

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/225

Interação solo-clima de uma estrutura vertical em solo grampeado: Análise envolvendo um evento de precipitação extrema.

Luiz Felipe Goulart Fiscina
Eng. Geotécnico, Doutorando, POLI-USP, São Paulo, Brasil, luizfiscina@usp.br

Alexsander Silva Mucheti
Eng. Geotécnico, ZF & Engenheiros Associados, UNICAMP, São Paulo, Brasil, alexmucheti@gmail.com

Paulo José Rocha de Albuquerque
Professor da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, pjra@unicamp.br

Marcos Massao Futai
Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, futai@usp.br

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar computacionalmente o efeito de precipitações na estabilidade de uma contenção em solo grampeado em termos de fator de segurança (FoS). A contenção em análise possui altura de aproximadamente 24 m e localiza-se no município de São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil. Foram executados ensaios do tipo SPT e ensaios laboratoriais de caracterização e resistência ao cisalhamento a partir de amostras indeformadas. Para realização da simulação computacional, foi utilizado o software Geostudio, módulos Slope/W e Seep/W. O balanço hídrico inicial do maciço foi alcançado a partir da simulação de uma chuva anual antecedente igual a média climatológica registrada na região por meio de um produto orbital via satélite (CHIRPS). Observou-se a partir das simulações que as poropressões negativas reduziram cerca de 75% ao final do evento de precipitação extrema, o que resultou em uma redução da sucção matricial do sistema e, conseqüentemente, uma redução do fator de segurança em cerca de 8% no final do evento.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-Grampeado, Precipitação, Fator de Segurança, Geostudio.

ABSTRACT: The present work aims to evaluate computationally the effect of rainfall on the stability of a soil nailing in terms of Factor of Safety (FoS). The soil nailing under analysis has a height of approximately 24 meters and is located in the city of São Bernado do Campo, São Paulo, Brazil. Both, SPT and laboratory tests (full characterization and shear tests) were performed to investigate the subsoil. Also, the laboratory tests were conducted from undisturbed samples. The software Geostudio, particularly Slope/W and Seep/W modules, were used to perform the simulations. The initial water balance of the subsoil was achieved from the simulation of an annual rainfall precipitation equal to the climatological average recorded in the region through an orbital product via satellite (CHIRPS). It was observed from the simulations that the negative porewater pressures reduced about 75% at the end of the extreme precipitation event, leading to a reduction of the matric suction of the soil, and, consequently, a reduction of the FoS by about 8%.

KEYWORDS: Soil-Nailing, Rainfall, Factor of Safety, Geostudio.

1 INTRODUÇÃO

A técnica de solo grampeado passou a se desenvolver mundialmente a partir da década de 1970, dispondo de manuais técnicos dirigidos tanto para a sua execução como para o seu dimensionamento (Mucheti e Albuquerque, 2022). No Brasil, obras de solo grampeado têm sido frequentes devido à adequação dos solos residuais a esse tipo de estrutura (Springer, 2006; Corte, 2017), tendo seu início também em meados da década de 1970 (Querelli, Souza e Cepeda, 2021). Desde então, a técnica continua em pleno desenvolvimento e aperfeiçoamento com diversas pesquisas sobre o seu comportamento, especialmente diante a complexidade do cenário geotécnico brasileiro (Mucheti e Albuquerque, 2022; Souza, Brendolan e Moura, 2023). Complementarmente, o recente lançamento da NBR 16920-2/2021, que padroniza os processos de execução e cálculo desse tipo de estrutura, foi um marco na engenharia geotécnica brasileira.

No Clouterre (1991) solo grampeado é definido como um método utilizado para reforço de solo “in situ” através da inclusão de elementos passivos, denominados grampos, resistentes às tensões de tração, esforços cortantes e/ou flexão composta. A principal função dos grampos é minorar os deslocamentos do maciço terroso pelo acréscimo de forças internas contrárias ao sistema natural de acomodação de massa, isto é, os deslocamentos são restringidos e transferidos de uma zona instável para uma zona resistente dentro do próprio maciço. Adicionalmente, para o revestimento da face, utiliza-se paramento em concreto projetado, armado com tela, fibras ou malha de aço. Por último, para evitar problemas associados à elevação do nível de água ou ainda uma elevação da pressão hidrostática no paramento durante eventos de precipitação, lança-se mão de sistemas de drenagem na interface paramento-solo (geocomposto drenante e barbacãs), drenagem superficial (canaletas de pé e de crista de talude) e/ou a utilização de drenagem em profundidade por meio de drenos horizontais profundos (DHP’s).

No Brasil, diversas estruturas em solo grampeado foram executadas em solo residual (Springer, 2006; Corte, 2017; Mucheti e Albuquerque, 2022; Souza, Brendolan e Moura, 2023) que, usualmente, é encontrado vários metros acima do nível freático, podendo estar em um estado não-saturado. Neste estado, o solo é composto por quatro fases (solo, água, ar e película contrátil) e a pressão hidrostática é negativa em relação à pressão atmosférica (Fredlund and Rahardjo, 1993). Conforme esses autores, a poropressão negativa (sucção), contribui com a estabilidade do maciço pois eleva a resistência ao cisalhamento do solo não-saturado. No entanto, a sucção é altamente influenciada pelas condições de fluxo interno e na interação do maciço com a atmosfera. Dessa forma, a medida que a água se infiltra no solo, a sucção matricial diminui, podendo até ser anulada.

Estudos sobre a dinâmica desse processo e a influência na estabilidade de taludes já são amplamente conhecidos e divulgados no meio técnico (Rahardjo, Satyanaga e Leong, 2012). Todavia, são poucos os estudos encontrados na literatura que tratam da interação solo-clima envolvendo alguma estrutura de contenção associada. Entre eles, estão os estudos de Cheuk, Ng e Sun (2005) e Albino, Portelinha e Futai (2020), que tratam dessa interação em estruturas de solo grampeado e muro de solo reforçado com geotêxteis, respectivamente. Aliado a isso, muitas obras são dimensionadas com parâmetros de resistência do solo saturado, visto que nenhuma das normas vigentes sobre o tema preconizam sobre a resistência não-saturada do solo e como levá-la em consideração no dimensionamento de taludes e estruturas de contenções. Essa premissa pode levar, por exemplo, a um dimensionamento conservador da estrutura de contenção ou do ângulo de corte de um talude, visto que pacotes de solo não-saturado podem apresentar resistência adicional devido a sucção matricial. Por outro lado, são necessárias informações específicas para o correto dimensionamento dessas estruturas levando em consideração o comportamento não-saturado do maciço (como por exemplo a obtenção da curva de retenção do solo, parâmetros hidráulicos do solo saturado e não saturado, análise de fluxo, etc) e sua interação com o clima externo (como por exemplo o levantamento das variáveis climáticas de superfície como precipitação e evapotranspiração, que influenciam no balanço hídrico do solo).

Logo, o presente trabalho tem como principal objetivo avaliar computacionalmente o efeito de precipitações na estabilidade de uma contenção em solo grampeado em termos de fator de segurança (FoS).

2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

A região em estudo está localizada no centro da cidade de São Bernardo do Campo, no estado de São Paulo (**Lat:** -23.720252°; **Long:** -46.541443°). De acordo com a investigação geotécnica preliminar baseada em 10 ensaios do tipo SPT, foi possível observar espessas camadas de solo residual (até 30,0 metros), classificado tátil-visualmente como silto-arenoso, com NSPTs médios variando de 10 a 50 golpes. Levando-se em consideração as sondagens representativas da contenção em estudo (SPT-09 e SPT-10), foi possível verificar que o nível de água estava a aproximadamente 6,0 metros acima da implantação do último subsolo e a 18,0 m da cota superior a montante da contenção. Observa-se na Figura 1 as faces de escavação estabilizadas com solo grampeado para a implantação do empreendimento (com destaque para a face objeto desse estudo). Nesse trecho, a contenção é composta por uma malha de grampos com espaçamento vertical e horizontal de 1,0 metro (total de 24 linhas de grampos na seção crítica) e uma malha de DHP’s com espaçamento vertical e horizontal de 3,0 e 2,0 metros, respectivamente. Drenos de paramento do tipo barbacã e geocomposto drenante também foram executados em toda a extensão do solo grampeado. Finalmente, o paramento foi executado em concreto projetado com espessura de 10,0 cm. Mais detalhes sobre a contenção em solo-grampeado pode ser obtida em Corte (2017).



Figura 1. Faces de escavação estabilizadas com solo grampeado (Corte, 2017).

Durante a fase de execução do solo grampeado, seis amostras indeformadas foram retiradas, das camadas de maior representatividade, ao longo do corpo do talude à medida que a escavação avançava. A partir deles foi possível realizar ensaios de laboratório do tipo caracterização geral (indicando um solo ora areno-siltoso ora silto-arenoso) e resistência ao cisalhamento direto (ECD) na umidade natural. Os resultados desses ensaios serviram para retro analisar a estabilidade do talude e verificar se os parâmetros iniciais estimados com correlações clássicas a partir de ensaios SPT estavam a favor da segurança. Adicionalmente, foram feitos ensaios de arrancamento para avaliação do valor de q_s utilizado na etapa de projeto. Mais detalhes sobre a metodologia aplicada para a execução dos ensaios assim como seus resultados podem ser vistos em Corte (2017).

Em relação à climatologia do local em estudo (série de dados maior que 30 anos), no que tange a índices pluviométricos, foi levantado o histórico anual a partir do produto orbital CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data), cuja resolução espacial é de $0,05^\circ$, ou aproximadamente 5 km. Para isso, foi utilizado o posicionamento geodésico citado no início desse capítulo. A plataforma Climate Engine foi utilizada para extrair os dados pluviométricos do CHIRPS. Para mais detalhes sobre o aplicativo ver Huntington et al. (2017). A Figura 2 a seguir ilustra o histórico pluviométrico anual (com a média anual histórica) no período entre 01/01/1981 e 31/12/2023.

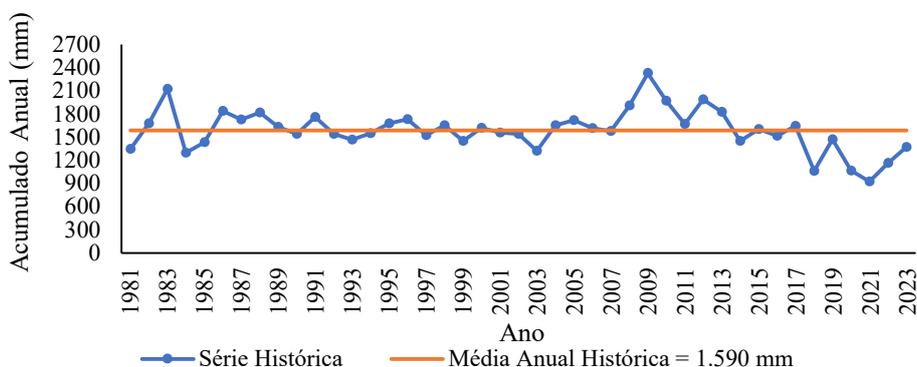


Figura 2. Histórico Pluviométrico Anual (1981-2023) → Lat: -23.720252° ; Long: -46.541443° .

Levando-se em consideração o estudo de Valverde e Cardoso (2012) que, tendo como base o período de 1972 a 2012, encontraram um padrão de chuva em São Bernardo do Campo em média igual a 1604 mm, pode-se notar que os dados de pluviometria levantados pelo CHIRPS são consistentes com o observado na região. Adicionalmente, para este município, Molina et al. (2015) observaram que os limiares de 50 mm em 1

dia, 80 mm em 2 dias, 120 mm em 3 dias e 150 mm em 4 dias são críticos para a deflagração de movimentos de massa.

3 PARÂMETROS HIDRO-GEOTÉCNICOS CONSIDERADOS PARA A SEÇÃO CRÍTICA

A partir dos ensaios do tipo SPT, dos ensaios laboratoriais e da inspeção tátil visual em campo foi possível estabelecer duas camadas representativas de solo, sendo a primeira com 9 metros de espessura e a segunda com 15,17 m. Vale ressaltar que os parâmetros geotécnicos considerados para o solo abaixo da escavação foram os mesmos do solo da segunda camada. Em resumo, a tabela a seguir ilustra os parâmetros geotécnicos médios utilizados para as simulações de fluxo e de equilíbrio limite executadas com auxílio do software Geostudio 2023, módulos Seep/W e Slope/W, respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros Geotécnicos Médios

Parâmetro	1º Camada	2º Camada	Tipo	Ensaio/Correlação/Referência
w (%)	16,5	13,4	Teor de umidade	Caracterização Geral
γ_w (kN/m ³)	9,8	9,8	Peso Específico da Água	Caracterização Geral
γ_{nat} (kN/m ³)	18,0	20	Peso Específico Natural	Caracterização Geral
γ_s (kN/m ³)	27,5	29,6	Peso Específico dos Sólidos	Caracterização Geral
G _s	2,81	3,02	Peso Específico Relativo dos Sólidos	γ_s / γ_w
γ_d (kN/m ³)	15,5	17,2	Peso Específico Seco	$\gamma_d = \gamma_w * G_s * (1-n)$
γ_{sat} (kN/m ³)	19,7	21,3	Peso Específico Saturado	$\gamma_{sat} = \gamma_w * (G_s + e) / (1 + e)$
n (%)	43,8	42	Porosidade	$n = e / (1 + e)$
e	0,78	0,72	Índice de Vazios	$e = n / (1 - n)$
S (%)	59,4	68,8	Grau de Saturação	$S = (G_s * w) / e$
w _{sat} (%)	28,7	26,6	Teor de Umidade Saturado	$w = S * e / \gamma_s$
k (cm/s)	4,60E-06	3,95E-06	Coefficiente de Permeabilidade	Chapuis (2012)
θ_{sat} (%)	44	42	Teor de Umidade Volumétrico Saturado	$\theta_{sat} = n$
θ_{res} (%)	4,4	4,2	Teor de Umidade Volumétrico Residual	$\sim 10\% \theta_{sat}$ (Carsel e Parish, 1988)
D ₆₀ (mm)	0,100	0,080	Diâmetro onde passa 60% em massa	Caracterização Geral
D ₁₀ (mm)	0,008	0,005	Diâmetro onde passa 10% em massa	Caracterização Geral
LL (%)	~50	~50	Limite de Liquidez	Futai, Cecílio e Abramento (2012)
c' (kPa)	16	40	Coesão Efetiva (Amostra Saturada)	Tabela da GeoFast – Corte (2017)
Φ' (°)	30	36	Ângulo de Atrito Efetivo (Amostra Saturada)	Tabela da GeoFast – Corte (2017)
c _{unsat} (kPa)	50,0	47	Coesão Efetiva (Amostra Não Saturada)	Cisalhamento Direto Umidade Natural
Φ_{unsat} (°)	34,0	36	Ângulo de Atrito Efetivo (Amostra Não Saturada)	Cisalhamento Direto Umidade Natural
q _s (kPa)	75	75	Resistência ao Arrancamento Interface Solo-Grampo	Corte (2017)

As curvas de retenção de água foram estimadas pelo método proposto em Aubertin et al. (2003) e as curvas de condutividade hidráulica foram ajustadas pelo método proposto por Van Genuchten (1980) para ambas camadas. Adicionalmente, para as análises de estabilidade global levando em consideração a interação entre o solo e o evento de precipitação, o acréscimo de resistência ao cisalhamento devido à sucção matricial foi calculado conforme equação proposta por Vanapalli et. al. (1996) que utiliza os parâmetros c' e Φ' em conjunto com a curva de retenção volumétrica de água. Adicionalmente, para verificar se a calibração do

balanço hídrico do meio não-saturado foi consistente, foi executada um análise de estabilidade adicional considerando que a resistência ao cisalhamento é função apenas dos parâmetros c_{unsat} e Φ_{unsat} (equação clássica de Mohr-Coulomb). Vale ressaltar que tais parâmetros possuem resistência ao cisalhamento adicional por estarem na umidade natural (grau de saturação de aproximadamente 59% e 69% para a primeira e segunda camada, respectivamente), isto é, existe algum acréscimo de resistência ao cisalhamento devido a sucção natural presente no material.

3 MODELAGEM DE FLUXO DE ÁGUA E EQUILÍBRIO LIMITE

Com o objetivo de avaliar o efeito de eventos de precipitação na estrutura de solo grampeado, foi levado em consideração um evento extremo com 4 dias consecutivos de chuva, totalizando 150 mm ao final do mesmo (Molina et al., 2015). Uma primeira calibração do nível de água foi feita considerando um estado constante de fluxo após a escavação do terreno. As condições de contorno (CC's) utilizadas foram **(a)** uma carga de água total à jusante de 28,2m (cota da escavação), **(b)** uma carga de água total à montante de 34,3m (6,0m acima da cota de escavação) e **(c)** uma condição de drenagem/afloramento para simular a drenagem de paramento, de fundo de vala e dos DHP's. Vale destacar que esta última condição considera o fluxo normal a esse segmento igual a zero, isto é, o modelo transforma essa face em uma linha de fluxo. Portanto, o fluxo só pode fluir perpendicularmente à direção da face.

Para calibração da umidade natural e, conseqüentemente, das poropressões negativas do terreno, foi simulada uma precipitação anual constante igual a média histórica da região em estudo (obtida pelo produto orbital CHIRPS), dividido por 365 dias ($q_{diário} = 1.590\text{mm}/365\text{dias} = 4,365\text{mm}/\text{dia}$). Tal simulação foi conduzida em 365 etapas, com as mesmas condições de contorno citadas anteriormente, porém em estado transiente de fluxo. Adicionalmente, foi verificada a possibilidade de surgência na condição de contorno de precipitação, isto é, toda água que não infiltrar, escoar superficialmente, evitando a infiltração forçada de águas pluviais no terreno. Por último, uma chuva crítica de 150 mm foi aplicada no modelo em 4 etapas, isto é, 50mm no primeiro dia, 30 mm no segundo dia, 30mm no terceiro dia e 30mm no quarto dia, considerando as mesmas condições de contorno do modelo de calibração natural, com exceção da carga de água total à montante. Essa CC foi removida para garantir a flutuação do nível de água nessa região durante a aplicação da chuva crítica. A Figura 3 apresenta as poropressões estimadas no local após o evento de chuva crítico enquanto o gráfico da Figura 4 apresenta a variação das poropressões negativas durante todo o processo descrito acima (considerando o alinhamento a 21m da face do paramento).

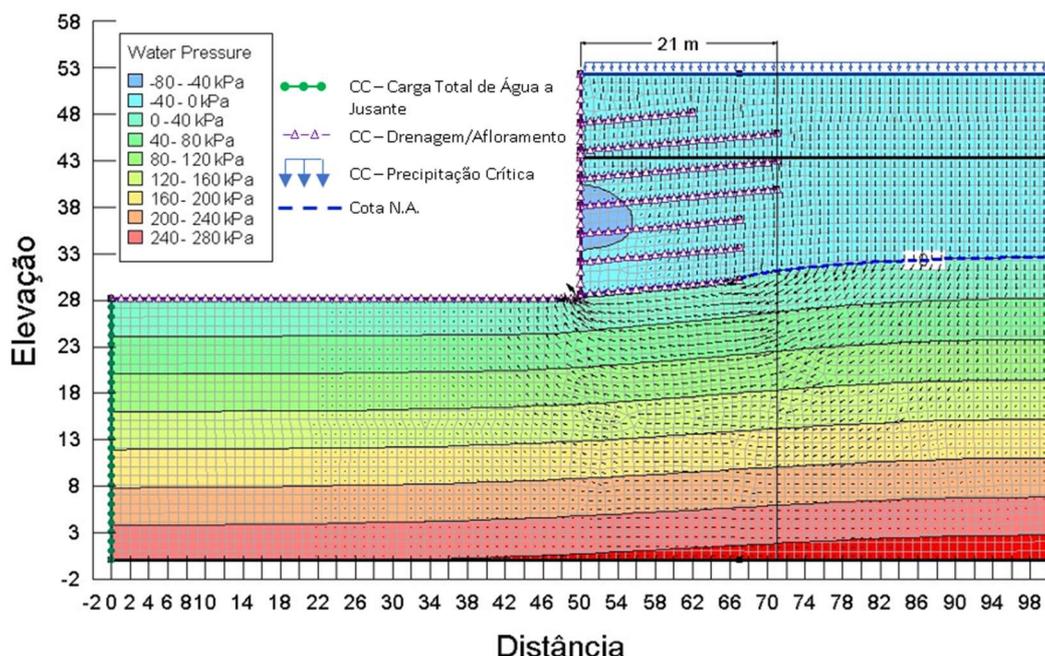


Figura 3. Poropressões após o evento de chuva crítico

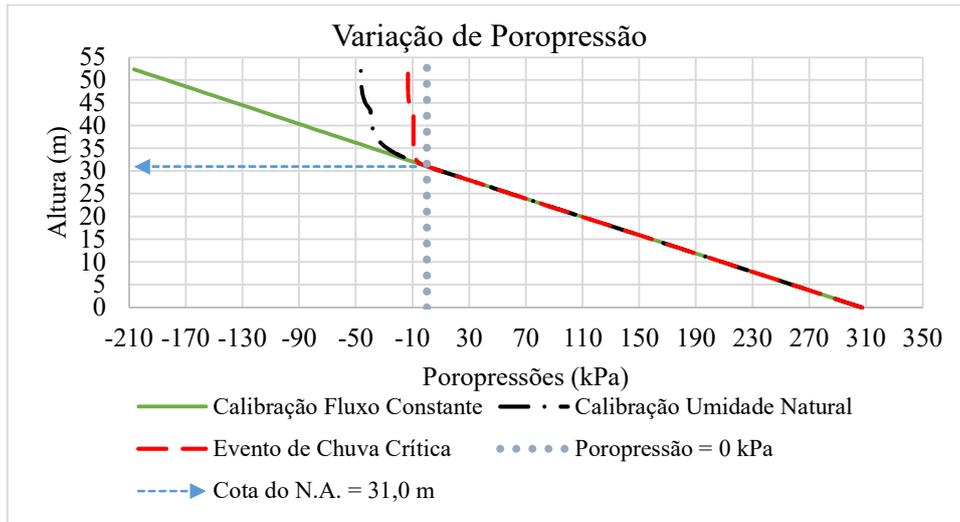


Figura 4. Variação das poropressões negativas durante a calibração da umidade natural do terreno e ao final do evento crítico (seção a 21 m da face da contenção).

É possível verificar que o terreno, em seu estado natural, possui poropressões negativas em média igual a -40 kPa. Após o evento de chuva crítica esse valor decresce em módulo para -10 kPa, aproximadamente. Complementarmente, é possível observar que o nível de água nessa seção permaneceu praticamente constante (cota do N.A. = 31,0 m). Para avaliar a flutuação do fator de segurança mediante a essa redução de poropressão negativa, foi executada uma análise de equilíbrio limite pelo método de Morgenstern e Price. Vale ressaltar que uma sobrecarga adicional de 20 kPa foi considerada no topo da contenção. A Figura 5 a seguir ilustra o FoS ao final do ajuste de umidade (terreno em seu estado natural) enquanto o gráfico da Figura 6 ilustra o decréscimo do FoS durante o evento crítico.

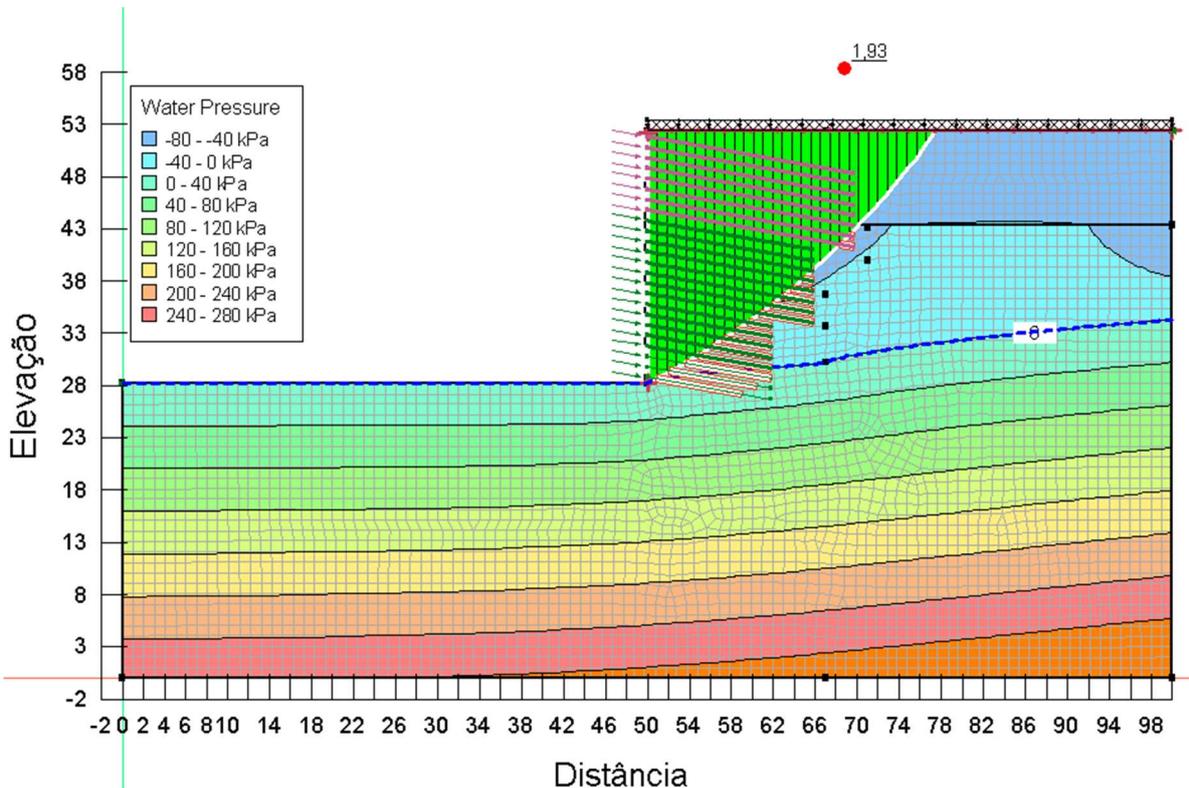


Figura 5. FoS ao final do ajuste de umidade.

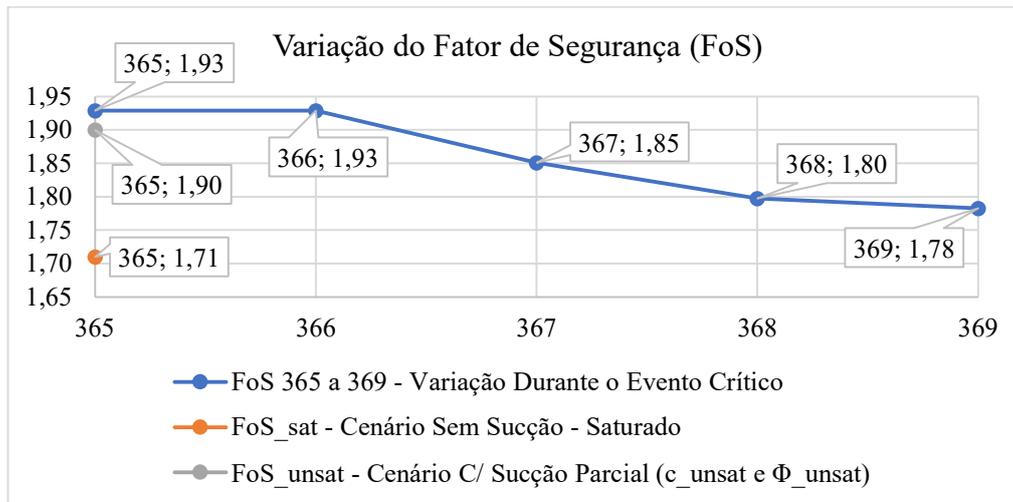


Figura 6. Decréscimo do FoS durante o evento crítico.

É possível observar na Figura 6 um acréscimo de aproximadamente 13% no fator de segurança entre o cenário sem o efeito da sucção matricial (levando-se em conta que o solo acima do NA está plenamente saturado) e o cenário considerando o acréscimo de resistência devido a esse efeito ($FoS_{sat}=1,71 \rightarrow Fos_{365}=1,93$). Dessa forma, confirma-se o ganho de resistência do maciço com o aumento da sucção matricial na região não-saturada. Vale ressaltar que, na análise de estabilidade saturada, os parâmetros de resistência utilizados foram estimados com base em correlações com o ensaio SPT, quando o ideal seria a solicitação de ensaios de resistência ao cisalhamento em amostras saturadas. Complementarmente, é possível notar uma redução do fator de segurança de aproximadamente 8% ($FoS_{365}=1,93 \rightarrow Fos_{369}=1,78$) após o evento crítico de precipitação. Tal redução já era esperada visto que houve uma redução em módulo nas poropressões negativas do pacote de solo não-saturado como já descrito anteriormente ($-40 \text{ kPa} \rightarrow -10 \text{ kPa}$). No entanto, mesmo com essa redução, o FoS após o evento de chuva crítica permaneceu maior que o mínimo estabelecido pela NBR 16920-2/2021 ($FoS \geq 1,5$). Finalmente, é possível verificar também que a calibração das poropressões negativas de campo foi bem sucedida visto que a diferença entre o FoS_{365} e o FoS_{unsat} foi de apenas 0,03.

4 CONCLUSÕES

No presente estudo avaliou-se o comportamento de uma estrutura de solo grampeado vertical de aproximadamente 24 metros de altura durante um possível evento de precipitação extrema em São Bernardo do Campo. Em resumo, foi possível concluir que:

- O produto orbital CHIRPS oferece estimativas de precipitações anuais consistentes na região e de acordo com o observado pela literatura;
- Ao se considerar o estado não-saturado do solo foi possível obter um acréscimo de 13% no fator de segurança contra a ruptura global da contenção;
- Ao final de um evento de chuva extrema, típico da região, foi possível observar uma redução de 8% no fator de segurança contra a ruptura global da contenção;
- O método utilizado para a calibração da umidade natural e, conseqüentemente, das poropressões negativas, foi consistente levando em consideração a similaridade dos valores de fator de segurança encontrados após o ajuste e o encontrado considerando os parâmetros obtidos a partir do ensaio de cisalhamento direto na umidade natural (diferença no FoS de apenas 0,03);

Ressalta-se que análises mais profundas devem ser feitas considerando o efeito da evapotranspiração e outras variáveis meteorológicas no balanço hídrico do maciço além da avaliação dos parâmetros hidrogeotécnicos considerados com os obtidos a partir de ensaios laboratoriais de fluxo e resistência tanto da camada saturada como da camada não-saturada do maciço, de forma a validar as premissas adotadas no presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16920-2. *Muros e taludes em solos reforçados – Parte 2: Solos grampeados*. Rio de Janeiro.
- Aubertin, M., Mbonimpa, M., Bussière, B., Chapuis, R. P. (2003). *A model to predict the water retention curve from basic geotechnical properties*. Canadian Geotechnical Journal, 40(6), 1104-1122.
- Albino, U. R., Portelinha, F. H. M., Futai, M. M. (2020). *Numerical simulation of a geotextile soil wall considering soil-atmosphere interaction*. Geosynthetics International, 27(4), 394-413.
- Carsel, R. F., Parrish, R. S. (1988). *Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics*. Water resources research, 24(5), 755-769.
- Chapuis, R. P. (2012). *Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: a review*. Bulletin of engineering geology and the environment, 71, 401-434.
- Cheuk, C. Y., Ng, C. W. W., Sun, H. W. (2005). *Numerical experiments of soil nails in loose fill slopes subjected to rainfall infiltration effects*. Computers and Geotechnics, 32(4), 290-303.
- Clouterre (1991). *Soil Nailing Recommendations Project National Clouterre*. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, ENPC, Paris, France, 301p.
- Corte, F. H. (2017). *Análise de contenção em solo grampeado na cidade de São Bernardo do Campo/SP*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 178 p.
- Fredlund, D. G., Rahardjo, H. (1993). *Soil mechanics for unsaturated soils*. John Wiley & Sons.
- Futai, M. M., Cecílio Jr, M. O., Abramento, M. (2012). *Resistência ao cisalhamento e deformabilidade de solos residuais da região metropolitana de São Paulo*. Twin Cities: solos das regiões metropolitanas de São Paulo e Curitiba. São Paulo: ABMS, 155-187.
- Huntington, J. L., Hegewisch, K. C., Daudert, B., Morton, C. G., Abatzoglou, J. T., McEvoy, D. J., & Erickson, T. (2017). *Climate engine: Cloud computing and visualization of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding*. Bulletin of the American Meteorological Society, 98(11), 2397-2410.
- Molina, E. A., Cardoso, A. O., & Nogueira, F. R. (2015). *Relação precipitação-deslizamento no Município de São Bernardo do Campo-SP*. Ciência e Natura, 37(1), 46-54.
- Mucheti, A. S., Albuquerque, P. J. R. D. (2022). *Influence of Execution Speed on Displacements of Soil-Nailed Structures with Vertical Face in Urban Areas*. Journal of Construction Engineering and Management, 148(7), 04022048.
- Querelli, A., Souza, T. D. J., Cepeda, A. A. (2022). *Soil nailing wall with vertical nails to displacement reduction: Brazilian Practice*. Dyna, 89(223), 61-66.
- Rahardjo, H., Satyanaga, A., Leong, E. C. (2012). *Unsaturated soil mechanics for slope stabilization*. Southeast Asian Geotechnical Journal, 43(1), 48-58.
- Souza, G. J. T., Brendolan, R., Moura, S. H. (2023). *Solo grampeado – Detalhes executivos e evolução da execução desde 2003*. Solo Grampeado no Brasil: histórico, aplicações práticas e avanços nas últimas décadas (2003-2023), ABMS, ABMS-NRSP, São Paulo, p 31-46.
- Springer, F.O. (2006). *Ensaio de Arrancamento de Grampos em Solo Residual de Gnaisse*. Tese de Doutorado, PUC-Rio, Brasil, 310 p.
- Valverde, M., & Cardoso, A. (2012). *Eventos extremos de chuva associados com a ocorrência de enchentes na região do GrandeABC Paulista*. In XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- Van Genuchten, M. T. (1980). *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Science Society of América Journal, 44(5), 892-898.
- Vanapalli, S. K., Fredlund, D. G., Pufahl, D. E., Clifton, A. W. (1996). *Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction*. Canadian Geotechnical Journal, 33(3), 379-392.