

Solo grampeado: modelagem numérica e aspectos construtivos

INTRODUÇÃO

A técnica de solo grampeado vem sendo utilizada, como reforço do solo, desde meados da década de 1970. Já nessa época os franceses tinham desenvolvido técnicas de muros em aterros reforçados com tiras metálicas com face de placas de concreto pré-moldado, conhecidas como “terre armée” (terra armada, também conhecida por aterro armado). Logo em seguida, os franceses desenvolveram também a técnica “terre clouée”, que foi denominada pelos ingleses de “soil nailing”, e que é conhecida no Brasil pelo nome de solo grampeado.

DEFINIÇÃO DE SOLO GRAMPEADO

Solo grampeado é um sistema de contenção, aplicado a cortes, que emprega chumbadores, concreto projetado, e drenagem (superficial e profunda). Para sua utilização, é importante que o solo a ser contido apresente coesão permanente não-desprezível. Tem por objetivo a estabilização de taludes de corte, temporária ou permanente. Sua principal característica é a rapidez de execução, e o baixo custo, comparado a obras de contenção equivalentes.

GERSON NASTRI

DIRETOR REGIONAL - DR 10, DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER-SP)

RODRIGO BES

DIRETORIA REGIONAL - DR 10, DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER-SP)

ROBERTO KOCHEN

PROFESSOR DOUTOR DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP E DIRETOR TÉCNICO DA GEOCOMPANY - TECNOLOGIA, ENGENHARIA & MEIO AMBIENTE

SONDAGEM	TIPO DE SOLO	N.A. (m)	PROFUNDIDADE (m)
SP-01	Silte argiloso, pouco arenoso, micáceo, vermelho e roxo	seco	1,50 a 2,60
	Silte argiloso, pouco arenoso micáceo caulínico, cinza e branco, variegado		2,60 a 10,45
SP-02	Argila siltosa, marrom avermelhado	seco	0,00 a 2,00
	Silte argiloso, micáceo, vermelho		2,00 a 5,45
	Silte pouco argiloso, micáceo, roxo		5,45 a 8,00
	Silte pouco argiloso, caulínico, micáceo, vermelho e roxo		8,00 a 10,45
SP-03	Argila siltosa, pouco arenosa, marrom avermelhado	seco	0,00 a 2,00
	Silte argiloso, micáceo, vermelho		2,00 a 6,45
	Silte arenoso, pouco argiloso, micáceo, vermelho e roxo		6,45 a 10,45
SP-04	Argila siltosa, marrom amarelado	1,50	2,00 a 2,80
	Argila siltosa, pouco arenosa, marrom		2,80 a 5,80
	Silte argiloso, pouco arenoso, muito micáceo, cinza esverdeado		5,80 a 10,45

Tabela 1 - Perfil geológico-geotécnico no local da contenção em solo grampeado

APLICAÇÃO

A técnica tem aplicação na estabilização de taludes de corte, principalmente nas seguintes condições: maciços a serem cortados, cuja geometria resultante não é estável; taludes existentes com condição de estabilidade insatisfatória; taludes rompidos; escoramento de escavações.

METODOLOGIA CONSTRUTIVA

A partir do corte executado ou existente, inicia-se a execução da primeira linha de chumbadores, aplicação do revestimento de concreto projetado, execução da drenagem, e assim sucessivamente, até o fundo da escavação. Se o talude já estiver cortado, pode-se trabalhar de forma ascendente ou descendente, de acordo com a conveniência da obra.

MODELAGEM NUMÉRICA DE SOLOS GRAMPEADOS

Para ilustrar aspectos de modelagem numérica de solos grampeados, será apresentado um caso real de projeto e construção, realizado na duplicação de uma rodovia nas proximidades da cidade de São Paulo.

Os cálculos preliminares foram executados com o programa Reactiv, desenvolvido pelo Geotechnical Consulting Group, de Londres, Inglaterra. O Reactiv calcula reforço de taludes, em solos grampeados, para tipos de solos quaisquer, em condições drenadas ou não drenadas. São calculados o número de grampos necessários, o seu comprimento médio, e as tensões nas interfaces barra-solo e barra-argamassa.

Os cálculos finais e a verificação da estabilidade global da obra foram feitos através



Contenção em solo grampeado



Concreto projetado já executado bem como barbacãs e drenos perimetrais



Detalhe do concreto projetado, barbacãs e drenos perimetrais

do programa FLAC-Slope, desenvolvido pelo Itasca Consulting Group Inc., de Minneapolis, nos Estados Unidos.

As análises realizadas serão descritas nos itens a seguir.

PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO LOCAL

A tabela 1 mostra o perfil geológico-geotécnico no local da contenção em solo grampeado, indicado pelas sondagens.

ASPECTOS DE PROJETO E MODELAGEM NUMÉRICA

Os parâmetros geotécnicos para projeto e modelagem numérica das contenções em solo grampeado foram definidos a partir das sondagens realizadas no local, e de ensaios dilatométricos feitos pela Damasco Penna Engenharia Associados. Os resultados dos ensaios dilatométricos, e sua interpretação, são apresentados nas figuras 1 e 2.

As características geotécnicas dos solos em referência são apresentadas a seguir, baseadas em análise das sondagens e ensaios dilatométricos realizados, e em correlações empíricas aplicáveis a este tipo de solo:

Material I (solo de cobertura) - Representando as camadas mais superficiais $c = 15 \text{ kN/m}^2$ (coesão)

$j = 25$ graus (ângulo de atrito)

$g = 16 \text{ kN/m}^3$ (peso específico do solo)

Material II (solo de alteração em rocha) - Representando as camadas mais profundas $c = 35 \text{ kN/m}^2$ (coesão)

$j = 25$ graus (ângulo de atrito)
 $g = 18 \text{ kN/m}^3$ (peso específico do solo)

MODELAGEM NUMÉRICA DO SOLO GRAMPEADO

A modelagem numérica do solo grampeado foi realizada com os programas Reactiv e FLAC-Slope, para as seguintes características adotadas no projeto: a) diâmetro do furo: 100 milímetros; b) diâmetro da barra de aço: 20 milímetros; c) espaçamento entre grampos (horizontal): 1,5 metro; d) espaçamento entre grampos (vertical): variável entre 1,5 e 1,65 metro; e) comprimento dos grampos: variável entre 7,5 e 9,5 metros.

A figura 3 mostra um exemplo da saída do programa Reactiv.

VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL

Realizou-se uma verificação das condições de estabilidade global do maciço com a contenção de solo grampeado. Considerou-se a mobilização de uma cunha circular de ruptura, envolvendo regiões abrangentes do maciço. Para tanto, utilizou-se o programa de estabilidade de ta-

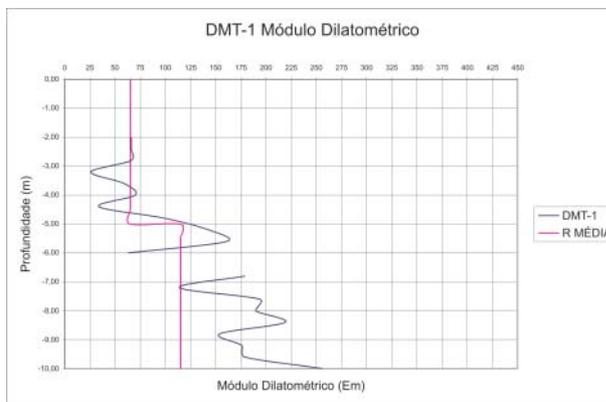


Figura 1 - Módulo dilatométrico obtido através de ensaio DMT "in situ"

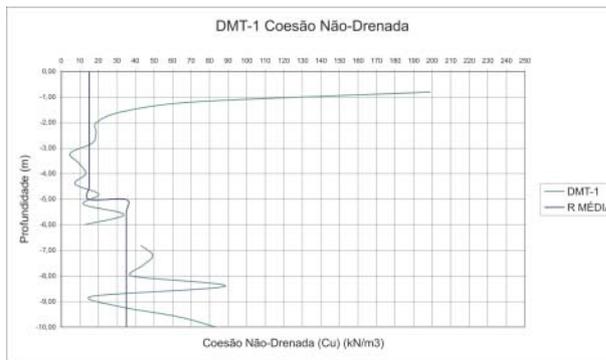


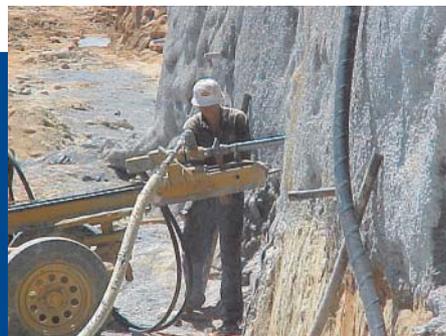
Figura 2 - Coesão não drenada obtida através de ensaio DMT "in situ"



Face do corte revestida em concreto projetado



Execução de DHP, ao fundo



Detalhe da execução de DHP



Revestimento em concreto projetado, barbacã e perfuração do grampo



Execução de DHP



Trecho de contenção com concreto projetado, barbacãs, drenos perimetrais e grampos já executados

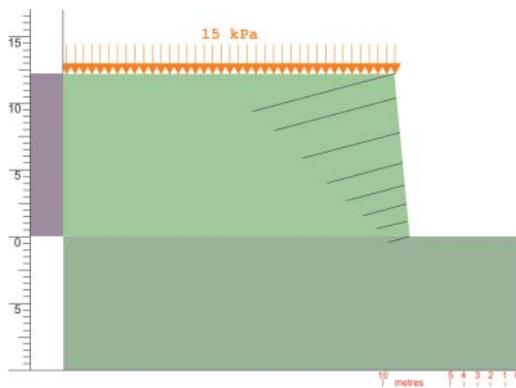


Figura 3 - Exemplo da saída do programa Reactiv

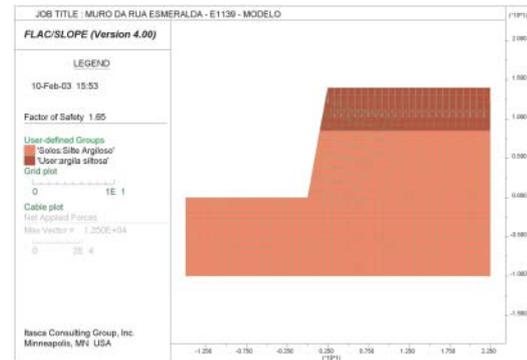


Figura 4 - Grid para modelagem numérica de estabilidade pelo FLAC-Slope

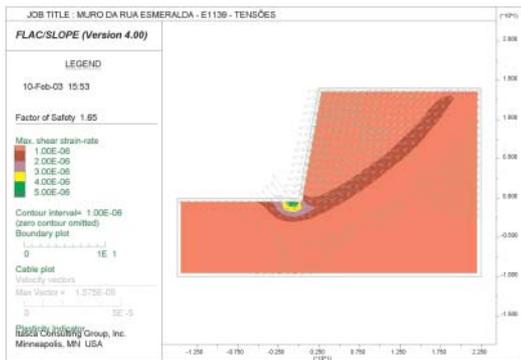


Figura 5 - Deformações cisalhantes na superfície de ruptura, e fator de segurança (modelagem numérica de estabilidade pelo FLAC-Slope)

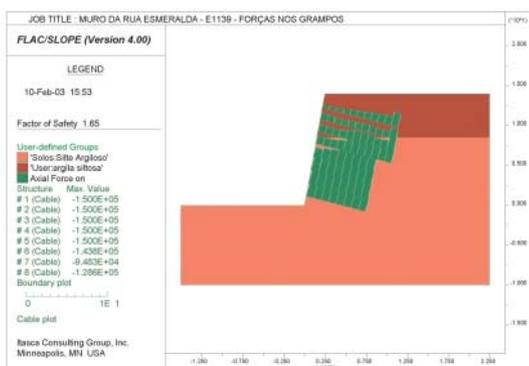


Figura 6 - Forças de tração nos grampos e fator de segurança (modelagem numérica de estabilidade pelo FLAC-Slope)

ludes FLAC-Slope, da Itasca Consulting Group.

O FLAC-Slope usa a interface gráfica e o cálculo do fator de segurança automático do programa de diferenças finitas FLAC, como o núcleo de um programa novo e mais amigável (“user friendly”), que modela problemas de estabilidade de taludes sob uma grande variedade de condições, como múltiplas camadas de solo, condições gerais de pressão neutra, propriedades variadas de solos heterogêneos, carregamentos superficiais genéricos, e reforços estruturais como grampos.

O FLAC-Slope usa o mesmo método de cálculo que o software FLAC, com um ambiente de modelagem simplificado, que oferece ferramentas e facilidades exclusivas para a análise da estabilidade de taludes. O resultado é um programa que oferece modelagem rápida, alta capacidade analítica, e obtenção de resultados bastante rápida, simples e expedita.

O FLAC-Slope oferece algumas vantagens sobre programas desenvolvidos através do método de equilíbrio limite, como, por exemplo, as superfícies de ruptura se desenvolvem naturalmente; não há a necessidade de se especificar um intervalo de possíveis su-

perfícies de ruptura; e grampos / reforços do terreno (como geotêxteis) são modeladas realisticamente, e não como forças equivalentes.

Nas figuras 4, 5 e 6, encontram-se os resultados da análise da estabilidade, feita para a seção do muro de maior altura.

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO SOLO GRAMPEADO

A documentação fotográfica apresentada neste trabalho ilustra alguns dos principais aspectos construtivos da contenção em solo grampeado, cuja modelagem numérica foi descrita nos itens anteriores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de contenção em solo grampeado foi analisado empregando recursos de modelagem numérica avançados, como os programas FLAC-Slope e Reactiv. Além das investigações de campo convencionais como sondagens à percussão simples, foram realizados ensaios dilatométricos “in situ” (DMT), que permitiram estimar com maior confiabilidade e precisão os parâmetros de resistência e deformabilidade do perfil geológico-geotécnico local.

Tudo isto levou a um projeto mais econômico e seguro, que foi executado sem imprevistos ou acréscimos de quantitativos ou custos, mostrando os benefícios de um projeto detalhado e criterioso para o bom andamento da obra.