

O Uso de Microestacas Arcos como Elemento de CONTENÇÃO em Taludes de Acesso Limitado

Maria Fernanda Silva Piccolo

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, mferfox@hotmail.com

Joanna D'arc de Paiva Carvalho

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil, joannadarc1204@gmail.com

Tales Moreira de Oliveira

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil, tales@ufsj.edu.br

Nilton Andrade Chaves

Arcos Engenharia de Solo, Belo Horizonte, Brasil, nilton.chaves@gmail.com

Marcio Leão

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, marcio.leao@puc-rio.br

RESUMO: As chuvas intensas de 2020-2021 em Congonhas (MG) causaram deslizamentos de terra, afetando especialmente o talude nos fundos do Museu de Congonhas. Esse deslizamento comprometeu o piso de concreto que sustentava o chiller (trocaador de calor a ar), equipamento essencial para a climatização do museu. Devido à dificuldade de acesso e à necessidade de estabilização, foi desenvolvido um projeto com cortina de microestacas Arcos. O objetivo foi garantir a estabilidade da encosta e a integridade da estrutura. A solução geotécnica envolveu a execução de 62 microestacas perfiladas e injetadas com calda de cimento, formando uma cortina de contenção com cerca de 19,95 metros de extensão. A metodologia adotada incluiu: visitas de campo, levantamento topográfico com drone e instrumentos convencionais, sondagem SPT, coleta de amostras (deformadas e indeformadas) para ensaios laboratoriais e modelagem geotécnica. A análise da contenção no software Slide (RockScience) apontou fator de segurança adequado, validando a proposta. A técnica utilizada reduziu significativamente os riscos de movimentação do solo, assegurando a estabilidade da área e protegendo as estruturas adjacentes. Dessa forma, a obra representou uma solução eficaz e sustentável para áreas de risco, contribuindo diretamente para a segurança do patrimônio e da comunidade local.

PALAVRAS-CHAVE: estabilidade de taludes, estabilização de encostas, microestacas Arcos.

ABSTRACT: The heavy rains of 2020–2021 in Congonhas (MG), Brazil, caused landslides that particularly affected the slope behind the Congonhas Museum. This landslide compromised the concrete platform that supported the chiller (air heat exchanger), an essential piece of equipment for the museum's climate control system. Due to limited access and the need for stabilization, a project was developed using a curtain of micropiles with Arcos technology. The objective was to ensure the stability of the slope and the integrity of the structure. The geotechnical solution involved the installation of 62 profiled micropiles, injected with cement grout, forming a retaining curtain approximately 19.95 meters long. The adopted methodology included field visits, topographic surveys using drones and conventional instruments, SPT drilling, collection of both disturbed and undisturbed soil samples for laboratory testing, and geotechnical modeling. The containment analysis performed using Slide (RockScience) software indicated an adequate safety factor, validating the proposed solution. The technique significantly reduced the risks of soil movement, ensuring the stability of the area and protecting adjacent structures. Thus, the project represented an effective and sustainable solution for risk-prone areas, directly contributing to the safety of both the heritage site and the local community.

KEYWORDS: Slope stability, slope stabilization, Arcos micropiles.

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização, associada às alterações climáticas registradas nas últimas décadas, tem intensificado os riscos geotécnicos em áreas urbanas e periurbanas. Nesse contexto, o desenvolvimento de técnicas avançadas para a estabilização de encostas torna-se imperativo, uma vez que esses terrenos estão sujeitos a processos de instabilização provocados por múltiplos fatores ligados à geologia, geomorfologia dos grãos dos solos, hidrogeologia e condições geotécnicas locais e clima (AMORA et al., 2018; KARMAKARI et al., 2023).

As causas da instabilização podem ser classificadas em externas, internas ou intermediárias. Entre as externas destacam-se as sobrecargas e escavações; entre as internas, o intemperismo e o aumento da poropressão; enquanto as intermediárias relacionam-se a alterações na cobertura vegetal e no regime de águas subterrâneas. Além desses aspectos, características naturais e antrópicas, como a inclinação do terreno, o tipo de solo, o regime hídrico e a forma de ocupação da área, desempenham papel determinante nos movimentos de massa. As infiltrações também se configuram como um fator crítico, uma vez que afetam as pressões de água nos poros e reduzem a resistência ao cisalhamento do solo. (TERZAGHI 1950; AUGUSTO FILHO & FERNANDES 2018; LIU et al. 2018).

Nesse contexto, estudos recentes têm destacado o potencial do plantio de espécies nativas com sistemas radiculares profundos como medida eficaz para o aumento da estabilidade de encostas, visto que a integração entre solo e raízes contribui de forma significativa para a resistência ao cisalhamento e para a estabilidade geral dos taludes (LANN et al. 2024).

Diante desse cenário, o estudo geotécnico do solo mostra-se essencial para a concepção de obras de diferentes portes. Ensaaios como o SPT (Standard Penetration Test) e o cisalhamento direto ou triaxial, aliados a visitas de campo e levantamentos topográficos, são fundamentais para subsidiar o projeto e a execução de medidas de estabilização.

Este trabalho apresenta um estudo de caso da estabilização desenvolvida em um talude urbano com acesso severamente restrito, no entorno do Museu de Congonhas (MG), o qual, submetido a chuvas intensas em 2020–2021, sofreu ruptura, demandando a recuperação de um piso na interface com o talude. Esse piso tem como função alojar um chiller, equipamento essencial ao controle de climatização do museu. Nesse contexto, cortinas de microestacas injetadas do tipo Arcos foram projetadas para viabilizar a estabilização do talude e, conseqüentemente, possibilitar a reinstalação do chiller, que precisou ser retirado e desligado devido à elevada carga e à instabilidade observada entre o final do ano de 2020 e o início de 2021 (período chuvoso). A solução mostrou-se eficaz no controle das movimentações e na recomposição da estabilidade, sobretudo porque, pela falta de espaço, não seria possível o acesso de equipamentos convencionais (trado e perfuratrizes de porte intermediário ou maior) para execução de uma cortina tradicional. Além disso a área do talude é tombada pelo Iphan e técnicas como solo grampeado, cortina atirantadas foram descartadas. Assim o projeto foi regido por limitações do espaço disponível e níveis aceitáveis de vibração e ruído.

Diante disso, objetivou-se documentar e apresentar neste trabalho a concepção do projeto conduzido na ocasião e avaliar o desempenho da cortina de microestacas aplicada, explicitando as premissas geotécnicas, os parâmetros adotados, a lógica de dimensionamento e o impacto na estabilidade global (pré e pós-intervenção). Trata-se de uma técnica ainda pouco recorrente no contexto analisado; portanto, seu detalhamento e compartilhamento com a comunidade técnica mostram-se pertinentes até porque não se encontrou na literatura o uso da proposta apresentada neste trabalho, ou seja as microestacas Arcos são reconhecidas como elementos de reforço de fundação.

2 MICROESTACA ARCOS

A Microestaca Arcos é um produto patenteado fornecido e executado exclusivamente pela ARCOS Engenharia de Solos e caracterizado por uma estaca cravada a percussão “in loco” mediante a cravação de tubos especiais de aço com uma ponteira metálica, com o auxílio de um micro bate-estacas elétrico e posterior injeção de calda de cimento sob pressão (AMORA et al. 2018). Em vistas das limitações mencionadas as microestacas que possuem capacidade de carga considerável considerando seu pequeno diâmetro (12 a 15 cm), produzindo baixos níveis de ruídos e sujeira, sendo um sistema sustentável, uma vez que os tubos utilizados para cravação são elementos descartados por outras empresas e por tanto foi adotada nesse projeto. O tubo não é recuperado e passa a fazer parte integrante da estaca como elemento estrutural, aumentando a resistência dela, além de garantir a integridade do fuste e permitir controle da injeção da nata cimento.

Além disso, a microestaca Arcos tem uma execução rápida, o que era primordial neste projeto, tendo em vista a necessidade de voltar a dispor do chiller, garantindo o ar sem umidade no interior do museu, essencial para não ocorrência de deterioração das peças e artefatos do museu.

Para a esse projeto utilizou-se tubos de aço com diâmetro de 3" e 1,5 m de comprimento. O comprimento total da tubulação, que é o mesmo da estaca, é obtido unindo-se por meio de ponta e bolsa os diversos tubos de 1,5 m. Dentro do tubo de aço, foi colocado uma barra de aço com 16 mm de diâmetro (1Ø16,0 mm) para melhorar a capacidade estrutural tendo em vista que a união por ponta e bolsa não garantem a resistência estrutural necessária para esse tipo de aplicação que solicita a estaca com empuxos horizontais e consequente desenvolve esforços de momento fletor.

A calda de injeção tem o objetivo de conferir maior rigidez e ligação com o solo. O cimento utilizado para se alcançar os resultados previstos foi do tipo CPII-E-32. A Figura 1 apresenta um esquema do seu processo construtivo.

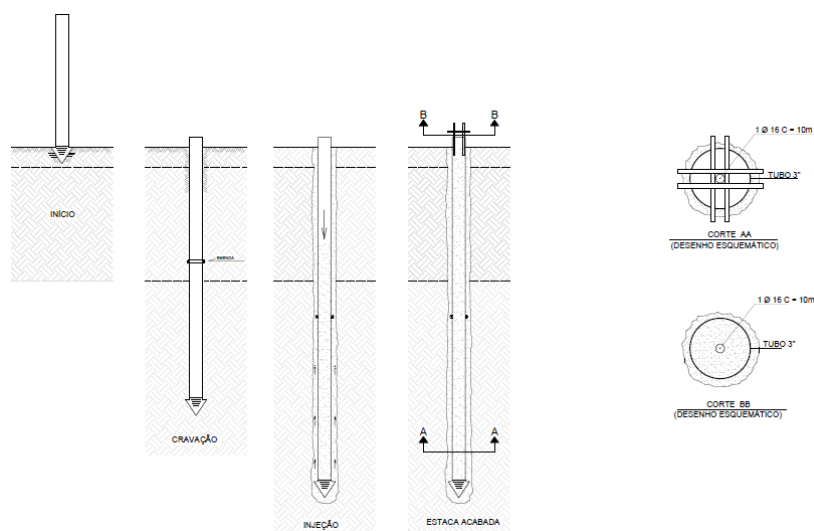


Figura 1. Detalhamento de microestacas Arcos.

3 METODOLOGIA

Foi realizada uma sondagem percussiva na Área 01 para a caracterização do solo conforme disponibilidade financeira e aceitação do cliente. A Área 01, onde se encontra o piso de concreto que suporta o chiller industrial (trocaador de calor a ar), apresentou no talude lateral rupturas superficiais tipo “cascas”, onde a movimentação de terra chegou a descalçar parte desse piso, colocando-o na condição de balanço (para a solicitação de cargas), causando trincas e comprometendo a sua estabilidade. A área de intervenção da obra onde foi realizada a cortina de contenção com microestacas, se localiza próxima a entrada do museu pela rua denominada Alameda Cidade Matozinhos de Portugal, na cidade de Congonhas MG.

Para solucionar a instabilidade geotécnica do local, desenvolveu-se um projeto executivo contendo o dimensionamento e detalhamento das soluções que visavam minimizar o arraste do solo, provocado pelas condições instáveis do terreno e pela alta suscetibilidade da área à erosão. O projeto foi realizado com base: (i) visita de campo e levantamento planialtimétrico com aplicação de drone (Aerofotogrametria) e topografia convencional (RTK e Estação Total); (ii) realização de sondagem percussiva (SPT), retirada de amostra indeformada (do talude) para execução de ensaio de cisalhamento direto em laboratório e amostra deformada para caracterização; (iii) delineamento geológico – geotécnico das informações levantadas concebendo um perfil geotécnico de projeto e (iv) concepção final. Os resultados das etapas foram disponibilizados pela empresa responsável para o desenvolvimento desse trabalho.

3.1 Levantamento topográfico e perfil do terreno

A partir do voo com drone e da geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), foi possível obter o perfil topográfico da área de estudo, conforme ilustrado na Figura 2a. Na Figura 2b, destaca-se a Área 01 (croqui),

indicada pelas setas com o numeral 1, bem como a localização dos pontos onde foram realizados os ensaios SPT.

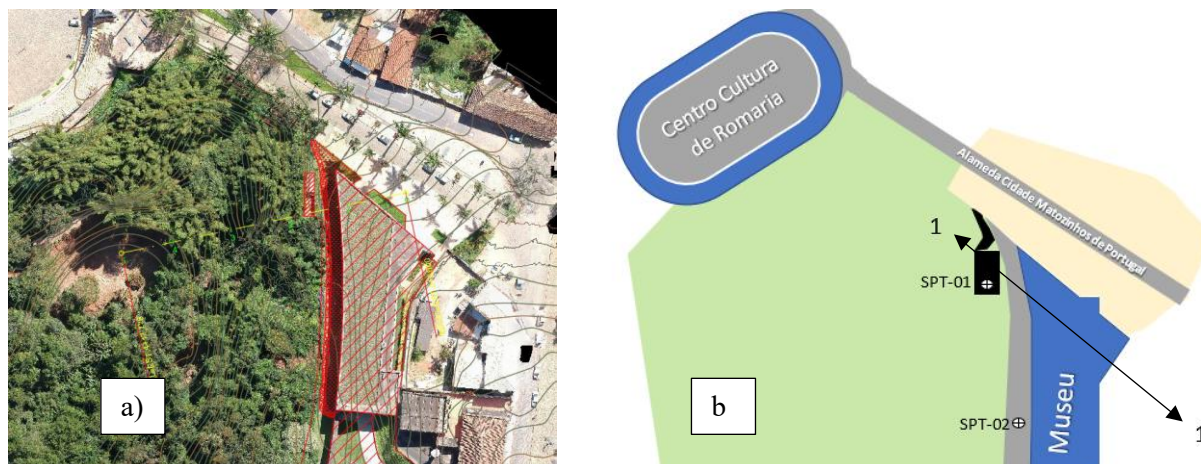


Figura 2. (a) Ortofoto com curvas de nível, traçado da linha de perfil e perfil do terreno; (b) Localização das áreas e dos ensaios de SPT.

3.2 Aquisição dos dados

Para desenvolver o projeto, foi necessário verificar inicialmente as características geotécnicas do terreno, utilizando os resultados da Sondagem Percussiva (SPT 01), resultado apresentado na Figura 3 que trata de um recorte do boletim de sondagem. A sondagem foi realizada entre os dias 16/04/2022 e 27/04/2022, visando a descrição geológica-geotécnica do perfil de solo existente, permitindo conhecer a estratigrafia e a resistência do solo.

O tratamento dos dados retirados da sondagem foi realizado para se determinar o peso específico (γ), coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') das camadas mais profundas, juntamente com os resultados dos ensaios de cisalhamento direto (camada superficial). Na primeira camada, com espessura de 5,49 m, o solo encontrado caracterizou-se como uma areia fina siltosa, com material orgânico (1,00 a 1,47 m), de coloração acinzentada, fofo a pouco compacto. Na segunda camada, com espessura 6,11 m, o solo caracterizou-se como um silte arenoso variegado, predominantemente marrom, variando entre medianamente compacto a compacto.

Conforme mencionado foi realizado ensaio de cisalhamento direto, com o objetivo de se determinar os parâmetros de resistência do solo, coesão e ângulo de atrito. Desse modo para cada camada estratigráfica foi determinado o valor de NSPT médio, o seu desvio padrão e a sua correção para obtenção do NSPT de projeto aplicando o teste t student com um intervalo de confiança de 90%. Posteriormente o NSPT médio estatístico de cada camada ajustado por probabilidade (teste t student) foi utilizado como variável de entrada nas correlações paramétrica que utilizou as propostas de Berberian (2015) e Teixeira & Godoy (1996) visando a determinação da coesão e Godoy (1983) e Teixeira (1996) referente a determinação do ângulo de atrito. Isso foi realizado levando em consideração os resultados do ensaio de cisalhamento direto, extrapolando-se as relações de resistência para as camadas mais profundas onde não se obteve amostra para desenvolvimento de ensaio de resistência. Assim foi possível obter coesão, ângulo de atrito e peso específico aparente para as camadas que formam o estrato de solo residual jovem da área de estudo.

3.3 Perfil geotécnico e análise no software Slide 5.0

O perfil geotécnico de projeto foi concebido permitindo a sua análise de estabilidade no software Slide, analisando inicialmente a condição natural da estabilidade global da encosta, os quais posteriormente foram ajustados para simular a implantação das obras de engenharia projetada (Cortina de Microestaca), avaliando-se a estabilidade final local e global e constituindo-se assim as análises externas.

Os fatores de segurança foram estabelecidos conforme os critérios apresentados na NBR ABNT 11682:2009, norma esta que estabelece os critérios mínimos para as análises local e global de estabilidade. Para o caso de obras permanentes, caso do projeto em questão, é estabelecido que devem ser atendidos os fatores de segurança mínimos a depender dos riscos envolvidos. Dessa forma levando em consideração as

diretrizes da norma, para a região objeto desse estudo, o FS (Fator de segurança) mínimo deve ser de 1,5, pois levou-se em conta o fato do museu ser local de uso público (ABNT, 2009).

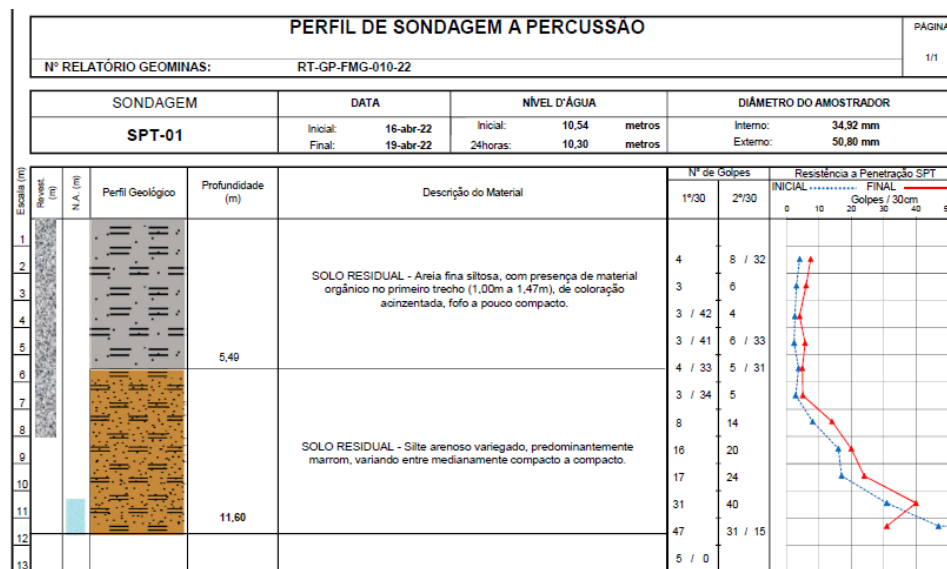


Figura 3. Perfil de sondagem SPT 01.

As análises de estabilidade foram realizadas considerando rupturas não circulares (em função da condição geotécnica formada por estruturas reliquias, devido a formação geológica originária de rochas metamórficas do local de estudo), com FS calculado pelo método de Spencer, critério de ruptura de Mohr-Coulomb.

3.4 Cortina de contenção

Mediante aplicação da metodologia até então apresentada para a estabilização da Área 1, foi executada uma cortina de contenção composta de microestacas, conforme já mencionado. A metodologia de cortina de contenção consiste em executar no terreno natural sucessivas estacas adjacentes. Tal configuração tende a aumentar a estabilidade do solo em função da estrutura disposta contra a movimentação.

A cortina de contenção possui aproximadamente 19,95 metros de comprimento em planta, composta por 62 microestacas cravadas a uma profundidade média de 10,00 metros, sendo 56 delas localizadas na porção principal da viga de coroamento (V01), e 6 ancorando por meio de vigas transversais (V02 e V03), como pode ser analisado na Figura 4.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Como explicado no item 3.2 foram realizadas correlações entre o resultado do ensaio a percussão e o resultado de cisalhamento direto, para que os parâmetros de coesão, ângulo de atrito e peso específico de cada camada do solo fossem determinados por meio das propostas de Berberian (2015) e Teixeira & Godoy (1996) visando a determinação da coesão e Godoy (1983) e Teixeira (1996) referente a determinação do ângulo de atrito e que foram utilizados na modelagem com a utilização do software Slide. Os parâmetros da primeira camada foram adotados foram ângulo de atrito de 15°, coesão de 5 kPa e peso específico aparente igual 15 kN/m³. Para segunda camada, foi determinado um ângulo de atrito de 29°, coesão de 19 kPa e peso específico de 20 kN/m³, conforme pode ser vislumbrado na Figura 6.

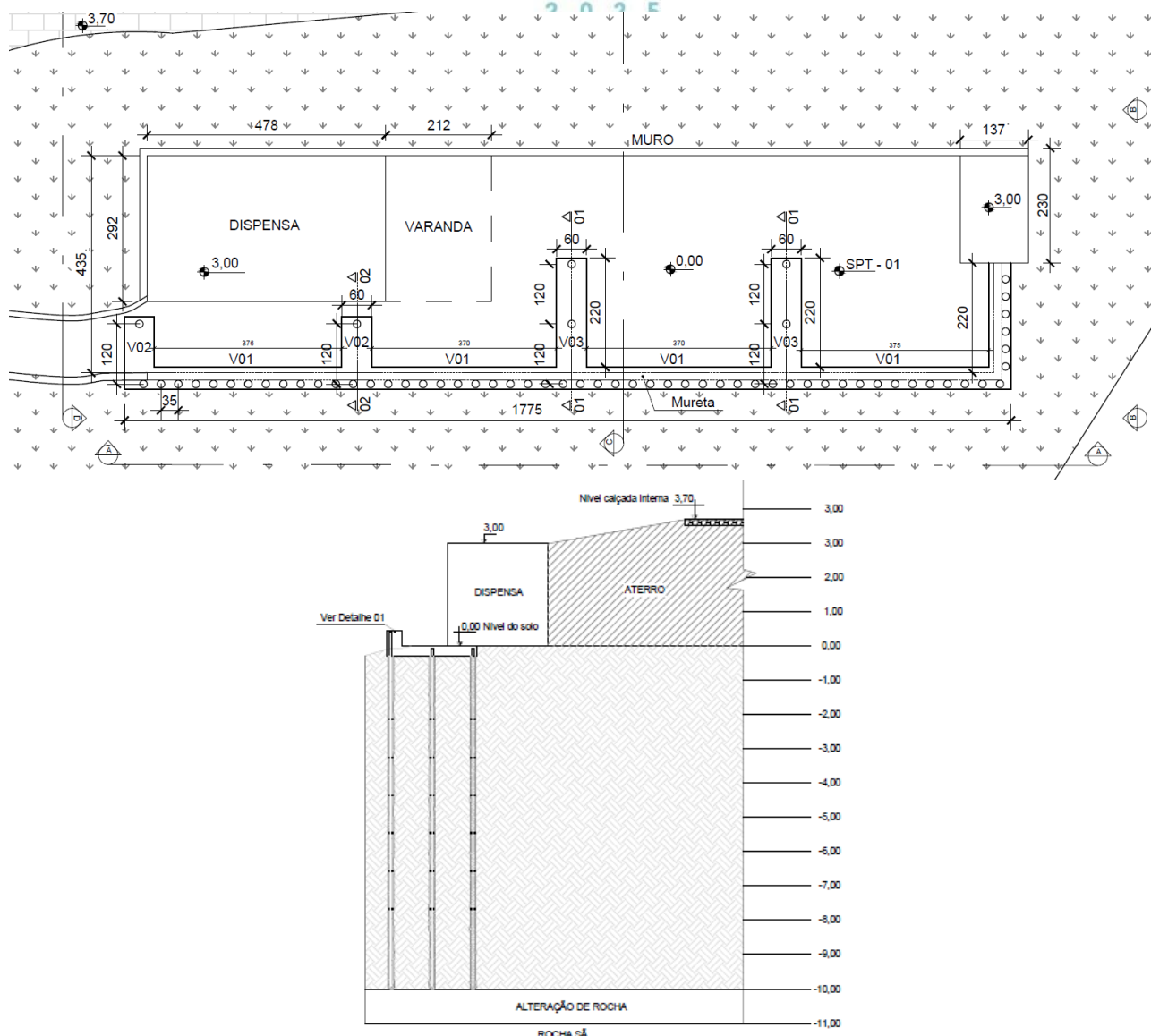


Figura 4. Cortina de contenção – em planta com a marcação das microestacas e as vigas de coroamento e corte c-c.

Na Figura 5 é apresentado a condição de estabilidade antes da disposição da estrutura de contenção e na Figura 6, a estabilização com microestaca. Na Tabela 1 são apresentados os fatores de segurança obtidos, pelos quais é possível avaliar que as condições de estabilidade propostas são plenamente satisfeitas com a introdução da infraestrutura projetada.

Tabela 1. Resumo dos fatores de segurança.

Método	Condição	FS
Spencer	Sem microestacas Arcos	1,11
Spencer	Com microestacas Arcos	1,72

Com base na Tabela 1, fica evidente, que a introdução da estrutura de microestacas foi eficaz na estabilização da encosta onde estava localizado o piso de concreto que suportava o chiller para o Museu de Congonhas. Na Figura 7, pode-se ver o muro de contenção finalizado e o chiller sobre o piso de concreto, bem como a viga 01, apoiada sobre 56 microestacas.

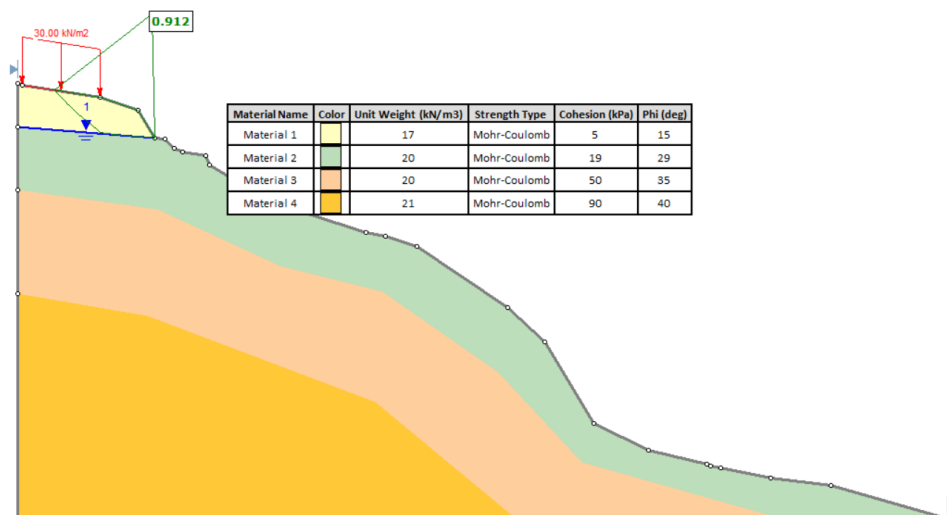


Figura 5. Perfil geotécnico modelado (condição antes da estrutura) – FS: 0,92.

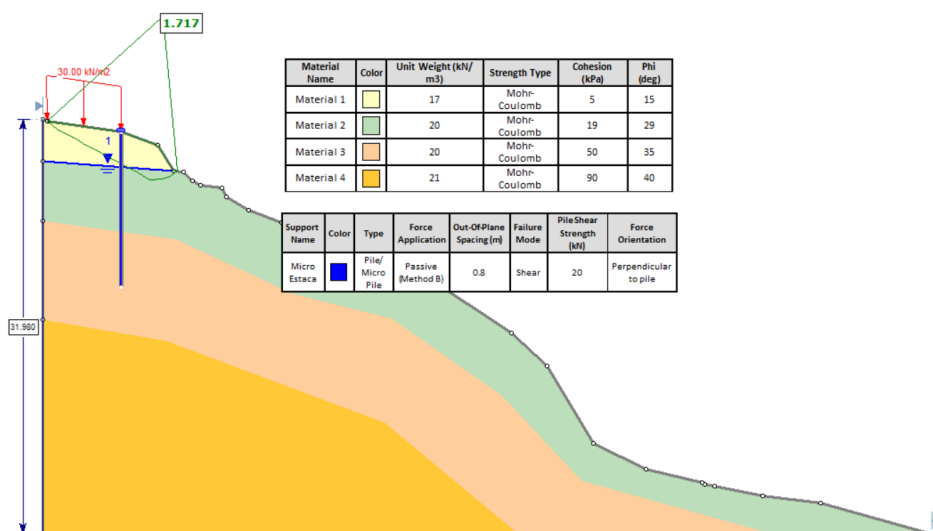


Figura 6. Perfil geotécnico com a introdução da estrutura – FS: 1,72.



Figura 7. Mosaico com Fases da Obra (a) e estrutura Finalizada (b).

5 CONCLUSÕES

A análise dos fatores de segurança antes e depois da implementação da estrutura de contenção



demonstrou a eficácia da solução proposta, com um aumento nos fatores de segurança após a instalação das microestacas. Esses resultados indicam que a intervenção foi bem-sucedida na estabilização do talude e na proteção da infraestrutura existente que se mantém estável atualmente após a construção.

O ganho de aproximadamente 87% nos fatores de segurança, e a estabilidade presente atualmente demonstra não apenas a efetividade das microestacas na encosta do Museu de Congonhas, mas também indica sua adaptabilidade a diferentes contextos geotécnicos e escalas de projetos. Essa flexibilidade evidencia a solução como viável para enfrentar desafios de estabilização em obras de infraestrutura em condições adversas. O resultado apresentado permite presumir que a aplicação das microestacas Arcos em obras com restrições de espaço, podem ser efetivas desde que se respeite a necessidade de um estudo preliminar das condições geotécnicas e geológicas para ver a adequabilidade da metodologia aplicada.

Portanto, pode-se concluir que a os resultados obtidos neste estudo confirmaram a adequabilidade da solução adotada para mitigar os problemas de instabilidade geotécnica na área afetada. A implementação da cortina de contenção com microestacas não apenas restaurou a estabilidade do local, mas também contribuiu para garantir a segurança das instalações e prevenir futuros incidentes. Essa intervenção exemplifica a importância da engenharia geotécnica na preservação e proteção de infraestruturas contra os efeitos adversos do ambiente geológico. Esses resultados destacam a Microestaca como uma solução geotécnica viável, versátil e compacta para situações similares, contribuindo para a segurança e, indiretamente, para a preservação do ambiente, pelo uso de tubos refugados de outros processos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.
- Amora, M. A. R., Sousa, W. E. (2018) *Análise de uma prova de carga estática do tipo lenta em microestacas Arcos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São João del-Rei, 67 p.
- Arcos Engenharia (2023) *Microestaca Arcos*. Disponível em: <<https://arcos.eng.br/microestaca-arcos/>>. Acesso em: 2 de dezembro de 2023.
- Augusto Filho, O., Fernandes, MA, 2018. Landslide analysis of unsaturated soil slopes based on rainfall and matric suction data. Eng. Geol. Environ. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1392-5>.
- Berberian, D.(2015). Engenharia de fundações. Brasília, DF. INFRASOLO, 2ª Ed. Vol único, 906p.
- Karmakar, S., Tiwari, PN, Basak, T., 2023. A combined influence of surface temperature and daily rainfall to the historical landslides occurred on 7th September 2007 over sub-Himalayan region, India. J. Earth Syst. Sci. 132 (2). <https://doi.org/10.1007/s12040-023-02054-9>.
- Lann, T., Bao, H., Lan, H., Zheng, H., Yan, C., Peng, J., 2024. Hydro-mechanical effects of vegetation on slope stability: A review. Sci. Total Environ. 926, 171691. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171691>.
- Liu, G., Tong, F., Zhao, Y., Tian, B., 2018. A force transfer mechanism for triggering landslides during rainfall infiltration. J. Mt. Sci. v. 15, p. 2480-2491. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5043-x>.
- Teixeira, A. H. Projeto e execução de Fundações. 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo, n. 1, p. 33-50, 1996.
- Teixeira, A. T.; Godoy, N. S. Análise, Projeto e Execução de Fundações Rasas. Fundação: Teoria e Prática. São Paulo, SP, PINI, 1996.
- Godoy, N. S. Estimativa da capacidade de carga de estacas a partir de resultados de penetrômetro estático. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 1983.
- Terzaghi, K. (1950) *Mechanics of landslides*. In: Paige, S. Application of Geology to Engineering Practice. Geological Society of America. 327 p. <https://doi.org/10.1130/Berkey.1950.83>.