

Bianca Penteado de Almeida Tonus
Professora Doutora do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil, bpatonus@uepg.br

Vitor Pereira Faro
Professor Doutor no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vpfaro@ufpr.br

RESUMO: Os deslizamentos ocorridos na BR-470 durante o evento pluviométrico extremo de maio de 2024 no Rio Grande do Sul evidenciaram a necessidade de compreender os fatores que governam a estabilidade de taludes na região. Este artigo apresenta uma análise de sensibilidade global dos parâmetros geotécnicos de um talude representativo que sofreu ruptura, utilizando o método de Morris. O objetivo principal foi quantificar a influência das variáveis coesão, ângulo de atrito e peso específico no fator de segurança do maciço. A metodologia baseou-se na modelagem numérica por equilíbrio limite, utilizando o software Slide, critério de Mohr-Coulomb e Hoek-Brown, com a geometria reconstituída a partir de um caso real da BR-470. Foram definidos intervalos de variação dos parâmetros com base em dados experimentais da literatura. Aplicou-se o método de Morris com 15 trajetórias e 6 níveis. Os resultados indicaram que a coesão é o parâmetro de maior influência global no fator de segurança, com comportamento linear e monotônico. O ângulo de atrito apresentou influência intermediária, porém com maior interação com as demais variáveis e comportamento não linear pontual. O peso específico mostrou baixa influência global e comportamento não monotônico, atuando ora como força estabilizadora, ora desestabilizadora. Conclui-se que a hierarquia de sensibilidade obtida pode orientar futuras investigações geotécnicas e intervenções na rodovia, priorizando a determinação precisa dos parâmetros mais críticos para a segurança dos taludes.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de sensibilidade. Estabilidade de taludes. Método de Morris. BR-470.

ABSTRACT: The landslides that occurred along the BR-470 highway during the extreme rainfall event of May 2024 in Rio Grande do Sul highlighted the need to understand the factors governing slope stability in the region. This paper presents a global sensitivity analysis of the geotechnical parameters of a representative slope that experienced failure, using the Morris method. The main objective was to quantify the influence of cohesion, friction angle, and unit weight on the factor of safety of the soil mass. The methodology was based on numerical modeling using limit equilibrium analysis, performed with Slide software and adopting the Mohr–Coulomb and Hoek–Brown criteria, with geometry reconstructed from a real case along BR-470. Parameter variation ranges were defined based on experimental data reported in the literature. The Morris method was applied using 15 trajectories and 6 levels. Results indicated that cohesion is the parameter with the greatest global influence on the factor of safety, showing linear and monotonic behavior. The friction angle exhibited intermediate influence, but with stronger interaction with other variables and localized

nonlinear behavior. Unit weight showed low global influence and non-monotonic behavior, acting alternately as a stabilizing and destabilizing force. The sensitivity hierarchy obtained can guide future geotechnical investigations and interventions along the highway by prioritizing the accurate determination of the most critical parameters for slope safety.

KEYWORDS: Sensitivity analysis. Slope stability. Morris method. BR-470.

1 INTRODUÇÃO

A sequência de eventos pluviométricos extremos ocorridos em maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul desencadeou diversos deslizamentos, comprometendo significativamente a região. Esses episódios reforçaram a necessidade de compreender melhor os fatores que exercem maior influência na estabilidade dos taludes, e aprimorar as metodologias de análise, a fim de reduzir riscos geotécnicos.

A estabilidade de taludes é avaliada pelo fator de segurança obtido por métodos de equilíbrio limite, baseados em parâmetros como coesão, ângulo de atrito interno e peso específico. A heterogeneidade dos solos gera variabilidade nesses parâmetros devido a limitações de investigação e análise. Morris (1991) destaca que as entradas de um modelo influenciam diretamente suas saídas. Dessa forma, torna-se necessária uma análise de sensibilidade para avaliar o impacto dessas variáveis sobre o fator de segurança global, permitindo calibrar melhor os modelos e compreender a estabilidade dos taludes frente à variação dos parâmetros de entrada.

Conforme discutido por Oliveira et al. (2024), a análise de sensibilidade pode ser conduzida tanto de forma local quanto global. Na abordagem local, avalia-se o efeito de cada variável individualmente, realizando perturbações em um parâmetro por vez, enquanto os demais permanecem constantes. Já na análise global, as respostas do modelo consideram variações simultâneas em todos os parâmetros de entrada, dentro de um espaço amostral previamente definido. Quando pequenas variações em determinado parâmetro não produzem alterações significativas na solução do problema direto, esse parâmetro é considerado pouco sensível e sem influência relevante na resposta do modelo (Ferreira, 2020).

Entre os métodos globais mais aplicados, destaca-se o método dos efeitos elementares de Morris, utilizado neste trabalho e empregado em diferentes áreas da modelagem atualmente, devido ao seu bom desempenho na identificação da influência dos parâmetros de entrada. Franczyk et al. (2018), por exemplo, aplicaram o método de Morris em modelagens de estabilidade de diques e estruturas de contenção, demonstrando sua utilidade na identificação de parâmetros críticos em problemas de estabilidade. Wainwright et al. (2014) enfatizam que essa abordagem é indispensável para atribuir significado e confiabilidade aos resultados de modelos numéricos e orientar decisões na engenharia.

Na Formação Serra Geral, já foram realizados estudos, como o de Schmidt et. al (2025), que analisaram de forma paramétrica e sistemática a influência de parâmetros de resistência ao cisalhamento nas topografias locais, de acordo com a geologia da região, considerando as incertezas típicas que influenciam projetos geotécnicos.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo compreender a influência das principais variáveis geotécnicas no fator de segurança de um modelo representativo de talude localizado na BR-470, no estado do Rio Grande do Sul, em trecho afetado pelas chuvas extremas em maio de 2024. Para isso, foi aplicado um método de análise de sensibilidade baseado em variações sucessivas dos parâmetros de entrada, permitindo identificar quais exercem maior impacto sobre a resposta do modelo e quais apresentam efeitos menos significativos.

2 METODOLOGIA

A etapa de metodologia do presente trabalho consistiu na definição do modelo numérico a ser analisado, na definição de quais parâmetros seriam adotados e quais seriam perturbados durante a análise, assim como definições do próprio método de Morris.

2.1 Definição do modelo numérico

Para o estudo da sensibilidade de uma análise aos parâmetros impostos, foi adotada a geometria de um talude localizado na BR-470, o qual sofreu uma ruptura no período de chuvas de maio de 2024. A escolha dessa seção baseou-se na disponibilidade de informações geométricas e na relevância do evento, permitindo que a análise de sensibilidade fosse conduzida a partir de um caso real e representativo de instabilidades rasas em encostas da região.

Para a aplicação do método de Morris, a geometria do talude foi reconstituída de modo a representar a condição imediatamente anterior à ruptura observada. Essa abordagem foi adotada com o objetivo de garantir a existência de um estado estável de referência, condição necessária para a correta avaliação da influência relativa dos parâmetros geotécnicos sobre a resposta do modelo. O nível d'água foi posicionado de forma a não induzir ruptura imediata quando considerados os valores mínimos dos parâmetros geotécnicos analisados. Tal procedimento visa assegurar a estabilidade inicial do talude ao longo do espaço de entrada dos parâmetros, requisito fundamental para a aplicação do método de Morris, o qual pressupõe respostas contínuas do modelo às perturbações realizadas.

Durante as análises realizadas, não ocorre alterações na geometria inicialmente definida, fixando assim as condições de contorno, e limitando a influência somente dos parâmetros no modelo. A geometria adotada pode ser observada na Figura 1.

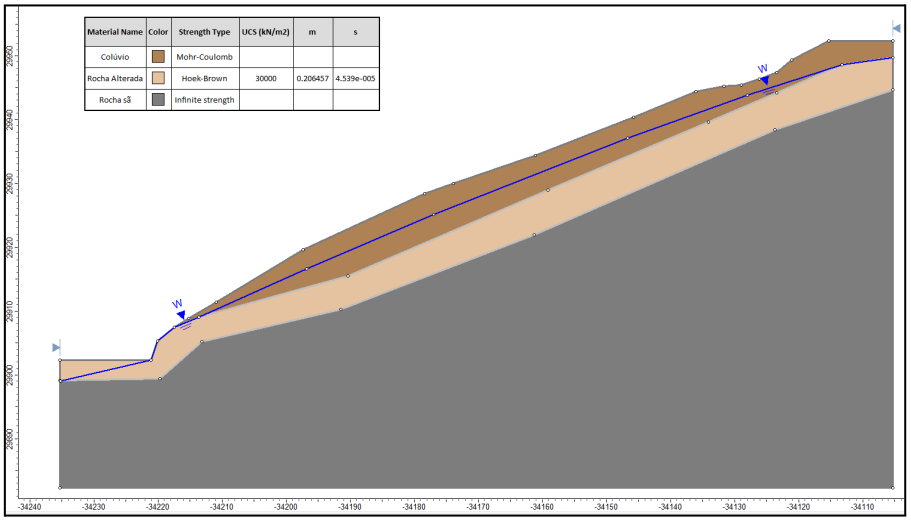


Figura 1. Geometria adotada para a análise de sensibilidade dos parâmetros.

Para as camadas que não foram submetidas a análise de sensibilidade, foram fixados parâmetros de acordo com a literatura. Para a camada de rocha alterada, foi utilizado o critério de ruptura de Hoek-Brown, com um UCS de 30000, um m de 0,206457 e um s de $4{,}539 \times 10^{-5}$ (Schmidt et. al, 2025). Para a camada de rocha sã, foi definido o infinite strength devido a impossibilidade de ruptura e não interferência no modelo.

Para a análise de estabilidade foi utilizado o software Slide da Rocscience Como critérios de ruptura, adotou-se Mohr-Coulomb para a camada de colúvio, e o critério de Hoek Brown para a camada de rocha alterada. Para a camada de rocha foi considerado *infinite strength*, devido a não influência na superfície de ruptura identificada no local. O método de análise adotado foi equilíbrio limite por Morgenstern Price.

2.1.1 Parâmetros de análise

Com objetivo de analisar a sensibilidade de uma análise de estabilidade aos parâmetros a ela impostos, escolheu-se variar a coesão, o ângulo de atrito e o peso específico do modelo. A decisão de variar tais parâmetros teve-se devido a esses serem os maiores determinantes na estabilidade de um talude, de acordo com a geotecnia clássica. A coesão e o ângulo de atrito foram selecionados por serem os componentes

fundamentais da equação de Mohr-Coulomb, que descreve a resistência ao cisalhamento do solo e define o plano de ruptura sob um determinado estado de tensões (Caputo, 1988). Em encostas como a da rodovia BR-470, caracterizada por solos coluvionares sobre basalto, a variação desses parâmetros é crítica para entender os mecanismos de instabilização (Perazzolo, 2003).

O peso específico foi incluído na análise por ser um parâmetro que compõe as forças estabilizadoras e desestabilizadoras do talude, influenciando diretamente o peso da massa de solo e, consequentemente, as tensões normais e tangenciais que atuam na superfície potencial de ruptura (Fiori; Carmignani, 2009).

A decisão de analisar os efeitos da perturbação dos três parâmetros ainda é validada pelo princípio que norteia o método de Morris, que foca na identificação de variáveis que exercem maior influência e no mapeamento de comportamentos não lineares ou interações complexas entre as entradas do modelo (Saltelli *et al.*, 2008).

Os intervalos de variação dos parâmetros de coesão e ângulo de atrito foram definidos de acordo com os estudos de Perazzolo (2003), a qual obteve esses parâmetros por meio de um programa experimental de ensaios de laboratório com amostras de solos coluvionares e residuais coletadas em dois taludes da Formação Serra Geral (Canastra e RS-470). Foram utilizados os dados correspondentes à BR-470 devido a proximidade e semelhança de formação. Para o peso específico, o intervalo baseou-se nos estudos de Ameratunga *et al.* (2016), tendo sido apresentada uma faixa típica de solos saturados. Nesse intervalo, solos coesivos situam-se na extremidade inferior e solos granulares na superior, sendo 22 kN/m³ o limite físico prático para materiais terrosos antes de atingirem densidades de concreto ou rochas.

O intervalo adotado para os parâmetros pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Intervalo de parâmetros adotados na análise de sensibilidade.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média
Coesão (kPa)	9	26	17,5
Ângulo de atrito (°)	28	35	31,5
Peso específico (kN/m³)	15	22	18,5

2.2 Método de Morris

O método de Morris é classificado como análise de sensibilidade global, pois apesar de variar somente um parâmetro por vez, criou o conceito de trajetória, na qual todos os parâmetros são variados de acordo com uma amostragem aleatória, evidenciando a influência de cada um deles no conjunto global. Como resultado, é obtido se os *inputs* analisados possuem influência negligenciável, linear e aditiva ou não-linear/influenciado por outros parâmetros (Saltelli, 2008).

De acordo com Morris (1991), para a execução do método, foram definidos 6 níveis de análise (ou seja, um intervalo de 0 a 1 dividido em 6 possibilidades de parâmetros), resultando em um delta de 0,6. é importante que para o funcionamento do método, os parâmetros permaneçam dentro do intervalo normalizado de [0,1], denominado de região de experimento.

Foram adotadas 15 trajetórias (equivalente a 15 perturbações em cada parâmetro), resultando num total de 60 análises. Cada trajetória é uma matriz onde há o ponto inicial da análise, uma perturbação da coesão, uma perturbação do ângulo de atrito e uma perturbação no peso específico, sendo que cada perturbação gera um Efeito Elementar (EE), o qual traduz a influência do parâmetro no modelo geral.

Após realizadas todas as análises, foram calculados os Efeitos Elementares de cada parâmetros pela fórmula 1.

$$EE_{xi} = \frac{FS(c, \phi, \gamma)|_{xi+\Delta} - FS(c, \phi, \gamma)}{\Delta} \quad (1)$$

A partir dos Efeitos Elementares, são calculadas as médias simples (μ) dos EE referentes a cada parâmetro, assim como as médias absolutas (μ*) e desvios padrões (σ). As médias são utilizadas para identificar o quão influente é aquele parâmetro na análise global, ou a ausência de influência deste; enquanto o desvio padrão é um indicativo da não linearidade dos efeitos daquele parâmetro, ou o indicativo de influência com outros (Saltelli, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Visão geral da análise

Para atingir os objetivos do artigo, foram executadas então 60 simulações numéricas, sendo essas devido a escolha de 15 trajetórias independentes com a variação simultânea de 3 parâmetros de entrada. O modelo numérico demonstrou plena convergência e estabilidade, não sendo observada qualquer instabilidade numérica ou incoerência aparente durante o processamento. Um resumo dos resultados obtidos pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo dos resultados das análises de estabilidade efetuadas.

Número de simulações	60
Média do FS	1,517
Desvio Padrão (σ)	0,207
CV (%)	13,66
FS mínimo	1,185
FS máximo	1,847

No fator de segurança mínimo foram utilizados parâmetros de coesão de 9 kPa, ângulo de atrito igual a 29,4º e peso específico igual a 16,4 kN/m³. No fator de segurança máximo foram utilizados parâmetros de coesão de 26 kPa, ângulo de atrito de 33,6º e peso específico igual a 19,2 kN/m³.

As variáveis coesão e ângulo de atrito apresentaram uma relação de aumento direto no fator de segurança quando expostas a perturbações positivas, confirmando sua influência linear e aditiva na estabilidade de acordo com o previsto na envoltória de Mohr-Coulomb. A variável peso específico apresentou variações não lineares, havendo aumento em determinadas trajetórias, enquanto também apresentou redução do fator de segurança em outras trajetórias, mesmo padronizando-se somente perturbações positivas. Esse comportamento também reflete o esperado pela literatura, considerando que o peso específico compõe ao mesmo tempo uma parcela de uma força desestabilizadora (massa da cunha de ruptura) e uma força estabilizadora (incremento da tensão normal e consequente resistência friccional do maciço) (Fiori; Carmignani, 2009).

3.1 Parâmetros de Morris

Os resultados obtidos quando transformados nos índices de Morris, permitem estabelecer uma hierarquia clara de sensibilidade para o modelo em estudo. Os índices podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Índices de Morris para o modelo numérico em estudo.

	Coesão	Ângulo de Atrito	Peso específico
Média simples (μ)	0,4961	0,2537	-0,0248
Média absoluta (μ*)	0,4961	0,2612	0,0579
Desvio Padrão (σ)	0,0624	0,0866	0,0674

Em termos de influência global, ou seja, no que diz respeito a análise da média (μ e μ*) dos efeitos elementares de cada parâmetro variado, a coesão apresenta o maior impacto, seguida pelo ângulo de atrito e por fim o peso específico. A análise realizada coloca em perspectiva relativa os três parâmetros, definindo ordem de sensibilidade entre si.

De forma específica, a coesão apresentou valores de média simples (μ) e média absoluta (μ*) idênticos, evidenciando um comportamento monotônico e positivo em todas as trajetórias. O ângulo de atrito divergiu os valores de média simples (μ) e média absoluta (μ*) , a diferença é explicada por uma das

trajetórias, na qual a perturbação do parâmetro resultou numa diminuição do fator de segurança, evidenciando um comportamento não monotônico pontual. Ou seja, certas configurações de interação com outras variáveis podem interferir de forma não estabilizadora no comportamento do talude. Por fim, o peso específico demonstrou um comportamento mais complexo, divergindo consideravelmente média simples (μ) e média absoluta (μ*). A divergência entre as médias aponta que, durante as análises realizadas, ele varia entre ser uma força estabilizadora e uma força desestabilizadora. Num contexto geral, mesmo com a divergência de médias, apresenta um μ* baixo em relação a outros parâmetros, indicando que o impacto total no fator de segurança é pequeno, e a variabilidade absoluta desses efeitos também tende a ser numericamente menor em comparação a parâmetros muito mais influentes.

Em termos de grau de interação e não linearidade, ou seja, no que diz respeito a análise do desvio padrão (σ) dos efeitos elementares de cada parâmetro variado, o ângulo de atrito obteve o maior desvio padrão. Esse índice de Morris elevado indica que seu efeito é altamente dependente dos valores assumidos pelos outros parâmetros na trajetória, o que caracteriza uma interação complexa que infla o valor do desvio padrão. O ângulo de atrito obteve o maior desvio padrão (σ=0,0866), o que revela que ele é o parâmetro mais dependente do contexto e das interações com as demais variáveis, apresentando uma sensibilidade que oscila mais drasticamente ao longo do espaço amostral.

Embora a coesão seja o parâmetro de maior influência global no modelo, o desvio padrão foi o menor apresentando, indicando um comportamento predominantemente linear e aditivo. Em resumo, o efeito do incremento da coesão no fator de segurança é relativamente constante, independentemente dos valores assumidos pelo ângulo de atrito ou pelo peso específico na trajetória analisada. Quanto ao peso específico, apesar de apresentar a maior não monotônico, seu desvio padrão não foi o mais elevado do modelo pois, no método de Morris, o σ quantifica a variabilidade total dos efeitos elementares decorrente de não linearidades e interações complexas. Como a magnitude da influência global do peso específico é a menor entre as variáveis analisadas, as oscilações absolutas de seus resultados no fator de segurança são numericamente limitadas.

Os índices de Morris podem ser visualizados de forma gráfica nas Figura 2 e Figura 3. A Figura 2 representa um gráfico em boxplot, o qual resume a distribuição de um conjunto de dados por meio da mediana, dos quartis e da variação total, permitindo visualizar tendência central, dispersão, assimetria e possíveis outliers. No contexto do Método de Morris, ele é utilizado para representar a distribuição dos efeitos elementares de cada parâmetro, possibilitando avaliar rapidamente sua importância, a direção do efeito e a presença de não linearidades ou interações.

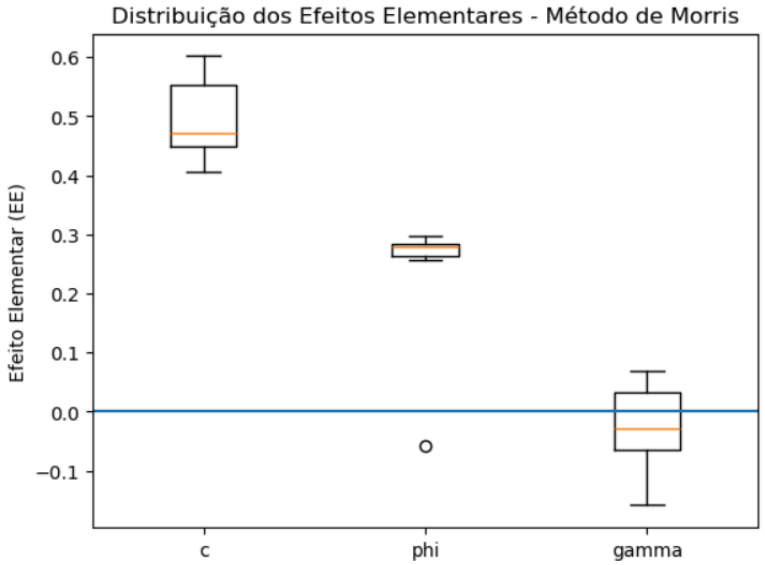


Figura 2. Boxplot de distribuição dos Efeitos Elementares do Método de Morris.

O boxplot confirma visualmente a ordem de influência global identificada pelos valores de μ*. A coesão apresenta a maior magnitude dos efeitos elementares, com a caixa completamente afastada do zero e sem cruzamentos negativos, evidenciando comportamento monotônico positivo e a maior influência no fator de segurança.

O ângulo de atrito ocupa posição intermediária, com mediana inferior à da coesão e leve dispersão adicional, incluindo ocorrência pontual de efeito negativo, o que explica a divergência entre média simples e média absoluta. Quanto aos efeitos de não linearidade, o parâmetro demonstra maior dispersão relativa dos efeitos elementares, sugerindo maior dependência do contexto e interação com as demais variáveis.

O peso específico apresenta a menor influência global, com mediana próxima de zero e distribuição que cruza a linha de referência, indicando alternância entre efeitos estabilizadores e desestabilizadores (Fiori; Carmignani, 2009).

A Figura 3 representa um gráfico de dispersão com as variáveis σ x μ*, no qual é possível observar no plano as relações entre a influência global do parâmetro e sua não linearidade.

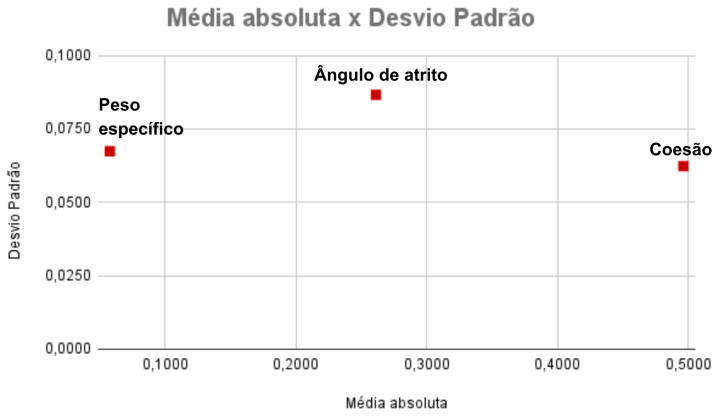


Figura 3. Média Absoluta x Desvio Padrão.

No gráfico é possível visualizar as conclusões expostas de forma numérica, nas quais a coesão se apresenta como parâmetro de maior influência global porém maior linearidade na influência no fator de segurança. O ângulo de atrito é indicado como um parâmetro de influência intermediária no modelo, porém com uma maior não linearidade, indicando sua dependência com outros parâmetros. Por fim, observa-se o peso específico como parâmetro de baixa influência global, o que impacta em sua não linearidade, com um baixo desvio padrão apesar do comportamento não monotônico.

Comparando os resultados expostos com o encontrado na literatura técnica, Schmidt et al. (2025) realizou a análise paramétrica de um talude localizado na mesma região do presente estudo, e obteve conclusões similares, com a maior influência do parâmetro coesão no modelo, assim como uma influência, mas em menor escala do ângulo de atrito na estabilidade.

4 CONCLUSÃO

A aplicação do método de Morris permitiu identificar uma hierarquia entre os parâmetros avaliados, na qual a coesão apresentou maior influência global sobre o fator de segurança, seguida pelo ângulo de atrito e, por fim, pelo peso específico, que teve uma contribuição menos significativa na estabilidade.

Apesar de ser importante, essa hierarquização não deve ser interpretada de forma simplificada ou isolada. Embora a coesão tenha apresentado a maior contribuição para a variação do fator de segurança, seu comportamento foi predominantemente linear e aditivo, com baixa dependência das demais variáveis. O ângulo de atrito, evidenciou maior sensibilidade às interações, indicando que sua influência pode se intensificar ou se reduzir conforme o contexto paramétrico inserido. Já o peso específico, apesar da menor influência global, apresentou comportamento alternado entre efeitos estabilizadores e desestabilizadores, refletindo sua participação simultânea nas forças resistentes e nas forças atuantes do talude.

Esses resultados mostram que apesar de haver uma maior influência de alguns parâmetros, a resposta do modelo decorre da interação conjunta das variáveis e da forma como elas interagem com os demais componentes do modelo, não apenas de seus efeitos individuais. A estabilidade de taludes é resultado de um equilíbrio complexo, no qual resistência e solicitações se combinam de maneira não necessariamente proporcional e linear. Assim, mesmo parâmetros com influência global inferior podem ser determinantes em alguns casos, especialmente em cenários próximos à condição limite.

Ao indicar quais parâmetros demandam maior atenção nos estudos geotécnicos, o método de Morris contribuiu para uma avaliação mais minuciosa da estabilidade, evidenciando os padrões de linearidade e interação entre as variáveis. Dessa forma, conclui-se que a abordagem pode contribuir para direcionar investigações, reduzir incertezas e fundamentar decisões técnicas com maior consistência, porém a estabilidade de um talude deve ser realizada a partir de uma abordagem integrada, sendo de extrema importância a incorporação da análise de sensibilidade para melhorar a confiabilidade dos resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Solution IPD pela concessão da licença do software Slide. Agradecem também ao Departamento de Construção Civil e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná e à Universidade Estadual de Ponta Grossa pelo apoio institucional ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ameratunga, J. et al. (2016). *Correlations of soil and rock properties in geotechnical engineering*. Springer, New Delhi, India.

Caputo, H. P. (1988) *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 6. ed. Editora Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, vol. 1

Fiori, A. P., & Carmignani, L. (2001) *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas*. (1 ed.). Curitiba: UFPR.

Ferreira, F. F. et al. (2020). *Van Genuchten sensitivity analysis by Morris method*. XXIII ENMC e XI ECTM, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, Brasil.

Franczyk, A. et al. (2018) *Application of Morris method of sensitivity analysis to flood embankment stability modelling*. AGH - University of Science and Technology, Poland

Morris, M. D. (1991). *Factorial sampling plans for preliminary computational experiments*. Technometrics.

Perazzolo, L. (2003). *Estudo geotécnico de dois taludes da Formação Serra Geral, RS*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

Saltelli, A. et al. (2008). *Global sensitivity analysis: the primer*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

Schmidt, K. S. et al. (2025). *Influência da variabilidade de parâmetros de resistência ao cisalhamento na estabilidade de talude da Formação Serra Geral*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

Wainwright. H. M. et al. (2014). *Making sense of global sensitivity analyses*. 2014. Computer e Geosciences 65.