

Estabilidade de Taludes Inclinados (1H:3V) com Solo Grampeado: Efeitos do Arranjo dos Grampos em Modelagens 3D

João Pedro Damis Vital

Engº Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, jpdamisvital2000@gmail.com

Jean Rodrigo Garcia

Professor Doutor, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, jean.garcia@ufu.br

RESUMO: A ocupação de áreas de risco é um problema recorrente em regiões urbanas e periféricas, aumentando a probabilidade de deslizamentos e comprometendo a segurança de estruturas e vidas humanas. A técnica de solo grampeado tem sido amplamente adotada na estabilização de taludes, especialmente em áreas urbanas com ocupação irregular. Este trabalho analisou a estabilidade de taludes inclinados (1H:3V), com 12 m de altura, reforçados com grampos dispostos em malhas quadrada (MQ) e escalonada (ME), submetidas a espaçamentos de 0,8 m, 1,0 m e 1,2 m. Foram realizadas simulações tridimensionais com os softwares Slide3 e RS3, aplicando, respectivamente, o método de equilíbrio limite (Janbu e Spencer) e o método de redução da resistência ao cisalhamento (SSR). Os fatores de segurança variaram entre 1,62 e 1,92, com melhores resultados para a malha escalonada (ME) com espaçamento de 1,0 m. Os deslocamentos horizontais máximos estimados pelo RS3 variaram entre 7 mm e 25 mm, sendo menores na malha quadrada (MQ) para menores espaçamentos. Verificou-se que o aumento do espaçamento reduziu significativamente a estabilidade global e ampliou os deslocamentos. Conclui-se que a malha escalonada oferece maior estabilidade, ainda que com deformações ligeiramente superiores, enquanto a malha quadrada apresenta menor mobilidade. A escolha do arranjo deve considerar as condições geotécnicas e geométricas de cada projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Elementos finitos 3D, Equilíbrio limite 3D, Solo grampeado.

ABSTRACT: The occupation of hazardous areas is a recurring issue in urban and peripheral regions, increasing the likelihood of landslides and compromising the safety of structures and human lives. The soil nail wall technique has been widely used to stabilize slopes, especially in irregularly occupied urban areas. This study analyzed the stability of inclined slopes (1H:3V), 12 meters high, reinforced with soil nails arranged in square and staggered mesh patterns, with spacings of 0.8 m, 1.0 m, and 1.2 m. Three-dimensional simulations were performed using Slide3 and RS3 software (Rocscience Inc.), applying the limit equilibrium method (Janbu and Spencer) and the shear strength reduction method (SSR). Safety factors from limit equilibrium analyses ranged from 1.62 to 1.92, with the best results observed for the staggered mesh at 1.0 m spacing. Maximum horizontal displacements in RS3 ranged from 7 mm to 25 mm, being lower for the square mesh at smaller spacings. Increasing the spacing significantly reduced global stability and increased displacements. It is concluded that the staggered mesh provides higher global stability, although with slightly greater deformations, while the square mesh offers lower displacements. The choice of mesh arrangement should consider the specific geotechnical and geometrical conditions of each project.

KEYWORDS: 3D finite elements, 3D limit equilibrium, Soil nail walls

1 INTRODUÇÃO

A ocupação irregular de áreas de risco, associada à carência de infraestrutura adequada, representa um dos principais desafios urbanos no Brasil e em diversas regiões do mundo, ampliando o risco de escorregamentos e deslizamentos em taludes e encostas. Esses eventos não apenas resultam em elevados prejuízos materiais, mas também oferecem riscos significativos à integridade física da população.

Dentre as técnicas de estabilização de taludes, o solo grampeado destaca-se como uma alternativa eficiente, segura e economicamente viável. Esse método consiste na introdução de elementos resistentes à tração no maciço de solo, usualmente barras metálicas injetadas com calda de cimento, associadas à aplicação de concreto projetado sobre a face escavada (FRANÇA, 2007; FHWA, 2015). Derivado inicialmente de



técnicas aplicadas em túneis, o solo grampeado tornou-se uma solução consolidada em projetos de contenção, particularmente em áreas urbanas com restrições de espaço e acesso (LAZARTE ET AL., 2015).

A análise da estabilidade de taludes reforçados com solo grampeado pode ser conduzida por diferentes abordagens numéricas, destacando-se os métodos de equilíbrio limite, diferenças finitas e elementos finitos (DERGHOUM & MEKSAOUINE, 2021). O método de equilíbrio limite apresenta ampla aplicação prática pela sua simplicidade e rapidez computacional, embora dependa da definição prévia de superfícies potenciais de ruptura (DUNCAN, J. M.; WRIGHT, 2005). Por outro lado, o método dos elementos finitos (MEF) oferece maior capacidade de representar o comportamento mecânico do solo, a interação solo-reforço e a evolução dos deslocamentos e tensões ao longo do tempo (LI et al., 2014; WANG et al., 2020).

Diversos aspectos geométricos e de configuração dos grampos podem influenciar significativamente a estabilidade da estrutura, dentre eles o espaçamento e o arranjo das malhas de reforço. Embora existam estudos individualizados sobre a técnica, observa-se na literatura uma carência de investigações comparativas sistemáticas que avaliem, de forma integrada, o impacto de diferentes geometrias de malhas de grampos em análises tridimensionais, tanto em termos de fator de segurança quanto de deslocamentos.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem por objetivo analisar, por meio de simulações tridimensionais com métodos de equilíbrio limite e elementos finitos, a influência de diferentes espaçamentos (0,8 m, 1,0 m e 1,2 m) e geometrias de malhas de grampos (quadrada e escalonada) na estabilidade de taludes inclinados em solo grampeado, com geometria representativa de encostas naturais (1H:3V). A pesquisa busca fornecer subsídios técnicos ao dimensionamento seguro e otimizado dessas estruturas, contribuindo com o aprimoramento da prática de engenharia geotécnica aplicada à estabilização de encostas urbanas.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de comparar a estabilidade de taludes reforçados com solo grampeado, considerando diferentes espaçamentos (0,8 m, 1,0 m e 1,2 m) e arranjos geométricos de malhas (quadrada e escalonada). Para isso, foram empregados dois métodos de análise numérica: o método do equilíbrio limite tridimensional e o método dos elementos finitos tridimensional. Ressalta-se que o talude considerado possui geometria inclinada com inclinação 1(H):3(V), não representando, portanto, um muro vertical ou contenção retilínea comum em escavações profundas urbanas.

As análises em equilíbrio limite foram realizadas utilizando o software Slide3 (Rocscience Inc.), que permite a modelagem tridimensional de taludes com a consideração de superfícies de ruptura complexas. Foram adotadas superfícies de ruptura esféricas, elipsoidais e indefinidas, determinadas por meio do algoritmo de busca automática Cuckoo Search, buscando identificar a superfície crítica associada ao menor fator de segurança global (FS).

As simulações pelo método dos elementos finitos foram conduzidas com o software RS3 (Rocscience Inc.), o qual permite avaliar não apenas a estabilidade global, mas também o comportamento tensão-deformação do maciço e os deslocamentos induzidos. Para a estimativa do fator de segurança foi aplicado o método de redução de resistência ao cisalhamento (Shear Strength Reduction - SSR), no qual os parâmetros resistentes do solo são progressivamente reduzidos até que o modelo atinja condição de instabilidade (FINN, 1966; KANG YAMING, YANG MINGCHENG, 2006). A perda de convergência numérica na análise iterativa é utilizada como indicativo de ruptura global.

Embora análises bidimensionais sejam amplamente utilizadas em projetos geotécnicos, estudos têm demonstrado que, em determinadas geometrias complexas, análises tridimensionais podem fornecer estimativas mais representativas dos mecanismos de ruptura e dos fatores de segurança (LAZARTE ET AL., 2015). Nesse sentido, a modelagem 3D adotada neste trabalho permitiu capturar os efeitos espaciais do arranjo dos grampos e das diferentes malhas analisadas.

As análises comparativas entre as malhas quadradas e escalonadas mostraram que tanto a geometria dos grampos quanto seu espaçamento interferem significativamente na estabilidade global do maciço, com implicações diretas no dimensionamento e na segurança da estrutura de contenção. Adicionalmente, observou-se que superfícies de ruptura indefinidas geralmente resultaram em fatores de segurança inferiores aos obtidos com superfícies esféricas ou elipsoidais, evidenciando a complexidade dos mecanismos de ruptura considerados (DUNCAN, J. M.; WRIGHT, 2005).

Dessa forma, a utilização integrada de ferramentas computacionais avançadas e métodos numéricos rigorosos mostrou-se essencial para o adequado dimensionamento de estruturas em solo grampeado,

principalmente em áreas urbanas de risco, onde predominam taludes de geometria complexa e elevada responsabilidade técnica (SPRINGER, 2006).

2.1 Características do solo e reforço

As análises foram realizadas para um talude com inclinação 1(H):3(V) e altura de 12 metros, representando uma condição inicial próxima à instabilidade.

A Figura 1 apresenta o modelo tridimensional do talude com a malha escalonada, analisado pelo método dos elementos finitos.

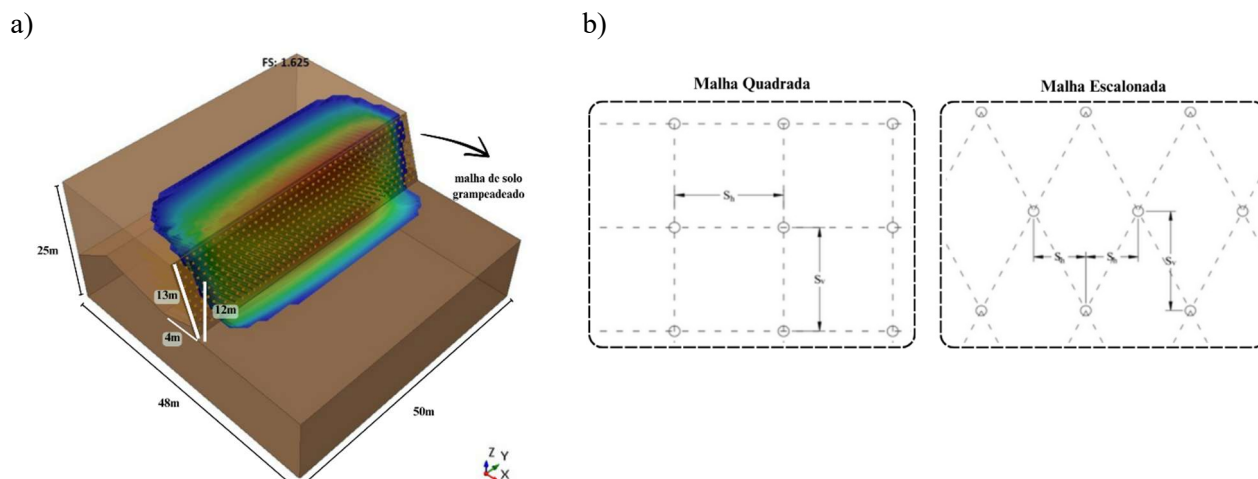


Figura 1. Análise do talude com malha escalonada: a) equilíbrio limite e b) método dos elementos finitos.

Com base em ensaios de sondagem à percussão (SPT), foi possível identificar quatro camadas de solo, predominantemente arenoso, variando de areia argilo-siltosa a areia silto-argilosa. Os valores de resistência à penetração dinâmica (N_{SPT}) variaram de 4 a 19 golpes/30 cm, da superfície até as camadas mais profundas.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros geotécnicos utilizados nas simulações, obtidos por meio de correlações empíricas com os valores de N_{SPT} .

Tabela 1. Parâmetros geotécnicos das camadas

Camada	$N_{SPT_médio}$ [golpes/30cm]	ϕ [°]	c [kPa]	γ_{nat} [kN/m³]	E [kPa]	ν [-]	K_0 [-]	K_a [-]
Camada argila arenosa	7	27	18	18	13650	0,3	0,6	0,4
Camada areia argilosa	14	32	25	19	21000	0,4	0,5	0,3

Para o sistema de reforço, foram utilizadas barras de aço CA-50 com diâmetro nominal de 20 mm e perfuração de 100 mm. A resistência de cálculo à tração dos grampos (R_{td}) foi determinada conforme a equação (1).

$$R_{td} = f_{yd} \cdot A_{útil} \quad (1)$$

Onde:

- $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ é a resistência de cálculo do aço CA-50,
- $A_{útil}$ é área útil da seção da barra de aço, descontada a espessura de sacrifício por corrosão (0,6 mm), conforme ABNT NBR 16920-2: 2021.

A carga na cabeça do grampo (T_0) foi desconsiderada nas análises comparativas realizadas.

Os grampos foram considerados como elementos resistentes à tração, inseridos no solo por perfuração e fixados através da injeção de calda de cimento. A interação solo-grampo é essencial para o dimensionamento da estrutura de contenção.



Com base nos parâmetros de cada camada de solo, foi possível determinar a resistência de aderência solo-grampo (q_s), estimada por meio de correlações semiempíricas a partir dos valores de NSPT. A literatura apresenta diferentes propostas para essa estimativa, destacando-se as de ORTIGÃO (1997), ORTIGÃO E SAYÃO (2004) E SPRINGER (2006), apresentadas nas equações (2), (3) e (4), respectivamente.

A partir das equações apresentadas, foram obtidos os valores da tensão de aderência (q_s) para cada camada de solo, os quais foram utilizados nas análises realizadas neste trabalho. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 2.

$$q_s = 50 + 7,5 \cdot (N_{SPT}) \quad (2)$$

$$q_s = 67 + 60 \cdot \ln(N_{SPT}) \quad (3)$$

$$q_s = 45,12 \cdot \ln(N_{SPT}) - 14,99 \quad (4)$$

Tabela 2. Valores de Resistência a aderência (KPa)

Equação	Ortigão (1997)	Ortigão et al (1997)	Springer (2006)
Camada argila arenosa	97,34	173,23	64,89
Camada areia argilosa	159,55	225,68	104,34

Dessa forma, foram considerados os valores mais conservadores de q_s para cada camada, a fim de calcular a força de aderência unitária (t). Essa força representa a resistência ao arrancamento por metro linear de grampo, determinada pela equação (5).

$$t = q_s \cdot \pi \cdot D \quad (5)$$

Sendo D o diâmetro nominal do grampo, em metros.

3 MÉTODOS DE ANÁLISE E SUPERFÍCIES DE RUPTURA

As superfícies de ruptura tridimensionais foram determinadas utilizando o método de busca automática conhecido como *Cuckoo Search*, implementado no software Slide3 (Rocscience Inc.). Esse algoritmo permite localizar a superfície crítica de ruptura associada ao menor fator de segurança global (FS), considerando múltiplas formas geométricas de ruptura.

As análises consideraram superfícies esféricas, elipsoidais e indefinidas, com o objetivo de representar diferentes mecanismos de falha. A Figura 2 ilustra os principais métodos e formas de superfícies de ruptura disponíveis na modelagem tridimensional.

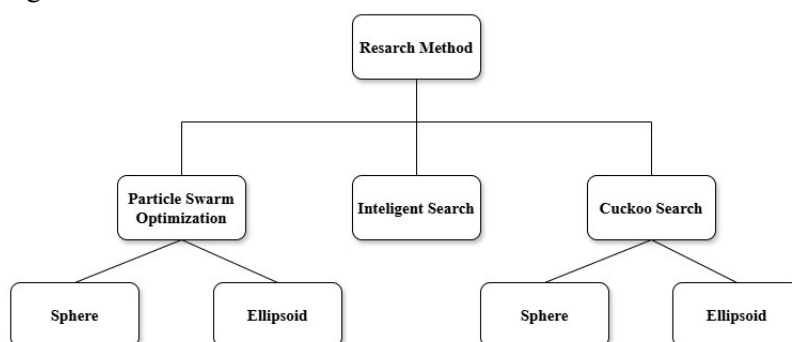


Figura 2. Possíveis métodos a serem utilizados na definição das superfícies de ruptura.

As análises numéricas por elementos finitos foram realizadas com o software RS2 (Rocscience Inc.), aplicando o método da redução da resistência ao cisalhamento (Shear Strength Reduction - SSR). Neste procedimento, os parâmetros resistentes do solo são reduzidos progressivamente até que o modelo atinja a condição de instabilidade global, identificada pela perda de convergência numérica (FINN, 1966; KANG YAMING, YANG MINGCHENG, 2006). O fator de segurança obtido nesse processo corresponde ao Strength Reduction Factor (SRF) crítico.

As malhas de elementos finitos foram geradas com aproximadamente 3.000 elementos triangulares de dez nós. As condições de contorno adotadas consistiram em restrições de deslocamento nas direções "x", "y" e "z" na base do talude e restrição na direção "y" e "z" nas faces laterais, conforme ilustrado na Figura 3.

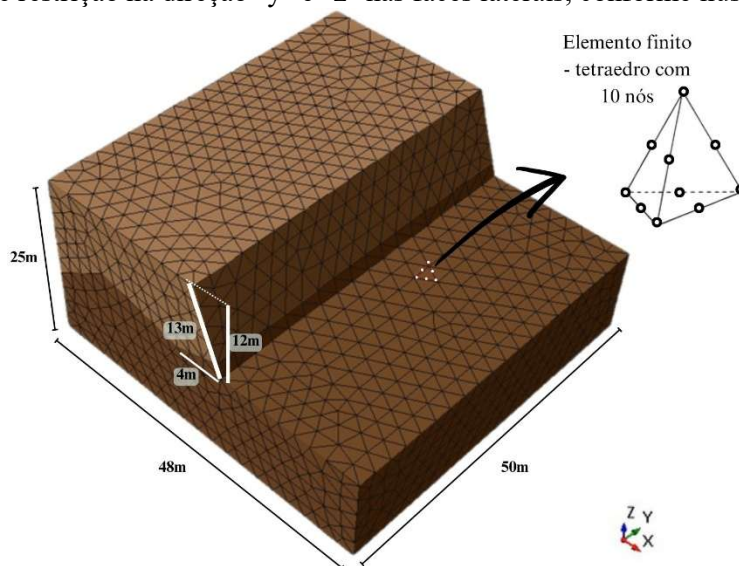


Figura 3. Modelo tridimensional de elementos finitos: discretização com elementos tetraédricos de dez nós e condições de contorno aplicadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises pelo método do equilíbrio limite

Foram realizadas análises de estabilidade do talude considerando inicialmente o modelo sem reforço e, posteriormente, a inclusão dos grampos com as configurações de malha escalonada e malha quadrada, para os três espaçamentos analisados (0,8 m; 1,0 m; 1,2 m). As análises pelo método do equilíbrio limite tridimensional foram conduzidas com o software Slide3, considerando os métodos de Janbu e Spencer, aplicados às superfícies esféricas e elipsoidais.

Os resultados obtidos para a malha escalonada são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Fatores de segurança obtidos para a malha escalonada.

Método de Análise	Método de Busca	Tipo de Superfície	Malha Escalonada (ME)		
			Sh=Sv=0,8m	Sh=Sv=1,0m	Sh=Sv=1,2m
			FS	FS	FS
Janbu	CS	Esférica	1,81	1,84	1,67
Janbu	CS	Elipsoidal	1,84	1,71	1,63
Spencer	CS	Esférica	1,83	1,92	1,62
Spencer	CS	Elipsoidal	1,85	1,72	1,64

A Figura 4 apresenta a variação dos fatores de segurança (FS) em função do espaçamento entre grampos ($Sh = Sv$), comparando os métodos de análise e os tipos de superfície de ruptura.

Observa-se que, para o espaçamento de 1,0 m, o método de Spencer com superfície esférica apresentou o maior valor de FS, indicando melhor desempenho nessa configuração. Por outro lado, à medida que o espaçamento aumenta para 1,2 m, há uma redução geral dos fatores de segurança em todos os métodos e tipos de superfície, evidenciando que o aumento do espaçamento compromete a estabilidade do talude. A comparação entre superfícies esféricas e elipsoidais mostra variações discretas, sendo as esféricas levemente mais conservadoras em alguns casos.

Esses resultados reforçam a importância do controle no espaçamento dos grampos para garantir a segurança em projetos de solo grampeado.

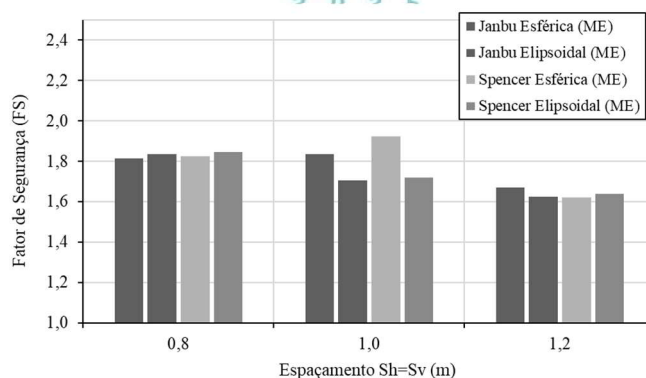


Figura 4. Fatores de segurança obtidos com diferentes métodos e superfícies de ruptura para malha escalonada (ME).

Em seguida, utilizando a mesma modelagem tridimensional, foram realizadas as análises para a malha quadrada, conforme os dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Fator de Segurança de malha quadrada em diferentes análises

Método de Análise	Método de Busca	Tipo de Superfície	Malha Quadrada (MQ)		
			Sh=Sv=0,8m	Sh=Sv=1,0m	Sh=Sv=1,2m
			FS	FS	FS
Janbu	CS	Esférica	1,81	1,70	1,67
Janbu	CS	Elipsoidal	1,88	1,70	1,66
Spencer	CS	Esférica	1,82	1,64	1,67
Spencer	CS	Elipsoidal	1,98	1,71	1,67

A Figura 5 ilustra a variação dos fatores de segurança obtidos para a malha quadrada em função do espaçamento entre os grampos, permitindo a comparação direta entre os diferentes métodos e geometrias de superfície adotados.

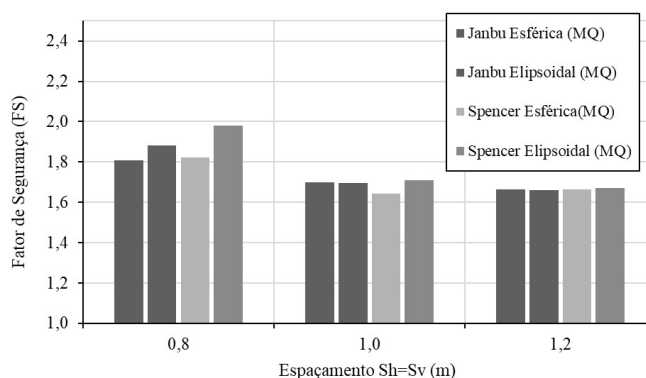


Figura 5. Fatores de segurança obtidos com diferentes métodos e superfícies de ruptura para malha quadrada (MQ).

Na análise do gráfico referente à malha quadrada, observa-se um comportamento semelhante ao da malha escalonada no que diz respeito à influência do espaçamento dos grampos sobre o FS. Para o espaçamento de 0,8 m, os valores de FS se mantêm próximos entre os métodos avaliados, indicando boa eficácia da contenção com menor espaçamento. No espaçamento de 1,0 m, destaca-se novamente o método de Spencer com superfície esférica, que apresenta o maior FS do gráfico. No entanto, ao se aumentar o espaçamento para 1,2 m, verifica-se uma queda significativa do FS em todas as metodologias e geometrias de ruptura, confirmando que o espaçamento mais amplo compromete a estabilidade da estrutura.



A diferença entre as superfícies esférica e elipsoidal, ainda que sutil, também reforça a importância da escolha do formato da superfície de ruptura na modelagem. Esses dados evidenciam a necessidade de otimização do espaçamento dos grampos e da seleção criteriosa dos parâmetros de análise em projetos de solo grampeado.

4.2 Análise dos deslocamentos pelo método dos elementos finitos

Com o objetivo de complementar a avaliação da estabilidade global do talude, foram realizadas simulações tridimensionais no software RS3, utilizando o método de redução da resistência ao cisalhamento (Strength Reduction Method – SSR). As análises permitiram obter os fatores de segurança (Strength Reduction Factor – SRF) e os deslocamentos horizontais máximos correspondentes, considerando diferentes configurações de malhas (quadrada e escalonada) e espaçamentos (0,8 m, 1,0 m e 1,2 m). Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Os resultados indicam que os modelos com reforço apresentaram SRF significativamente superiores ao talude instável (SRF = 1,00), confirmando a efetividade do sistema de grampos na estabilização do maciço. A malha escalonada obteve os maiores valores de SRF em todos os casos, destacando-se o espaçamento de 0,8 m com SRF = 2,35.

Tabela 5. Resultados de SRF e deslocamentos máximos no RS3 para malhas quadrada e escalonada com diferentes espaçamentos

Parâmetro avaliado	Talude instável	Malha Quadrada			Malha Escalonada		
		Espaçamento ($S_v = S_h$)			Espaçamento ($S_v = S_h$)		
		0,8 m	1,0 m	1,2 m	0,8 m	1,0 m	1,2 m
Strength Reduction Factor (SRF)	1,00	2,23	2,26	2,16	2,35	2,31	2,18
Deslocamento máx. (mm) para SRF=1,5	96	7	23	25	13	19	21

Importante destacar que os deslocamentos apresentados para SRF = 1,5 referem-se a uma condição com redução artificial dos parâmetros resistentes do solo, utilizada apenas como referência comparativa. Esses deslocamentos não representam deformações reais do maciço em condições de serviço, devendo ser interpretados exclusivamente para fins de análise relativa entre diferentes configurações de reforço.

Estudos têm demonstrado que, em determinadas geometrias complexas, análises tridimensionais fornecem estimativas mais representativas dos mecanismos de ruptura e dos fatores de segurança (LAZARTE et al., 2015). A modelagem 3D adotada neste trabalho permitiu capturar os efeitos espaciais do arranjo dos grampos e das diferentes malhas analisadas, oferecendo maior fidelidade na representação da resposta do sistema. As análises comparativas entre as malhas quadradas e escalonadas mostraram que tanto a geometria dos grampos quanto o espaçamento interferem significativamente na estabilidade global do maciço, com implicações diretas no dimensionamento e na segurança da estrutura de contenção. Observou-se, ainda, que superfícies de ruptura indefinidas tendem a resultar em fatores de segurança inferiores aos obtidos com superfícies esféricas ou elipsoidais, evidenciando a complexidade dos mecanismos de ruptura considerados (DUNCAN & WRIGHT, 2005). Dessa forma, constata-se que a utilização integrada de ferramentas computacionais avançadas e métodos numéricos rigorosos é essencial para o adequado dimensionamento de estruturas em solo grampeado, principalmente em áreas urbanas de risco, onde predominam taludes de geometria complexa e elevada responsabilidade técnica (SPRINGER, 2006).

Quanto aos deslocamentos horizontais máximos (para SRF = 1,5), a malha quadrada apresentou menores valores, especialmente no espaçamento de 0,8 m (7 mm), indicando maior rigidez. Por outro lado, a malha escalonada exibiu deslocamentos ligeiramente superiores (13 a 21 mm), mas com melhor desempenho global em termos de estabilidade.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise comparativa da estabilidade de taludes inclinados (1H:3V) reforçados com solo grampeado, considerando diferentes configurações de malhas (escalonada e quadrada), espaçamentos entre grampos (0,8 m, 1,0 m e 1,2 m) e geometrias de superfícies de ruptura, por meio de modelagem tridimensional com os métodos de equilíbrio limite (Slide3) e elementos finitos (RS3).

As análises no Slide3 mostraram que a malha escalonada obteve os maiores fatores de segurança (FS), com valores variando entre 1,62 e 1,92, especialmente no espaçamento de 1,0 m. Já os modelos tridimensionais no RS3 revelaram que, embora a malha escalonada tenha proporcionado os maiores valores de SRF (até 2,35), os menores deslocamentos horizontais foram registrados na malha quadrada com espaçamento de 0,8 m (7 mm). A ampliação do espaçamento entre os grampos reduziu a estabilidade global e aumentou os deslocamentos, com maior impacto observado entre 0,8 m e 1,0 m.

Conclui-se que a malha escalonada oferece desempenho superior em termos de estabilidade global, enquanto a malha quadrada se destaca no controle das deformações. A escolha da geometria de reforço deve ser baseada em critérios técnicos que considerem simultaneamente segurança, deformabilidade e particularidades geotécnicas do projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Universidade Federal de Uberlândia pela aquisição da licença de uso do software SLIDE 3 e RS3, da Rocscience, utilizado na realização deste artigo e da pesquisa que o originou. Agradece-se também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16920-2. *Muros e Taludes em solos reforçados - Parte 2: Solos Grampeados*. Rio de Janeiro.
- Derghoum, R., Meksaouine, M. (2021). *Numerical study for optimal design of soil nailed embankment slopes*. International Journal of Geo-Engineering, 12(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40703-021-00144-5>.
- Duncan, J. M., Wright, S. G. (2005) *Soil Strength and Slope Stability*, 1st ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 312 p.
- Federal Highway Administration (2015). FHWA-NHI-14-007 – *Geotechnical Engineering Circular No. 7 – Soil Nail Walls – Reference Manual*. Federal Highway Administration.
- Finn, W. D. L. (1966). *Earthquake Stability of Cohesive Slopes*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 92(1), p.1–11. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000821>
- França, F. A. N. (2007). *Ensaio de arrancamento em solo grampeado em laboratório*. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 160 p.
- Kang, Y., Yang, M., H. Y. (2006). *Análise híbrida da estabilidade de taludes usando o método de equilíbrio limite e o método dos elementos finitos*. China Mining.
- Lazarte, C. A., Robinson, H., Gomez, J.E., Baxter, A., Cadden, A., Berg, R.R., Shelsta, H. (2015). *Geotechnical Engineering Circular No. 7: Soil Nail Walls – Reference Manual*. Report No. FHWA-NHI-14-007. National Highway Institute. Disponível em: <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/40556>. Acesso em: 07 jul. 2025.
- Ortigão, J. A. R. (1997). *Solo, ensaios de arrancamento para projetos de grampeado*. ABMS.
- Ortigão, J. A. R., Sayao, A.S. (2004). *Handbook of Slope Stabilisation*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg GmbH, 460 p.
- Springer, F. O. (2006). *Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss*. Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro, 122 p.