



**André Pereira Lima**

**Deformabilidade e estabilidade  
de taludes em solo grampeado**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de  
Pós-graduação em Engenharia Civil – Geotecnia  
do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Alberto S. F. J. Sayão

Co-orientadora: Profa. Denise M. S. Gerscovich

Rio de Janeiro  
Setembro de 2002



**André Pereira Lima**

**Deformabilidade e estabilidade  
de taludes em solo grampeado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Alberto S. F. J. Sayão**

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Profa. Denise M. S. Gerscovich**

Co-orientadora

UERJ

**Prof. Luís Manuel R. e Sousa**

LNEC-Portugal

**Prof. Márcio S. S. de Almeida**

COPPE/UFRJ

**Prof. Luciano V. de Medeiros**

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Prof. Ney Augusto Dumont**

Coordenador Setorial

do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 02 de Setembro de 2002

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **André Pereira Lima**

Graduou-se em Engenharia Civil, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, em 1999. Trabalhou como engenheiro de projetos no período entre 1999 e 2000. Ingressou no curso de mestrado em Engenharia Civil (Geotecnia) no ano de 2000, atuando na área de Geotecnia Experimental. Desenvolveu pesquisa sobre a técnica de estabilização de taludes em solo grampeado, escrevendo artigos técnicos sobre este assunto e participando de congressos em Geotecnia.

### Ficha Catalográfica

Lima, André Pereira

Deformabilidade e estabilidade de taludes em solo grampeado / André Pereira Lima; orientador: Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão; co-orientadora: Denise Maria Soares Gerscovich. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2002.

[21], 159 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Solo grampeado. 3. Estabilidade de taludes. 4. Modelagem numérica. 5. Solo residual. I. Sayão, Alberto S. F. J. (Alberto de Ferraz Jardim). II. Gerscovich, Denise Maria Soares. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

Para os meus queridos pais, Sílio e Odete,  
pelo amor, educação e confiança recebidos  
ao longo de toda a minha vida.

## Agradecimentos

Aos meus amados pais, responsáveis por esta difícil conquista. Meus sinceros agradecimentos àqueles que buscaram sempre me transmitir os ensinamentos da vida.

À minha querida irmã, Martha e à minha maravilhosa família.

Aos meus orientadores professor Alberto S. F. J. Sayão e professora Denise M. S. Gerscovich pelos conceitos transmitidos, sugestões e dedicação ao longo de toda pesquisa, além da amizade e respeito adquiridos.

Ao professor J. A. R. Ortigão pela disponibilização do programa computacional FLAC.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, pelos conhecimentos obtidos ao longo de todo o curso de mestrado.

Aos funcionários da LPS Consultoria e Engenharia, em particular aos engenheiros Edward Barros Pacheco e Leandro de Moura Costa Filho, pela orientação técnica e sugestões recebidas.

A todos os colegas e amigos do curso de mestrado e doutorado da PUC-Rio pela convivência sadia e amizade construída e que ajudaram de certa forma no desenvolvimento desta tese. Em especial à Fernanda O. Springer pelas informações fornecidas no início da pesquisa sobre o funcionamento do programa computacional FLAC e à Laryssa P. Ligocki pela ajuda na etapa final da dissertação.

A todos os funcionários do DEC, exemplos de profissionalismo, meus agradecimentos em especial à Ana Roxo e Cristiano.

A CAPES pela ajuda financeira indispensável ao desenvolvimento deste trabalho.

## Resumo

Lima, André Pereira; Sayão, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim; Gerscovich, Denise Maria Soares. **Deformabilidade e estabilidade de taludes em solo grampeado**. Rio de Janeiro, 2002. 180p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Deformabilidade e estabilidade de taludes em solo grampeado são aspectos relevantes na utilização deste sistema de reforço de taludes naturais ou resultantes de processo de escavação. A concepção do projeto envolve a escolha do comprimento, ângulo de instalação, espaçamento e resistência dos grampos. O dimensionamento, usualmente baseado na teoria do Equilíbrio Limite, não consegue prever deformações no interior da massa grampeada, assim como a redistribuição de esforços nos grampos ao longo das diversas etapas de escavação. Estas informações podem ser obtidas por modelagem computacional com o auxílio do programa FLAC, de forma a definir critérios de projeto para massas grampeadas em solo residual. Para escavações de baixa altura (inferiores a 5m), a razão entre comprimento do grampo e altura da escavação deve ser superior a 0,7 e a razão entre espaçamento vertical e comprimento do grampo inferior a 50%. Para escavações maiores, a razão entre espaçamento vertical e comprimento do grampo deve ser inferior a 25%. Para estas condições não é observada uma configuração de colapso do talude em solo grampeado. O ângulo de rotação da face da escavação é um parâmetro importante no projeto. Adicionalmente verifica-se que uma pequena variação na geometria, condições de contorno, modelo constitutivo e parâmetros do solo e do grampo causam mudanças expressivas nos valores de deslocamento, tensões iniciais e esforços axiais nos grampos. Uma pequena variação da inclinação do talude pode acarretar reduções de até 70% nos deslocamentos finais. Os esforços axiais máximos, mobilizados em cada grampo durante o processo de escavação, são maiores nos taludes mais íngremes.

## Palavras-chave

Engenharia civil; solo grampeado; estabilidade de taludes; modelagem numérica; solo residual; escavação; grampo; FLAC.

## Abstract

Lima, André Pereira; Sayão, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim (Advisor); Gerscovich, Denise Maria Soares (Advisor). **Deformability and stability of slopes supported by soil nailing**. Rio de Janeiro, 2002. 180p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Deformability and stability of slopes supported by soil nailing are relevant aspects in the utilization of this reinforcement system during excavation. The project concept involves choosing the installation angle, spacing, and resistance of the soil nails. The parameters, usually determined from Limit Equilibrium Theory, cannot predict the deformation of the reinforced mass or the redistribution of stresses on the nails throughout the excavation stages. This information was obtained through computer modeling using the FLAC Program, which defined the performance of soil nailing masses in residual soil. For shallow excavations ( $H < 5\text{m}$ ), the ratio between length and excavation height must be a minimum of 0.7, the ratio between spacing and length up to a maximum of 0.5. For higher excavations, the ratio between spacing and length has to be reduced to 0.25. The rotation angle of the excavation's face is an important parameter. Additionally, small variations in the geometry, boundary conditions, constitutive model, and soil and nail parameters, can cause large changes in the deformations, initial tensions and axial stresses in the nails. Regarding the slope inclination, a small variation can cause reductions of up to 70% in the final deformations. The maximum axial stresses mobilized in each nail during the process of excavation are larger in steeper slopes.

## Keywords

Civil engineering; soil nailing; slope stability; deformation analysis; residual soil; excavation; FLAC.

## Sumário

1.Introdução	22
2.Revisão bibliográfica	24
2.1.Solo grampeado	24
2.1.1.Utilização da técnica: definição e desenvolvimento	24
2.1.1.1.Origens do solo grampeado	24
2.1.1.2.Definição da técnica	25
2.1.1.3.Método executivo	28
2.1.1.4.Aplicação da técnica no exterior	41
2.1.1.5.Aplicação da técnica no Brasil	43
2.1.1.6.Vantagens e limitações do solo grampeado	50
2.1.1.7.Comparação com outros sistemas de estabilização	52
2.1.1.8.Estruturas mistas	56
2.1.1.9.Ensaio de arrancamento	58
2.1.2.Mecanismos e comportamento de estruturas grampeadas	62
2.1.2.1.Distribuição de tensão nos grampos	63
2.1.2.2.Interação solo/grampo	65
2.1.2.3.Mobilização da resistência à flexão dos grampos	67
2.1.2.4.Deformações e deslocamentos em parede de solo grampeado	68
2.1.3.Tipos de ruptura em estrutura de solo grampeado	71
2.1.4.Concepção e projeto	74
2.1.4.1.Concepção da estrutura	74
2.1.4.2.Projeto	81
2.1.4.3.Análises da estabilidade por equilíbrio limite	81



2.1.4.4.Análises tensão x deformação	91
2.1.4.5.Instrumentação de obras em solo grampeado	92
2.2.Solos residuais	100
2.2.1.Parâmetros geotécnicos de solo residuais do Rio de Janeiro	102
2.2.2.Deformabilidade de campo x laboratório em solos residuais	107
2.2.3.Coefficiente do empuxo no repouso ( $k_0$ ) em solos residuais	108
3.O Programa computacional FLAC	110
3.1.Introdução	110
3.2.A formulação do FLAC	111
3.3.Modelos constitutivos	114
3.4.Elementos estruturais	116
3.5.Geração da malha	117
3.6.Tensões “in-situ”	118
3.7.Tempo de execução	118
3.8.Comandos/entrada de dados	118
3.9.Resultados fornecidos pelo FLAC	125
3.9.1.Deslocamentos	125
3.9.2.Avaliação das condições de ruptura	125
4.Modelagem de escavações com grampos e tirantes	128
4.1.Aplicação das tensões “in situ”	128
4.2.Influência dos parâmetros geométricos	130
4.2.1.Inclinação do talude ( $\beta$ )	131
4.2.2.Número de etapas de escavação	142
4.2.3.Espessura da parede	147
4.2.4.Condições de contorno e geometria da malha	148
4.3.Influência da forma de modelagem da parede	151

4.4.Escavações grampeadas em solo residual _____	153
4.4.1.Definição da malha _____	153
4.4.2.Definição dos parâmetros do solo _____	155
4.5.Análises _____	158
4.5.1.Comprimento de grampo variável _____	164
5.Conclusões e sugestões _____	165
6.Referências bibliográficas _____	169

## Lista de figuras

Figura 1 - Técnicas de execução de túneis com revestimento flexível	25
Figura 2 - Aplicações de sistemas de reforço de solo	26
Figura 3 - Aplicações usuais de solo grampeado	28
Figura 4 - Construção de estrutura em solo grampeado em escavações com equipamentos mecânicos	29
Figura 5 - Construção de estrutura de solo grampeado em escavações com equipamentos manuais	29
Figura 6 - Detalhe da cabeça dos grampos	32
Figura 7 - Revestimento da parede de solo grampeado	35
Figura 8 - Suporte circular usando a técnica de solo grampeado	36
Figura 9 - Placas pré-moldadas em talude de solo residual	36
Figura 10 - Drenos subhorizontais profundos	38
Figura 11 - Drenagem superficial	38
Figura 12 - Drenagem superficial com dreno do paramento	39
Figura 13 - Canaletas de crista em estruturas de solo grampeado	40
Figura 14 - Primeira estrutura em solo grampeado na França	41
Figura 15 - Recorde de altura em estruturas grampeadas na França	42
Figura 16 - CONTENÇÃO DE TALUDES DE EMBOQUES EM 1970	44
Figura 17 - CONTENÇÃO DE ESCAVAÇÃO EM SOLO RESIDUAL, NITERÓI, RJ	45
Figura 18 - CONTENÇÃO DE TALUDE EM FILITO SOB A FUNDAÇÃO DE VIADUTO FERROVIÁRIO	45
Figura 19 - Estruturas em solo grampeado realizadas no Brasil	46
Figura 20 - Muro experimental no Morro da Formiga	46
Figura 21 - Solo grampeado, Av. Automóvel Clube	47
Figura 22 - Solo grampeado em encosta da Linha Amarela - RJ	48
Figura 23 - Comparação entre solo-grampeado e estaca-raíz	53
Figura 24 - Deslocamentos horizontais máximos em estruturas de solo grampeado e terra armada	54
Figura 25 - Mecanismos de transferência de carga	56

Figura 26 - Estruturas mistas_____	57
Figura 27 - Ensaio de arrancamento _____	59
Figura 28 - Correlações empíricas para $q_s$ _____	60
Figura 29 - Correlação entre $q_s$ e $P_L$ para solos arenosos_____	61
Figura 30 - Correlação entre $q_s$ e $P_L$ para solos argilosos _____	61
Figura 31 - Zonas ativa e passiva em escavações com grampos livres	64
Figura 32 - Definição de uma possível superfície de ruptura_____	65
Figura 33 - Grampos submetidos a flexão e esforços cisalhantes _____	67
Figura 34 - Esquema com as deformações em uma estrutura de solo grampeado _____	69
Figura 35 - Deslocamentos na face de muros instrumentados _____	70
Figura 36 - Mecanismos de ruptura_____	71
Figura 37 - Ruptura devido a altura elevada nas etapas de escavação	73
Figura 38 - Modelo de análise dos parâmetros de solo grampeado _____	75
Figura 39 - Ábaco de estabilidade para $L/H=0,6$ _____	77
Figura 40 - Ábaco de estabilidade para $L/H=0,8$ _____	77
Figura 41 - Ábaco de estabilidade para $L/H=1,0$ _____	78
Figura 42 - Ábaco de estabilidade para $L/H=1,2$ _____	78
Figura 43 - Influência da rigidez dos grampos no reforço _____	85
Figura 44 - Modos de instabilização externa _____	89
Figura 45 - Discretização da malha _____	94
Figura 46 - Seção transversal do monobloco rígido _____	95
Figura 47 - Deslocamentos horizontais na parede modelada como elemento simples bidimensional _____	96
Figura 48 - Deslocamentos horizontais na parede modelada como elemento de viga _____	97
Figura 49 - Deslocamentos horizontais finais na parede em função do tipo de modelagem da face _____	98
Figura 50 - Parâmetros da malha utilizada por Briaud e Lim (1997) _____	99
Figura 51 - Influência de $Be$ nos deslocamentos horizontais _____	99
Figura 52 - Influência de $We$ nos deslocamentos horizontais _____	99

Figura 53 - Aumento da resistência com relação a sucção mátrica	102
Figura 54 - Equilíbrio da máxima força não balanceada	113
Figura 55 - Situação de não convergência da máxima força não balanceada	113
Figura 56 - Ciclo de cálculo do método explícito utilizado pelo FLAC	114
Figura 57 - Tipo de solicitação do elemento de viga	116
Figura 58 - Representação conceitual do modelo de reforço	123
Figura 59 - Razão resistência/tensão para o critério de ruptura de Mohr-Coulomb	126
Figura 60 - Geometria adotada nas análises preliminares	129
Figura 61 - Variação das tensões "in situ" (vetores de velocidade em x) em função do número de iterações	129
Figura 62 - Variação das tensões "in situ" (vetores de velocidade em y) em função do número de iterações	130
Figura 63 - Geometria utilizada na fase de consolidação da malha	131
Figura 64 - Geometria utilizada durante a fase de escavação	132
Figura 65 - Taludes com diferentes inclinações $\beta$ para $L/H=0,57$	134
Figura 66 - Vertical AA' adotada para obtenção dos deslocamentos horizontais	135
Figura 67 - Vetores de deslocamentos e fatores de segurança para taludes de solo grampeado ( $L/H=0,57$ )	136
Figura 68 - Perfis de deslocamentos horizontais finais ( $L/H=0,57$ ), a 1,0m do vértice da escavação, em função da inclinação do talude ( $\beta$ )	138
Figura 69 - Influência da inclinação do talude ( $\beta$ ) nos deslocamentos verticais finais ( $L/H=0,57$ ) ao longo da superfície do terreno (topo da escavação)	139
Figura 70 - Influência da inclinação do talude ( $\beta$ ) nos deslocamentos verticais finais ( $L/H=0,57$ ) na base da escavação (pé do talude)	139
Figura 71 - Influência da inclinação do talude ( $\beta$ ) nos esforços axiais máximos na última etapa de escavação ( $L/H=0,57$ )	140
Figura 72 - Influência da inclinação do talude ( $\beta$ ) nos esforços axiais máximos na primeira linha de grampos (profundidade de 1,50m) nas diversas etapas de escavação	141
Figura 73 - Magnitude das forças axiais máximas desenvolvidas nos grampos em função da profundidade de escavação	142

Figura 74 - Discretização da malha utilizada _____	143
Figura 75 - Seção transversal do monobloco rígido _____	143
Figura 76 - Influência das etapas de escavação nos deslocamentos finais na face da escavação ao longo da profundidade _____	145
Figura 77 - Indicação de plastificação na simulação de 8 etapas de escavação (última fase) _____	146
Figura 78 - Indicação de plastificação na simulação de uma única etapa de escavação _____	146
Figura 79 - Geometria e condições de contorno da malha _____	147
Figura 80 - Influência da espessura da parede nos deslocamentos horizontais finais na face da escavação _____	148
Figura 81 - Configuração utilizada no estudo dos contornos _____	149
Figura 82 - Deslocamentos horizontais no topo vs. distância Be _____	150
Figura 83 - Influência do tipo de modelagem da parede nos deslocamentos horizontais finais na face da escavação _____	152
Figura 84 - Discretização da malha utilizada _____	154
Figura 85 - Parâmetros geométricos do modelo estudado. _____	155
Figura 86 - Convenção de sinais empregada nos estudos realizados_	160
Figura 87 - Movimentação da massa reforçada contrária à região escavada _____	161
Figura 88 - Deslocamento horizontal em função de Sv (H=5m) _____	162
Figura 89 - Deslocamento horizontal em função de Sv (H=10m) _____	162
Figura 90 - Ângulos de rotação da face da escavação para todos os casos analisados _____	163

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Tipo de solicitação em reforço de solo _____	27
Tabela 2 - Aplicações e objetivos de um sistema de reforço _____	27
Tabela 3 - Altura das etapas de escavação _____	30
Tabela 4 - Tipos de aços utilizados no Brasil _____	31
Tabela 5 - Dimensões e propriedades típicas de grampos injetados em obras na Europa _____	31
Tabela 6 - Dimensões e propriedades típicas de grampos injetados em obras na América do Norte _____	31
Tabela 7 - Parâmetros típicos de maciços grampeados em obras internacionais _____	43
Tabela 8 - Parâmetros típicos de maciços grampeados em obras nacionais _____	49
Tabela 9 - Determinação de $q_s$ por correlações empíricas _____	61
Tabela 10 - Valores típicos de $\kappa$ , de deslocamentos verticais e horizontais máximos, baseados em resultados empíricos _____	69
Tabela 11 - Índices característicos em obras internacionais em solo grampeado - solos granulares com inclinação superior a $80^\circ$ _____	74
Tabela 12 - Índices característicos em obras na Grã-Bretanha _____	75
Tabela 13 - Valores típicos de projetos em estruturas de solo grampeado ( $H \leq 5m$ , solos homogêneos, sem NA, sem sobrecargas, paramento vertical, grampos injetados) _____	76
Tabela 14 - Espessuras extras em função do tempo de vida útil da estrutura _____	80
Tabela 15 - Premissa dos diferentes métodos de cálculo em solo grampeado _____	83
Tabela 16 - Índices físicos das amostras de solo residual jovem extraídas do campo experimental I da PUC-Rio _____	103
Tabela 17 - Parâmetros de resistência e de deformabilidade _____	105
Tabela 18 - Resultados dos ensaios triaxiais cúbicos (carregamento axial) no solo residual jovem variando a orientação das estratificações das amostras e tensão confinante _____	105
Tabela 19 - Resultados dos ensaios triaxiais cúbicos em solo residual jovem _____	106

Tabela 20 - Parâmetros de resistência de solos residuais obtidos em ensaios de cisalhamento direto e triaxiais _____	107
Tabela 21 - Modelos constitutivos utilizados pelo FLAC _____	115
Tabela 22 - Exemplo de arquivo de entrada de dados _____	120
Tabela 23 - Convenção para o Indicador de Plastificação _____	126
Tabela 24 - Propriedades geomecânicas _____	133
Tabela 25 - Estabilidade do talude da escavação _____	134
Tabela 26 - Propriedades geomecânicas _____	144
Tabela 27 - Quadro resumo dos casos estudados _____	150
Tabela 28 - Influência do tipo de modelagem da parede _____	151
Tabela 29 - Fatores de segurança do talude da escavação em solo residual _____	157
Tabela 30 - Propriedades geomecânicas. _____	158
Tabela 31 - Parâmetros empregados nas análises _____	159
Tabela 32 - Comportamento da face de escavação _____	159
Tabela 33 - Comportamento da face de escavação para valores de L fixo ou variável _____	164



## Simbologia

$a$ :	Símbolo para área transversal utilizado pelo programa FLAC;
$a_{\text{parede}}$ :	Área transversal da viga de concreto da parede;
<i>bulk mod</i> :	Símbolo para designar o módulo de variação volumétrica do solo utilizado pelo programa FLAC;
$F$ :	Símbolo para fator de segurança ou índice de ruptura utilizado pelo programa FLAC;
$b_{\text{parede}}$ :	Altura da viga de concreto da parede;
<i>cohesion</i> :	Símbolo para coesão do solo utilizado pelo programa FLAC;
$c$ :	Coesão total ou aparente do solo;
$c'$ :	Coesão efetiva do solo;
<i>density</i> :	Símbolo para massa específica do solo utilizado pelo programa FLAC;
<i>dilation</i> :	Símbolo para ângulo de dilatação utilizado pelo programa FLAC;
$e$ :	Símbolo para módulo de Young utilizado pelo programa FLAC;
$E_{\text{aço}}$ :	Módulo de Young da barra de aço;
$E_{\text{solo}}$ :	Módulo de deformabilidade do solo;
$E_{50}$ :	Módulo de deformabilidade do solo correspondente à 50% da carga aplicada na ruptura;
$\nu_{50}$ :	Coefficiente de Poisson do solo correspondente à 50% da carga aplicada na ruptura;
$\sigma_{D_{50}}$ :	Tensão desviadora correspondente à 50% da carga aplicada na ruptura;
$\epsilon_{ax_{50}}$ :	Deformação axial do solo correspondente à 50% da carga aplicada na ruptura;
$\epsilon_{vol_{50}}$ :	Deformação volumétrica do solo correspondente à 50% da carga aplicada na ruptura;
<i>esxx</i> :	Comando do FLAC para visualizar as tensões totais horizontais;
<i>esyy</i> :	Comando do FLAC para visualizar as tensões totais verticais;
$E_{\text{parede}}$ :	Módulo de Young do concreto da viga da parede;
<i>friction</i> :	Símbolo para ângulo de atrito do solo utilizado pelo programa FLAC;

$F_{\text{escoamento}}$ :	Força axial de resistência ao escoamento do aço ( <i>Yield</i> );
$F_{\text{max}}$ :	Força axial máxima no cabo/grampo;
$f_y$ :	Relação percentual da força axial máxima no cabo ( $F_{\text{max}}$ ) sobre o valor da força axial de resistência ao escoamento do aço ( <i>Yield</i> ou $F_{\text{escoamento}}$ );
$G$ :	Densidade relativa do solo;
$G_R$ :	Grampo;
$g$ :	Gravidade;
$G_{\text{injeção}}$ :	Módulo cisalhante da calda de cimento da injeção;
$T_G$ :	Resistência à tração da barra de aço;
$d$ :	Densidade do grampeamento;
$H$ :	Altura total da escavação e solo grampeado;
$H_{\text{escav.}}$ :	Incremento de escavação;
$i$ :	Coordenada horizontal para nós de malha ou símbolo para momento de inércia utilizado pelo programa FLAC;
$j$ :	Coordenada vertical para nós de malha;
$kbond$ :	Símbolo para <i>bond stiffness</i> utilizado pelo programa FLAC, representa a rigidez de injeção da calda de cimento;
$L$ :	Comprimento do grampo e/ou do tirante;
$M_{\text{máx}}$ :	Momento fletor máximo no grampo;
$T_o$ :	Tração atuante na interseção do plano de ruptura;
$MI_{\text{parede}}$ :	Momento de inércia da viga de concreto da parede;
$H_e$ :	Altura da escavação na malha;
$W_e$ :	Distância horizontal do contorno até a base da escavação;
$Be$ :	Distância horizontal do topo da escavação até o contorno;
$D$ :	Distância da base da escavação à base da malha;
$B$ :	Largura do monolito;
$\tau$ :	Resistência ao cisalhamento do solo;
$\tau_{\text{máx}}$ :	Tensão cisalhante mobilizada;
$\delta_o^{\text{máx}}$ :	Deslocamento horizontal máximo na superfície, atrás da parede;
$\lambda$ :	Distância da estrutura ao topo da escavação onde $\delta_h$ e $\delta_v$ são nulos;
$\kappa$ :	Coeficiente empírico utilizado na determinação de $\lambda$ ;
$\delta_h^{\text{máx}}$ :	Deslocamento horizontal máximo no topo da escavação próximo à face;

$\delta_v^{m\acute{a}x.}$ :	Deslocamento vertical máximo no topo da escavação próximo à face;
N(SPT):	Número de golpes do ensaio SPT;
per:	Perímetro da barra de aço;
$q_s$ :	Resistência ao arrancamento do grampo devido à interação solo/grampo (atrito lateral unitário de grampos);
S.G.:	Solo grampeado;
<i>sbond</i> :	Símbolo para <i>bond strenght</i> utilizado pelo programa FLAC, representando uma coesão;
<i>sfriiction</i> :	ngulo de atrito entre o solo e a injeção;
Sh:	Espaçamento horizontal entre grampos;
<i>shear mod</i> :	Símbolo para módulo cisalhante do solo utilizado pelo programa FLAC;
Sv:	Espaçamento vertical entre grampos;
sxx:	Símbolo para tensão total máxima horizontal na direção x utilizado pelo FLAC;
syy:	Símbolo para tensão total máxima vertical na direção y utilizado pelo FLAC;
szz:	Símbolo para tensão total máxima horizontal na direção z utilizado pelo FLAC;
x:	Coordenada cartesiana horizontal para pontos da malha;
xdisp:	Comando do FLAC para visualizar deslocamentos horizontais;
y:	Coordenada cartesiana vertical para pontos da malha;
ydisp:	Comando do FLAC para visualizar deslocamentos verticais;
<i>yield</i> :	Símbolo para força axial de resistência ao escoamento da barra de aço utilizado pelo programa FLAC;
f:	Profundidade da ficha;
$\alpha$ :	Inclinação do grampo em relação a horizontal;
$h_{parede}$ :	Espessura da parede;
$\delta_t$ :	Deslocamento horizontal no topo da parede;
NA:	Nível d'água;
$\delta_v$ :	Deslocamento vertical;
M:	Momento fletor no grampo;
T:	Esforço de traço no grampo;
LL:	Limite de liquidez do solo;
LP:	Limite de plasticidade do solo;

IP:	Índice de plasticidade do solo;
$\delta_b$ :	Deslocamento horizontal na base da escavação;
$\delta_h$ :	Deslocamento horizontal da parede;
$L_{\text{máx}}$ :	Comprimento máximo dos grampos;
N:	Fator de estabilidade;
$\theta_T$ :	Inclinação da superfície do terreno;
$\eta$ :	Inclinação do paramento/parede com a vertical;
$L_a$ :	Comprimento injetado do grampo (ensaio de arrancamento);
$T_N$ :	Força normal máxima aplicada no ensaio de arrancamento;
$\phi_{\text{aço}}$ :	Diâmetro da barra de aço;
$\phi_{\text{furo}}$ :	Diâmetro do furo do grampo ou do tirante;
$\phi$ :	Ângulo de atrito do solo;
$\phi'$ :	Ângulo de atrito efetivo do solo;
$\phi^b$ :	Ângulo relacionado à sucção mátrica;
$\gamma$ :	Peso específico do solo;
$\gamma_g$ :	Peso específico dos sólidos;
$\gamma_t$ :	Peso específico total do solo;
Wn:	Teor de umidade natural do solo;
$e_o$ :	Índice de vazios inicial;
$S_o$ :	Grau de saturação inicial;
S:	Grau de saturação;
OCR:	“Overconsolidation ratio” (razão de sobreadensamento);
$k_o$ :	Coeficiente de empuxo no repouso do solo;
$\nu$ :	Coeficiente de Poisson do solo;
$P_L$ :	Pressão limite do pressiômetro Ménard;
$r$ :	Massa específica do solo;
$\sigma_{\text{aço}}$ :	Tensão de escoamento do aço;
$u_w$ :	Poro-pressão;
$u_a$ :	Pressão intersticial de ar;
$\sigma$ :	Tensão vertical total;
$\sigma_{1f}$ :	Tensão principal maior no instante da ruptura;
$\sigma_1$ :	Tensão principal maior;
$\sigma_2$ :	Tensão principal intermediária;
$\sigma_3$ :	Tensão principal menor;

$\sigma_c$ :	Tensão confinante;
$\sigma^t$ :	Tensão de tração;
$T_o$ :	Tração nos grampos no plano de interseção com o plano de ruptura;
$\beta$ :	Ângulo de inclinação do talude;
$\theta$ :	Ângulo de rotação da face da escavação;
FS:	Fator de segurança;
$FS_{SG}$ :	Fator de segurança obtidos sem a inclusão dos grampos;
$FS_{CG}$ :	Fator de segurança obtidos com a inclusão dos grampos;
p:	Tensão aplicada pelo terreno na direção normal ao eixo do elemento de reforço;
$p_{m\acute{a}x}$ :	Tensão máxima aplicada pelo terreno na direção normal ao eixo do elemento de reforço;
$I_{a\grave{c}o}$ :	Momento de inércia da barra de aço de seção circular;
$\psi$ :	Ângulo de dilatação do solo;
$\phi$ :	Inclinação da curva de deformação volumétrica vs. deformação axial obtida de ensaios triaxiais (trecho pós-ruptura);
$IP_L$ :	Indicador de plastificação utilizado pelo programa FLAC;
$N_e$ :	Número de elementos da malha;
MEF:	Método dos elementos finitos;
MEC:	Método dos elementos de contorno;
MDF:	Método das diferenças finitas;
$r_a$ :	Raio do círculo de Mohr a;
$r_b$ :	Raio do círculo de Mohr b;
$T_{trab}$ :	Carga de trabalho do tirante;
t:	Tensão de tração no círculo de Mohr utilizado pelo FLAC;
$M^{[a]}$ :	Momento fletor na extremidade a do elemento de viga;
$M^{[b]}$ :	Momento fletor na extremidade b do elemento de viga;
$u_1^{[a]}$ :	Deslocamento do ponto a na direção horizontal;
$u_1^{[b]}$ :	Deslocamento do ponto b na direção horizontal;
$u_2^{[a]}$ :	Deslocamento do ponto a na direção vertical;
$u_2^{[b]}$ :	Deslocamento do ponto b na direção vertical;
$\theta^{[a]}$ :	Rotação na extremidade a do elemento de viga;
$\theta^{[b]}$ :	Rotação na extremidade b do elemento de viga;