

Estabilização de Encostas Através da Arte de Solo Grampeado Associado ao Sistema *StrataSlope*

Rodrigo Rogerio Cerqueira da Silva

Universidade Nove de Julho, São Paulo, Brasil, rodrigorogerio@uninove.br

Geise Aparecida Pereira

Universidade Santa Rita, São Paulo, Brasil, eng.geisepereira@gmail.com

RESUMO: O escopo do presente trabalho, é apresentar as soluções adotadas para estabilização de encostas em um Galpão industrial localizado na região de Mogi das Cruzes, município de São Paulo, através da utilização da técnica de solo grampeado e concreto projetado, associado a uma nova tecnologia chamada *StrataSlope*, sistema de contenção que utiliza elementos de face compostos por telas soldadas protegidas contra corrosão, dobradas em “L” estabilizadas com barras metálicas. Inicialmente na área industrial, os muros de divisa foram executados com muros de arrimo faceados aos taludes, desconsiderando incorporação de todos os fatores geológicos no projeto inicial, levando o rompimento da estrutura após escorregamento de uma parte do talude. Demonstrando que a retroanálise geológica-geotecnia de uma obra é fundamental para contribuição na escolha adequada da técnica e na metodologia durante a execução dos serviços.

PALAVRAS-CHAVE: estabilização de encosta, solo grampeado, concreto projetado, *StrataSlope*.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil um dos maiores problemas relacionados considerando os aspectos geológicos geotécnicos, está no distanciamento existente entre a engenharia civil e a geologia de engenharia, á esta dificuldade de comunicação entre colegas que atuam em áreas distintas, porém próximos por suas especialidades se encontrarem em um mesmo lugar “a obra” dá-se o nome de “Abismo”.

Um caso típico deste distanciamento pode ser encontrado no Município de Mogi das Cruzes, em uma área industrial cujo projeto inicial desconsiderou todos os fatores geológicos ao qual poderiam contribuir para a estabilidade do solo local, ocorrendo um escorregamento do maciço, levando a uma ruptura da estrutura realizada na divisa industrial executada através de muro de arrimo.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1 Localização do escorregamento

A área de estudo corresponde a uma encosta em processo de instabilidade localizada no município de Mogi das Cruzes, região de São Paulo.

O escorregamento localizado dentro da área industrial ocorrido na região do muro de divisa, executado em alvenaria associado a colunas, cintas de amarração e baldrame. Outra patologia encontrada *in loco*, foram localizadas no muro de contenção paralelo a rua de acesso, realizado através de alvenaria estrutural.

Para melhor visualização da apresentação da área de estudo a descrição será realizada com base na Figura 1, representada por imagem de satélite do local, que indicará a vista geral da obra e os principais aspectos das patologias, sendo o muro de divisa tratado de Caso A e o muro paralelo a rua de acesso Caso B.



Figura 1. Imagens da área de estudo por satélite indicando vista geral da obra com os escorregamentos e as patologias local.

Em relação a imagem satélite local as coordenadas médias da área são UTM: 7409487.7071N e 3767782.4193E. O Caso A, trata-se do muro de divisa do empreendimento, neste local houve um escorregamento do talude, afetando o muro de contenção realizado em alvenaria estrutural associada a cintas de amarração, colunas e baldrames. O muro possui extensão total de 65 metros, para melhor avaliação em sua extensão iremos dividir em 3 nichos para indicar os níveis de escorregamento, conforme a Figura 2 citada abaixo.



Figura 2: Vista geral do Caso A, dividido em nichos para avaliação do sistema de recomposição.

O nicho 1 possui 23 metros de comprimento com um muro de alvenaria de 4,20 metros de altura. Neste trecho a alvenaria encontra-se intacta, porém com patologias de trincas e indícios de escorregamento do talude acima do muro (Figura 3a). Constatando-se a movimentação do muro, o projeto de reforço inicial consistia em sistema de colunas e vigas em forma de cargueira para conter o escorregamento. A situação atual indicava que mesmo com o reforço o muro encontrava-se na iminência de escorregamento.

Em relação ao nicho 2 de 30 metros de comprimento, com um muro de alvenaria de

4,20 metros de altura, neste trecho ocorreu o escorregamento afetando o muro de divisa e o talude de divisa (Figura 3b e 3c). Em relação imagem satélite, o nicho 3 possui 12 metros de comprimento com um muro de alvenaria de 3,0 metros de altura, não houve escorregamentos, porém com indícios de patologias e cunha de ruptura no talude (Figura 3d).



(a) Nicho 1



(b) Nicho 2



(c) Nicho 2



(d) Nicho 3

Figura 3. (a) Nicho 1 Muro com presença de trinca, (b/c) Nicho 2 escorregamento e tombamento do muro, (d) Nicho 3 presença de trincas e fissuras com indícios de cunha de ruptura.

Em relação à Figura 1, o Caso B, trata-se do muro de divisa do empreendimento paralelo a rua de acesso, com 42 metros comprimento e 4,70 metros de altura na sua parte maior e 2 metros de altura na sua parte menor, realizado em aterro sem compactação mecanizada, não alcançando valores de grau de compactação mínimo 98% (Proctor Normal), e teor de umidade do solo com umidade ótima, com desvio máximo de $\pm 2\%$, durante a execução do muro.

Neste local foram encontradas as seguintes patologias: trincas e fissuras ao longo de toda sua extensão (Figura 4a), movimentação do muro em 40 cm na base em relação ao topo (Figura 4b), solo encontrado atrás do muro em movimentação e com formação de cunhas de ruptura em toda sua extensão (Figura 4c), sistema de drenagem realizado com canaletas, sem eficiência devido à movimentação do maciço afetando o sistema de drenagem (Figura 4d).



Figura 4: (a) indícios de tombamento e fissuras, (b) movimentação de 40 cm do muro em relação ao topo, (c) formação de trincas no aterro, (d) canaletas destruídas pela movimentação do muro permitindo entrada d' água.

2.2 Caracterização geológica

De acordo com MORAIS (1995) o corpo granítico Itapeti ou Mogi das Cruzes está situado na porção centro-leste do Estado de São Paulo, nos arredores da cidade de Mogi das Cruzes, correspondendo a um conjunto de rochas graníticas que forma uma estreita faixa ao longo das cidades de Guararema e Santa Branca, chegando a alcançar uma extensão de 60 km.

As primeiras referências da região estudadas por KNECHT (1964) caracterizaram como intrusivo e em grande parte como granito porfiróide, tarditectônico, de granulação média a grossa, protomilonítico, de composição monzogranítica e cor cinza, e um biotita granito de cor avermelhada. Esta região está inserida em rochas de médio a alto grau metamórfico pertencentes ao Complexo, em grande parte embutido na Zona de Cisalhamento de Taxaquara (Figura 5), considerado parte de sequências metassedimentares e metavulcanossedimentares associadas a complexos gnáissico-granitóides do Pré-Cambriano do Estado de São Paulo.



Figura 7:(a) Vista geral da sacaria para reconstituição do talude (b) escorregamento das sacarias após chuvas.

Em face destes dois insucessos (muro de arrimo e recomposição com sacaria) resolveu-se, finalmente tratar os escorregamentos com solo grampeado, como inicialmente havia sido sugerido ao proprietário da obra. Análise do comportamento mecânico do solo grampeado tem como base as propriedades mecânicas do solo e propriedades dos reforços, realizada a partir da idéia de que o solo atrás da face do talude esta subdividido em duas áreas: a primeira (zona ativa) entre a superfície do talude e a superfície potencial de ruptura, e a segunda (zona passiva) parte estável do maciço onde os grampos deverão ser ancorados.

Os esforços de cisalhamento presentes na superfície de ruptura são equilibrados com a introdução dos grampos com inclinações definidas em relação a horizontal, que ultrapassam a superfície de ruptura, e resistem aos esforços de cisalhamento que são solicitados na superfície de ruptura. Para garantir a segurança durante a execução, adotou-se a estabilização do talude de forma descendente, utilizando o próprio material do escorregamento para chegar às primeiras linhas de execução da perfuração adotando a metodologia através de ar comprimido, evitando a utilização de água como fluido de perfuração,

para não contribuir com a saturação do solo e deslocamentos, contribuindo para manter o solo residual com seu parâmetro geotécnico como não saturado (Figura 8 a/b).

Após a perfuração foi realizada a instalação dos chumbadores, fixados com calda de cimento com fator A/C 0,5, após um tempo mínimo de 12 horas da execução da bainha, os chumbadores foram reinjetados, anotando-se a pressão máxima de injeção e o volume de calda absorvida, demonstrando um aumento significativo na pressão de injeção para haver o rompimento da bainha e um refluxo excessivo da calda de cimento, fenômeno ocorrido indicando a eficiência e colmatação das fraturas no talude. A metodologia de injeção ocorreu através de hastes de injeção, colocadas até o final do furo, injetadas com médias pressão 5 a 8 kgf/cm² controladas através de estabilizador de pressão (Figura 8c), para promover o esqueletamento do furo. Finalizando o sistema de contenção através de drenagem com drenos dos tipos geocomposto, barbacãs e DHP'S, seguindo de estabilização do parâmetro através de concreto projetado (Figura 8d).

Conforme CAMBEFORT (1975) a pressão de injeção depende da permeabilidade do terreno, abertura das fissuras, viscosidade caudal e do número de fases que geram um gradiente de pressão. Este gradiente pode ser chamado de “gradiente de melhoria do solo”, ou seja, incrementos de capacidade do terreno reagir a pressão com o transcorrer das fases de injeção. Sendo que para os chumbadores ancorados em solo residual não saturado, o gradiente de melhoria, se obteve através de uma única fase de injeção.

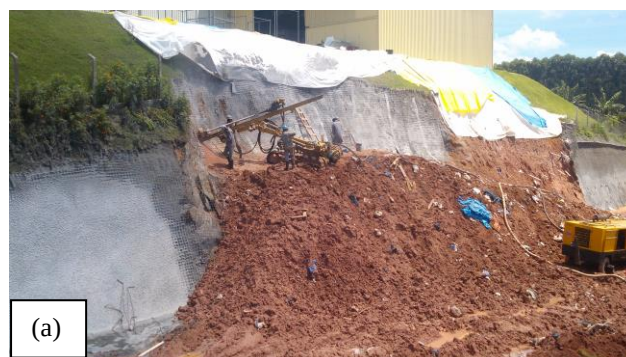




Figura 8: (a) Perfuração descendente sobre aterro, (b) Vista geral da berma com material do escorregamento, (c) controle através da pressão de injeção, (d) aplicação de concreto projetado.

Para o muro de divisa (Caso B), ao qual encontrava-se na iminência de tombamento, foi realizada a sua demolição, realizando o corte de todo aterro sem compactação localizado atrás do muro, chegando ao solo residual adequando a uma geometria de talude em (1H:1,5V) vide (Figura 9a) para realização da estabilização através do solo grampeado e concreto projetado (Figura 9b).



Figura 9: (a) Demolição muro de divisa em alvenaria (b) estabilização através de solo grampeado e projetado.

3.2 Estabilidade do Aterro

IPT (1991) conclui que as principais instabilizações observadas em aterros estão associadas a problemas no corpo de aterro, ocorrendo devido a sua má compactação ou devido a inexistência desta, ao uso de materiais inadequados.

A geometria do talude (incompatibilidade da inclinação com a resistência do material), assim como deficiência ou inexistência dos sistemas de drenagem. Os escorregamentos de bordas de aterro ocorrem atingindo geralmente a parte externa não compactada ao aterro, e envolvendo pequeno volume de material, porém resultando em cicatriz com talude subvertical. Após este escorregamento, que normalmente é ignorado por sua pequena expressão, o aterro torna-se instável e inicia-se o processo remontante de trincas, que irá gerar futuras ocorrências de maiores proporções. Para que tal evento de instabilização fosse solucionado na crista do muro de divisa (Caso A), conforme citado no item (3.1) a reconstrução do aterro com material de boa qualidade, bem compactado e a implantação de sistema de drenagem eficiente se fez necessária. Assim adotou-se um novo

sistema de construção de aterro chamado *StrataSlope*, sistema de contenção que utiliza elementos de face compostos por telas soldadas especialmente protegidas contra corrosão, dobradas em “L” estabilizadas com barras metálicas equiespaçadas (*struts*). São telas metálicas especiais dobradas na inclinação final de projeto (Figura 10). Normalmente possuem 0,40 m de altura por 0,40 m de largura, podendo ter 1,00 ou 2,00 m de comprimento.

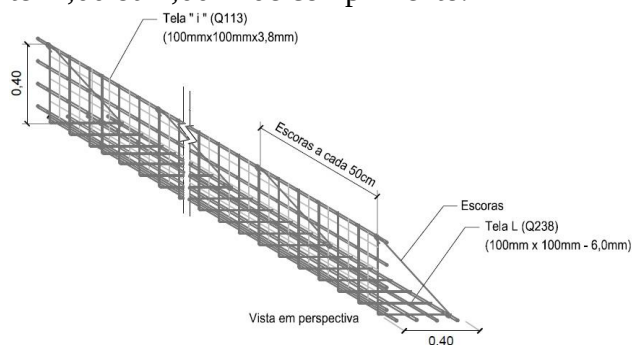


Figura 10: Vista geral do sistema *StrataSlope* utilizados para construção de face de aterro.

Tal elemento de face deve pode ser preenchido mecanicamente com brita, solo local ou com materiais alternativos como resíduos da construção civil (RCD).

Todo material solto da saia do aterro foram escavados, chegando a cota da crista natural do talude (Figura 11a), realizando uma berma compactada de 4 metros em solo residual não saturado para a reconstrução do aterro através do sistema *StrataSlope* (Figura 11b). Além de ser eficiente, esta solução foi econômica, sustentável, de alta produtividade, utilizando a técnica de solo reforçado com geotêxtil (Figura 11c), o sistema *StrataSlope* emprego o próprio solo local como material de reconstrução, durante o envelopamento (Figura 11d).



Figura 11: (a) escavação da saia do aterro sem compactação (b) compactação da base para *StrataSlope* utilizando solo local. (c) envelopamento de solo com geotêxtil tecido faceado com *StrataSlope*.

4 CONSIDERAÇÕES

As causas que podem levar ao escorregamento de taludes são complexas, pois envolvem uma infinidade de fatores que se associam e entrelaçam. Os conhecimentos permitidos através dos levantamentos de campo, permitiram escolher com mais critério as soluções geotécnicas que se apresentaram como satisfatórias, além de prever o desempenho de outras alternativas.

SILVA (2011) define que a avaliação da estabilidade de um talude não pode ser concretizada se não conhecerem os fenômenos que podem induzir situações críticas, além disso, é necessário quantificar as condicionantes quanto á estabilidade, o que nem sempre é fácil ou possível.

A escolha do método de estabilização necessita de estudos e análises de diferentes variáveis, como físicas (dados geotécnicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrogeológicos), propiciando a diferentes soluções econômicas de corte e aterro para os casos citados acima (Caso A e B).

Assim a técnica do solo grampeado, para taludes ou escavações íngremes executados em

solo residual não saturado, contribui de forma mais econômica através de equipamentos de pequeno porte, versatilidade e tempo de execução. Em relação ao sistema *StrataSlope* utilizado tanto para taludes íngremes, como para faceamento de estruturas reforçadas com geossintéticos, que possuem inclinações de face superior a 70°, exibe um elevado desempenho na velocidade de execução e no baixo custo final da obra devido ao uso do solo local para compactação, permitindo nesta aplicação de caso, a projeção com calda de cimento em sua face para impermeabilização. A arte final da estabilização de encostas em solo grampeado e concreto projetado, com crista de aterro realizada através do sistema *StrataSlope*, pode ser verificada abaixo (Figura 12).



Figura 12: (a) vista geral muro lateral, (b) vista superior geral muro frontal (c) crista de aterro compactada com sistema *StrataSlope* impermeabilizada com calda de cimento (d) vista geral muro frontal.

REFERÊNCIAS

- Campos, L. E. P. (1985) *Influencia da sucção na estabilidade de taludes naturais em solos residuais*. 3º Simpósio Regional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Vol.49.
- Cambefort, H. (1975) *Geotechnique de L' Ingenieur*. Et reconnaissance de sols. Paris Editions Eyrolles, 424p.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo – SP (1991) “*Manual de Geotecnia. Taludes de Rodovias – Orientação Para diagnostico e Solução Para os seus Problemas*”, DER SP.
- Morais, S.M. (1995) Granito Itapeti, SP: *Petrografia, litoquímica e tipologia do zircão*. Rio Claro. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Knetch, T. (1964) *Escala geológica do tempo pré-cambriano inferior*. In: Boletim Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo, v.41, p.14-36,
- Silva, R. R. (2011) *Contribuição para escavação em solo aluvionar através da técnica de injeção de consolidação*. In: VI Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul - GEORS, Passo Fundo – RS.