

Contenção Emergencial de Talude Rompido em Área de Preservação da Serra do Mar

Guilherme Augusto Chaves Zacchello

Engenheiro Civil, Solotrat Engenharia Geotécnica, São Paulo, Brasil, guilherme.chaves@solotrat.com.br

George Joaquim Teles de Souza

Engenheiro Civil - Diretor, Solotrat Engenharia Geotécnica, São Paulo, Brasil, georgeteles@solotrat.com.br

Ricardo Brendolan

Engenheiro Civil, Solotrat Engenharia Geotécnica, São Paulo, Brasil, ricardo@solotrat.com.br

Sérgio Murari Ludemann

Engenheiro Civil, Diretor, Ludemann Engenharia, São Paulo, Brasil, sergio@ludemann.com.br

RESUMO: O solo grampeado vem se consolidando ao longo do tempo como uma das melhores soluções para obras emergenciais que envolvem deslizamentos de terra, devido a sua agilidade de execução e custo baixo, quando comparado a outras técnicas existentes. O objetivo deste artigo é apresentar um estudo de caso de uma contenção emergencial de um talude natural rompido no município de Bertioga, SP, em área de preservação da Serra do Mar, a fim de conter o escorregamento ocorrido, reconstituir a área e evitar o tombamento de uma torre de linha de transmissão. Serão apresentados os cálculos e prerrogativas da necessidade da obra e as soluções encontradas, como o uso do solo grampeado e concreto projetado na região onde ocorreu o escorregamento, os sistemas de drenagem, a consolidação do solo como reforço estrutural para a fundação da torre em questão, localizada no topo do talude, a instalação de geomantas e a hidrossemeadura, para confinar o material escorregado. Também serão abordadas as dificuldades de acesso para a execução dos trabalhos, assim como os equipamentos e técnicas utilizadas para contornar essas adversidades.

PALAVRAS-CHAVE: contenção, solo grampeado, talude, drenagem, consolidação.

ABSTRACT: Soil Nailing is as one of the best solutions for landslides, because of its agility and low cost, in comparison to other techniques. This article will present an emergency containment case of slope Bertioga - SP. In order to contain the collapse, reconstitute the area and avoid the tipping of transmission line tower. Prerogatives of the work, solutions, the use of Soil Nailing and projected concrete, drainage systems, soil consolidation as a structural reinforcement for the tower's foundation in question, the installation of geomants and hydrosilation, to confine the sliding material, will be presented. The difficulties of this work, equipment and used techniques to overcome these adversities, as well.**KEYWORDS:** containment, soil nailing, slope, drainage, consolidation.

KEYWORDS: containment, soil nailing, slope, drainage, consolidation

1 Introdução

O local onde foi realizado o estudo encontra-se em área de preservação natural da Serra do Mar, no município de Bertioga, SP, numa faixa de domínio das linhas de transmissão de energia, e próximo a um condomínio residencial. Um escorregamento de terra ao pé da torre exigiu a estabilização urgente do local, garantindo a segurança dos moradores próximos ao pé da encosta e a não interrupção no sistema de transmissão, responsável por alimentar o Porto na cidade Santos, SP.



Figura 1: Vista aérea do escorregamento da encosta e a localização da torre de transmissão no topo à direita

O escorregamento se deu na camada superficial de solos transportados (provável colúvio ou corpo de talus), sendo pouco expressiva a parcela de solo residual maduro que participou do evento.

Os fatores predispositores do fenômeno de escorregamento observado são a morfologia do local, associada às características geológicas e geotécnicas do subsolo. O agente deflagrador do escorregamento foi aparentemente a saturação do maciço superficial coluvionar e de parte da camada mais intemperizada dos solos residuais, aqui denominada de Solo Residual Maduro.

Eventos chuvosos prolongados antecedentes seguidos de um evento chuvoso mais intenso, levou o maciço à saturação e conseqüentemente ao escorregamento.



Figura 2: Vista da crista da ruptura.

2 Metodologia

Para a escolha da contenção a ser empregada na obra, foram determinantes alguns aspectos, como o prazo bastante curto para a execução dos serviços, assim como a grande dificuldade de acesso, o que impossibilitou o uso de equipamentos de grande porte, bem como o deslocamento de materiais e insumos.

Somando esses aspectos, buscou-se uma contenção que garantisse minimizar o risco de novas movimentações do talude, evitando assim a perda de vidas humanas a jusante e a ocorrência de possíveis danos à torre de transmissão existente junto à crista.



Figura 3: Local do escorregamento e a dificuldade de acesso

2.1 Caracterização Geológica e Geotécnica

De acordo com o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (Fonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005), na área do escorregamento predominam-se solos do período Criogeniano, pertencentes ao Complexo Costeiro da Unidade Granito Gnáissica Migmatítica (NPccgm), composta por hornblenda-biotita gnaiss granitóide porfiróide e augen gnaiss.



Figura 04: Mapa geológico do Estado de São Paulo com indicação da região do escorregamento indicada pelo círculo vermelho (Fonte: CPRM-2005).

Com base nas sondagens realizadas no local, cuja planta de localização dos futos encontra-se na Figura 05 a seguir, foi traçado o perfil geotécnico da área, composto superficialmente por um solo coluvionar de até 5,0 m de espessura. De 5,0 a 20,0 m, o subsolo é formado por solos residuais de gnaiss granítico, sendo a camada mais superior um solo residual maduro e a inferior um residual mais jovem sobre uma camada de saprólito. Subjacente a essas camadas, encontra-se o topo rochoso, composto por um gnaiss granítico muito alterado e muito fraturado brando nos primeiros 2,0 m, passando a um gnaiss pouco alterado e pouco fraturado duro. Foram detectadas, na análise da face do escorregamento, fraturas sem preenchimento na camada de rocha branda. O lençol freático foi encontrado apenas a 20 m do pé do escorregamento, com 0,50 m de profundidade. Apresenta-se na Figura 6 a seguir o perfil geotécnico do subsolo local.

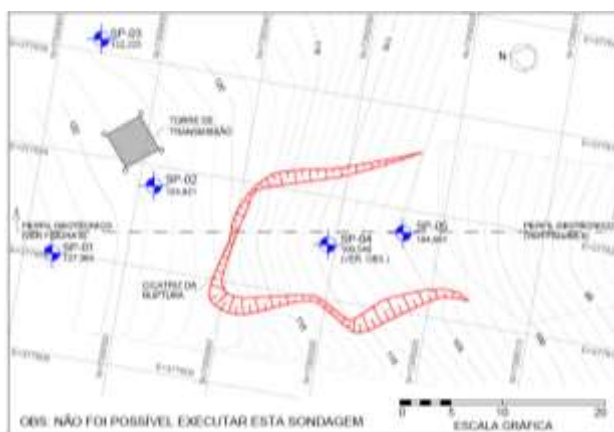


Figura 05: Planta de localização das sondagens a percussão (SPT) sobre levantamento planialtimétrico

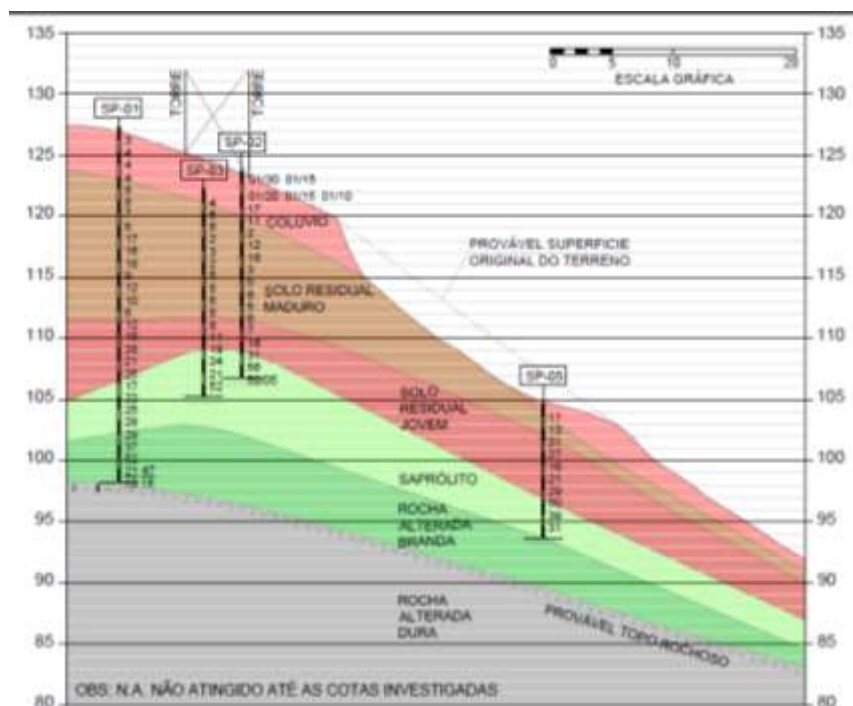


Figura 06: Perfil Geotécnico traçado com base nas sondagens a percussão indicadas na Figura 05.

Com base neste perfil geotécnico do subsolo e tendo sido cadastrada topograficamente a cicatriz do escorregamento, foi reconstituída graficamente a superfície original do terreno (antes do escorregamento) e foram efetuadas retroanálises de estabilidade para aferição dos parâmetros geotécnicos, tanto em condições saturadas quanto em condições não saturadas. Os parâmetros obtidos estão apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 1: Parâmetros adotados para solo em condição não saturada

	Peso Específico (KN/m³)	Coesão (Kpa)	Ângulo de Atrito (°)
Colúvio	16	10	25
Solo Residual Maduro	17	15	28
Solo Residual Jovem	17,5	20	33
Saprólito	19	25	35
Rocha Alterada Branda	26	100	40

Tabela 2: Parâmetros adotados para solo em condição saturada

	Peso Específico (KN/m³)	Coesão (Kpa)	Ângulo de Atrito (°)
Colúvio	17	8	23
Solo Residual Maduro	17,5	15	25
Solo Residual Jovem	17,5	20	33
Saprólito	19	25	35
Rocha Alterada Branda	26	100	40

2.2 Escolha do tipo de contenção

Após as análises de estabilidade do solo, considerando os parâmetros em condição de umidade natural e condição saturada, foi escolhida como contenção a técnica do solo grampeado, com grampos sub-verticais junto à crista da encosta, grampos sub-horizontais ao longo do talude rompido e drenos horizontais profundos. No trecho rompido, a proteção superficial se deu através de concreto projetado.

Para confinar o material escorregado, foi projetada uma berma composta por sacaria solo-cimento, reforçada com chumbadores horizontais e verticais, e revestida com concreto projetado.

E por fim, no trecho onde houve a remoção da vegetação de superfície, optou-se por uma contenção preventiva, com a instalação de grampos com revestimento verde, composto por geomantas e aplicação de hidrossemeadura, com sementes selecionadas da mata local.

3 Processos construtivos

Solo grampeado é uma técnica de melhoria de solos, que permite a contenção de taludes por meio da execução de grampos, concreto projetado e drenagem. Os grampos promovem a estabilização geral do maciço, o concreto projetado dá estabilidade local junto ao paramento e a drenagem age em ambos os casos (Manual de Serviços Geotécnicos Solotrat, 2018, pag. 05).

3.1 Equipamentos utilizados

Para a execução do solo grampeado, foram necessários alguns equipamentos específicos.

- Betoneira
- Gerador de energia
- Compressor 900 pcm
- Bomba de concreto projetado CP-6
- Misturador duplo para calda de cimento
- Bomba de injeção de calda de cimento com estabilizador de pressão
- Bombas d'água
- Perfuratriz manual
- Perfuratriz manual pneumática

3.2 Perfuração do solo

Para a execução da perfuração em solo, foram utilizadas as perfuratrizes manuais, com água para lavagem dos furos. Nos locais onde foram encontrados perfis de rocha alterada, optou-se pela utilização de perfuratriz manual pneumática. No caso da perfuração em rocha ou alteração, o furo se dava por concluído ao se alcançar 1,0 m de ancoragem nesse material, caso contrário, se respeitou os comprimentos pré-definidos em projeto.



Figura 4: Perfuração do solo com a perfuratriz manual e lavagem com água

3.3 Grampos com injeção setorizada

Foram utilizadas barras de aço 1045 diâmetro 5/8", 75kg/mm², com roscas laminadas a frio e emendas feitas por luvas. As barras foram montadas com espaçadores a cada 2,0 m, de forma a garantir o recobrimento e o afastamento da parede do furo.

O preenchimento dos furos (bainha) foi feito com calda de cimento (fator A/C de 0,5), de baixo para cima, com o auxílio de tubo de PVC rígido de pequeno diâmetro, introduzido no interior dos furos. As injeções ao longo dos furos foram setorizadas em no mínimo três mangueiras de injeção (mangueiras de polietileno de 8mm de diâmetro), com válvulas de injeção instaladas a cada 50 cm permitindo uma injeção mais uniforme, conforme detalhe abaixo.

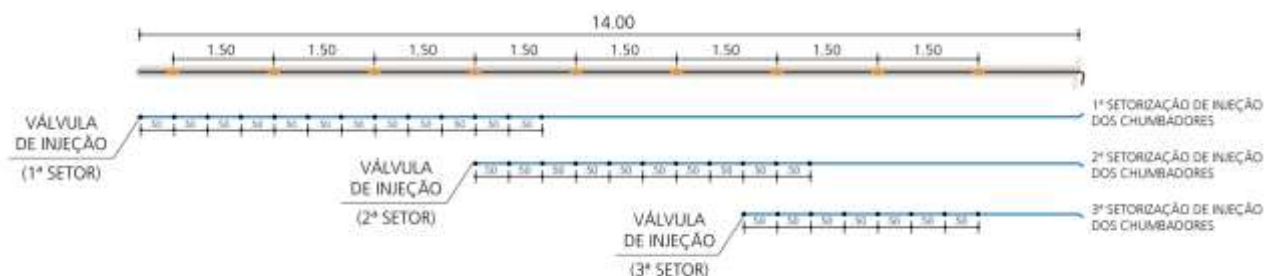


Figura 7: Partes construtivas do chumbador usado na obra

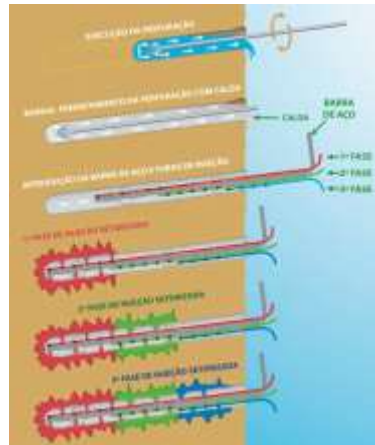


Figura 8: Fases construtivas do Grampo (Manual de Serviços Geotécnicos Solotrat, 2018, pag. 09)

3.4 Aplicação de concreto projetado

O concreto projetado foi lançado por via seca, com a adição da água no bico de projeção, armado com fibras sintéticas, com espessura de 12 cm. O lançamento se deu com ar comprimido, com grande energia, devido à grande distância entre a bomba de projeção e a superfície do talude rompido.

O traço do concreto, para um $F_{ck} \geq 20,0$ Mpa, utilizado na obra foi o seguinte: Areia: 1150 Kg; Brita 0 (pedrisco limpo): 750 Kg; Cimento: 350Kg; Fibra plasticas: 6Kg/m³; Fator Água / Cimento: 0,5.



Figura 9: Paramento de concreto projetado no trecho rompido.

3.5 Os sistemas de drenagem aplicados

Para a drenagem, foram executadas linhas de DHP's com tubos de 40 mm, ranhurados, ao longo do trecho rompido, até a cota do lençol freático, num espaçamento latitudinal de 6,0 m. Foram executados, também, coletores e canaletas ao longo da área contida, para a melhor destinação das águas pluviais e de subsuperfície.



Figura 10: Detalhe dos DHP's utilizados na obra

3.6 Uso da Geomanta com hidrossemeadura

Na região onde houve a remoção da vegetação de superfície pelo material escorregado a montante, foi executada uma contenção com grampos e revestimento através de geomanta sintética, para evitar escorregamentos superficiais do solo coluvionar e a formação de eventuais processos erosivos.

Completando a proteção superficial, sobre a geomanta foi aplicada hidrossemeadura através da projeção de sementes nativas da região.



Figura 11: Instalação de geomantas com hidrossemeadura

4 Considerações finais

Na crista, onde se encontra a torre de transmissão, foram executados 332 grampos verticais de 14,0 m, com espaçamento de 1,00 x 1,00 m, melhorando as propriedades geomecânicas do solo em seu entorno. Também foram executados reforços na fundação da torre de transmissão, com a execução de micro-estacas injetadas.



Figura 12: Reforços na fundação da torre de transmissão

Ao longo do talude rompido, foram executados 308 grampos de 14,0 m, com espaçamento de 1,00 x 1,00 m, consolidando a região do escorregamento. Neste trecho crítico, foi executado um acerto manual do terreno e um paramento de concreto projetado.

A partir das análises de estabilidade realizadas, utilizando-se o método de Bishop Simplificado, com o auxílio do programa computacional Slide 5.0 (Rockscience – Canadá), com busca automática da superfície crítica, concluiu-se que a contenção dimensionada apresentaria estabilidade satisfatória, atingindo o fator de segurança estabelecido por norma.

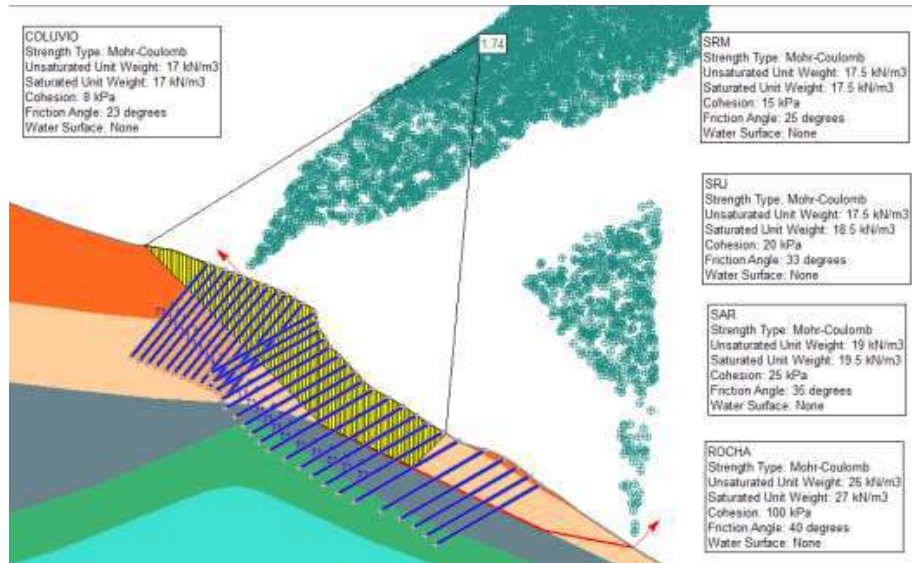


Figura 13: Talude na condição saturada. Mecanismo planar de ruptura. Chumbadores com 14,0 m, nível alto de segurança quanto à perda de vidas humanas, perdas materiais e danos ambientais (FS = 1,74) (fonte: Relatório Técnico Ludemann, 2016, pag. 18)

Para conter o material escorregado, o qual não foi possível ser retirado do local, devido as dificuldades de acesso a máquinas e equipamentos, além das normas ambientais restritivas quanto à abertura de acessos, foi executada uma berma através de sacarias solo-cimento e, posteriormente revestida de concreto, confinando assim o material solto.



Figura 14: Face frontal e detalhe construtivo da berma de confinamento de material solto

Na região onde não houve escorregamento, para efeito preventivo e contenção da massa rompida, foram instalados grampos com revestimento através de geomantas, com a aplicação de sementes locais através de hidrossemeadura.

Após a conclusão da obra, constatou-se que a solução empregada apresentou um comportamento plenamente satisfatório, com a estabilização da região da torre de alta tensão e da região onde houve o escorregamento, com a obra apresentando um custo reduzido e um prazo de execução de apenas 60 dias.



Figura 15: Contenção com solo grampeado e geomanta

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a todos os colaboradores da empresa Solotrat Engenharia Geotécnica, pelo empenho e estímulo demonstrado no dia a dia, e que sem eles, direta ou indiretamente, esse artigo não seria possível.

Agradecemos também à Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia-ABEF - pelo incentivo e grande ajuda com o fornecimento de material para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEF – Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia. Manual de execução de fundações e geotecnia: Práticas recomendadas. Editora Pini. 1. Edição. São Paulo, 2012

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 14026: 2012. *Concreto projetado - Especificação*. Rio de Janeiro.

LUDEMANN, Sérgio. Relatório Técnico. São Paulo: Ludemann Engenheiros Associados S/S. 2016. p. 1 – 20.

PITTA, Cairbar Azzi; SOUZA, George Joaquim Teles de; ZIRLIS, Alberto Casati; Alguns Detalhes da Prática de Execução do Solo Grampeado, 2013. p. 1 – 25.

PITTA, Cairbar Azzi; SOUZA, George Joaquim Teles de; ZIRLIS, Alberto Casati; Solo Grampeado. Alguns Detalhes Executivos. Ensaios – Casos de Obras. 2003. p. 1 – 20.

SOLOTRAT ENGENHARIA GEOTÉCNICA. Manual de Serviços Geotécnicos. 6. Edição. São Paulo: Solotrat Engenharia Geotécnica, 2018. p. 4 – 21.