

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Alexandre Reis Saré

Comportamento de Escavação Grampeada Instrumentada em Solo Residual

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientadores: Alberto Sampaio Ferraz Jardim Sayão
Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Rio de Janeiro, novembro de 2007.



Alexandre Reis Saré

Comportamento de Escavação Grampeada Instrumentada em Solo
Residual

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Alberto Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Presidente/Orientador - Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof^a. Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Co-Orientadora - COPPE/UFRJ

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Sergio Augusto Barreto da Fontoura

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Roberto Quental Coutinho

UFPE

Prof. Willy Alvarenga Lacerda

COPPE/UFRJ

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de novembro de 2007.

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

Alexandre Reis Saré

Graduou-se em Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, pela Universidade Federal do Pará, em 2001. Ingressou no curso de mestrado em Geotecnia da PUC-Rio e desenvolveu uma dissertação sobre avaliação das condições de fluxo em uma barragem de terra. Ingressou no curso de doutorado em Geotecnia em 2003, e atuou na área de geotecnia experimental, desenvolvendo pesquisa sobre caracterização, instrumentação e monitoramento de uma escavação grampeada. Participou do Programa de Doutorado com Estágio no Exterior (PDEE) na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) em Portugal. Até outubro de 2007, publicou oito artigos técnicos e participou de diversos congressos e simpósios em geotecnia.

Ficha Catalográfica

<p>Saré, Alexandre Reis</p> <p>Comportamento de Escavação Grampeada Instrumentada em Solo Residual / Alexandre Reis Saré; orientadores: Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão e Anna Laura Lopes da Silva Nunes – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2007.</p> <p>[32], 304f.: il ; 30cm</p> <p>Tese de doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.</p> <p>Inclui referências bibliográficas</p> <p>1. Solo grampeado. 2. Escavação. 3. Instrumentação. 4. Monitoramento. 5. Solo Residual.</p>
--

CDD: 624

Ao meu avô,
Teófilo Saré,
que iniciou a vocação familiar pela Geotecnia
e que partiu no mesmo dia que esta pesquisa foi iniciada.

Agradecimentos

Aos meus pais, pela inesgotável fonte de incentivo e confiança em meu trabalho. Por sempre estarem ao meu lado apesar da distância que nos separou este tempo todo. Nosso amor é a razão de nossas vidas.

Aos meus orientadores Alberto Sayão e Anna Laura Nunes pela dedicação e fundamental contribuição ao trabalho em todas as fases.

A minha família por ser meu alicerce e minha incentivadora. Agradeço a todos que torceram e acreditaram pela realização desse trabalho em especial a minha avó Lúcia, meu primo Alberto e meu tio Paulo.

Ao meu orientador António Cardoso pelo suporte e confiança durante o período de estágio na FEUP em Portugal.

Aos Colegas e amigos Fernanda Springer e Tiago Proto pelo apoio incondicional durante a fase de campo deste trabalho. Compartilho os méritos deste trabalho com vocês.

Ao colega e amigo André Lima por partilhar conhecimentos durante a fase de campo, laboratório e análises. Sua contribuição foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

Aos colegas Alex e Marcelinho pelo apoio e dedicação durante a fase de campo do trabalho. Agradeço pela amizade e conhecimentos partilhados.

Ao engenheiro Paulo Henrique Dias, incentivador e realizador do projeto de pesquisa o qual este trabalho faz parte. Profissionais como você fazem a diferença na boa prática da engenharia nacional. Estendo meus agradecimentos aos demais funcionários da SEEL que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Ao engenheiro Guilherme Pereira pela paciência, compreensão e incentivo durante a fase final deste trabalho. Agradeço também os demais funcionários da GEOMECÂNICA que contribuíram na realização dos ensaios de laboratório e ao Eng. Felipe Cruz pelo apoio nesta fase.

À Vivina pela paciência, incentivo e compreensão. Seu incentivo e carinho foram fundamentais. Obrigado por me fazer acreditar que era possível e que no final as coisas se ajustariam da melhor forma.

Aos amigos que de algum modo contribuíram com este trabalho, em especial: Carlos Ataliba, Amaury, Willian, Jorge Cardenas, Jackeline Castaneda e Amanda Jarek.

Aos colegas e amigos de Portugal pela amizade e companheirismo em especial: Sara, Nuno, Cristiana, Emanuel, Emílio e Isabel.

À CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro indispensável para a pesquisa.

Resumo

Saré, Alexandre Reis. **Comportamento de Escavação Grampeada Instrumentada em Solo Residual**. Rio de Janeiro, 2007. 336p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O solo grampeado ou solo pregado é uma técnica em que o reforço do maciço é obtido através da inclusão de elementos resistentes à tração, esforços cortantes e momentos de flexão. São apresentados a caracterização, instrumentação e monitoramento de uma escavação grampeada em uma encosta na cidade de Niterói (RJ). O talude possui altura superior a 30m em solo residual de gnaiss. A caracterização geotécnica compreendeu as fases de campo e laboratório. Para a caracterização de campo foram utilizados os dados de sondagens a percussão, mapeamento geológico-geotécnico e ensaios de arrancamento. No programa de investigações de laboratório foram realizados ensaios com o objetivo obter parâmetros dos solos necessários ao estudo do desempenho da obra em solo grampeado. A instrumentação projetada foi composta por *tell tales*, inclinômetros e grampos instrumentados com *strain gages*. As informações relativas ao monitoramento demonstram que os *tell tales* comportam-se qualitativamente equivalente aos inclinômetros. Os grampos instrumentados permitiram o acompanhamento das cargas ao longo do processo de escavação. Adicionalmente foram realizadas simulações numéricas em termos de equilíbrio limite, que permitiram avaliar o fator da segurança da escavação ao longo da obra, e tensão deformação que reproduziram os deslocamentos na encosta e cargas nos grampos com erro em torno de 25%. O conhecimento do comportamento de um maciço de solo grampeado é fundamental para o aprimoramento das técnicas de projeto e execução de solo grampeado.

Palavras-chave

Solo Grampeado; Escavação; Instrumentação; Monitoramento; Solo Residual.

Abstract

Saré, Alexandre Reis. **Behavior of an Instrumented Soil Nailed Excavation on a Residual Soil**. Rio de Janeiro, 2007. 336p. PhD. Thesis – Civil Engineering Department, Catholic University of Rio de Janeiro.

Soil Nailing is a technique where the slope stability is gotten through traction resistant elements (nails). This research shows the characterization, instrumentation and monitoring of a high wall soil nailed excavation in Niterói (RIO DE JANEIRO). The slope heights more than 30m and the soil was characterized as residual gneiss. The geotechnical characterization was divided into field and laboratory phases. The field data used was SPT test, geotechnical mapping and pull-out tests. The laboratory tests were selected to inquiry parameters to evaluate the behavior of a soil nailed wall. The designed instrumentation was composed of tell tales, inclinometers and nails with strain gauges. The comparative analyses show that the results obtained through tell tales are similar to those obtained by the inclinometers. The instrumented nails had allowed to monitoring the development of loads during the soil excavation. Additionally, numerical simulations had been carried out to evaluate the safety factor during the excavation, and to predict displacements and loads in the nails with an error around 25%. The knowledge of the behavior of soil nailed excavation is essential for the design and improvement of this technique.

Keywords

Soil nailing; Excavation; Instrumentation; Monitoring; Residual soil.

Sumário

1 Introdução	33
1.1. Área de Estudo	34
1.2. Objetivos	35
1.3. Metodologia	36
2 Revisão Bibliográfica	38
2.1. Histórico e Desenvolvimento	39
2.2. Princípios da Técnica	41
2.3. Vantagens	41
2.4. Limitações	43
2.5. Método executivo	44
2.6. Execução dos grampos	46
2.7. Comparação com outras Técnicas de Contenção	47
2.7.1. Comparação com a técnica de cortinas ancoradas	47
2.7.2. Comparação com a terra armada	48
2.8. Mecanismos e Comportamento de Taludes Grampeados	49
2.8.1. Interação Solo-Grampo	50
2.8.2. Distribuição de Tensões/Deformações nos Grampos	51
2.8.3. Distribuição de Tensões/Deformações no Grampo Provocadas por Ensaios de Arrancamento	60
2.8.4. Estado de Tensões no Maciço de Solo Grampeado	63
2.9. Estudo do Comportamento e Instrumentação de Obras em Solo Grampeado	64
2.10. Parâmetros de Projeto e Correlações Empíricas	73
2.11. Casos de Obras e Estudos	79
2.11.1. Instrumentação de Obras em Solo Grampeado:	83
2.11.2. Parâmetros a Serem Monitorados	83
2.12. Dimensionamento de Taludes Grampeados	85
2.12.1. Comparação entre Métodos	87
2.13. Análises Tensão Deformação	87
2.14. Casos de Simulação	89
2.15. O Projeto Solo Grampeado PUC-Rio/COPPE	90

3 Área de Estudo – Obra Museu II	93
3.1. Investigação Geológico-Geotécnica de Campo	97
3.2. Caracterização Geológico-Geotécnica	99
3.3. Descrição do Projeto	101
3.4. Cronologia da Obra	106
4 Ensaios de Laboratório	109
4.1. Amostragem	109
4.2. Programa Experimental	111
4.3. Ensaios de Caracterização	111
4.4. Curva Característica	115
4.5. Ensaio de Compressão Confinada	119
4.6. Ensaios de Cisalhamento Direto	122
4.7. Cisalhamento Direto Solo x Solo	123
4.7.1. Cisalhamento Direto Solo x Nata (Ensaio de Interface)	128
4.7.1.1. Execução dos ensaios de interface	128
4.8. Ensaios Triaxiais	133
4.8.1. Ensaios de Compressão Axial	136
4.8.2. Ensaios de Descarregamento Lateral	142
4.9. Resumo dos Parâmetros Obtidos	149
5 Investigação de Campo	157
5.1. Sondagem a percussão - SPT	157
5.2. Mapeamento Geológico - Modelo Tridimensional	160
5.3. Ensaios de Arrancamento	168
5.3.1. Procedimentos de ensaio	171
5.3.2. Resultados dos Ensaios AR00	174
5.3.3. Resultados dos Ensaios AR01	176
5.3.4. Resultados dos Ensaios AR02	178
5.3.5. Resultados dos Ensaios AR03	180
5.3.6. Resultado dos Ensaios AR04	182
5.4. Considerações Finais	187
6 Instrumentação e Monitoramento	190
6.1. Instrumentos Instalados	193
6.2. Inclinômetros	195

6.2.1. <i>Tell Tales</i>	206
6.2.2. <i>Strain Gages</i> (Extensômetros Elétricos)	223
6.2.2.1. Leitura dos <i>Strain gages</i>	228
6.2.2.2. Calibração dos <i>Strain gages</i>	230
6.3. Cargas nos grampos durante a escavação e serviço	235
6.3.1. Barras de 4m (cota 40,5m)	240
6.3.2. Barras de 5m (34m)	243
6.3.3. Barras de 10m (28m)	245
6.3.4. Barras de 13m (21m)	248
6.3.5. Barras de 15m (17m)	251
6.4. Análise Conjunta de Dados de Instrumentação	254
6.5. Distribuição das tensões nos grampos e ponto de tração máxima	258
6.6. Magnitude dos deslocamentos máximos no talude	261
6.7. Magnitude das forças de tração máxima nos grampos	266
6.8. Resumo de Instrumentação e Monitoramento	269
7 Simulações Numéricas	272
7.1. Características de Projeto	272
7.2. Equilíbrio Limite	274
7.2.1. Hipótese 01 – Solo Homogêneo não grampeado	275
7.2.2. Hipótese 02 – Solo Homogêneo grampeado	277
7.2.3. Hipótese 03 – Escavação grampeada com duas camadas de solo	279
7.2.4. Comparação entre as hipóteses consideradas	281
7.2.5. Condição de Equilíbrio para Diversas Superfícies de Ruptura	284
7.3. Simulação de Escavação (Método dos Elementos Finitos)	286
7.4. Programa Utilizado (PLAXIS)	286
7.4.1. Geometria e Aspectos de Modelagem	287
7.4.2. Elementos Estruturais da Simulação	290
7.4.3. Modelo Constitutivo de Endurecimento de Solo (Hardening Soil Model – HSM)	292
7.4.4. Obtenção de Parâmetros	295
7.4.5. Resultados Obtidos	296
7.4.6. Previsão de Deslocamentos	299
7.4.7. Inclinômetros	299
7.4.8. Tell-tales	301
7.4.9. Comparação das Cargas nos Grampos	304

7.5. Resumo das Simulações Numéricas	313
8 Conclusões e Sugestões	315
8.1. Conclusões sobre Ensaios de Laboratório	316
8.2. Conclusão sobre Investigações de Campo	317
8.3. Conclusão sobre Instrumentação e Monitoramento	318
8.4. Conclusões sobre Simulações Numéricas	319
8.5. Sugestões para Pesquisas Futuras	321
9 Referências bibliográficas	323

Lista de figuras

Figura 1 - Comparação entre as técnicas de execução de túneis com revestimento flexível (a) e rígido (b).	40
Figura 2 - Aplicações do reforço de solos através do grampeamento: (a) na estabilização de taludes; (b) no escoramento de escavações.	41
Figura 3 - Diversas fases construtivas de um solo grampeado	45
Figura 4 - Fases executivas em solo grampeado: escavação, instalação dos grampos e contenção completa (Linha Amarela, Rio de Janeiro, foto GeoRio).	45
Figura 5 - Execução do concreto projetado (Linha Amarela, Rio de Janeiro, foto GeoRio).	46
Figura 6 - Mecanismos de transferência de carga: (a) cortina ancorada; (b) muro em solo grampeado	48
Figura 7 - Deslocamentos horizontais no muro de terra armada e no de solo grampeado.	49
Figura 8 - Carregamento progressivo do grampo durante e após o processo de escavação (Clouterre, 1991).	52
Figura 9 - Zonas ativa e passiva em escavações com grampos livres (Springer, 2001).	52
Figura 10 - Grampos submetidos à flexão e esforços cisalhantes (Clouterre, 1991)	53
Figura 11 - Desenvolvimento de região de cisalhamento em muro experimental de solo grampeado (Clouterre, 1991)	54
Figura 12 - Esforços desenvolvidos na zona passiva do grampo (Analogia de Broms) (Cardoso, 1987).	54
Figura 13 - Distribuição de forças ao longo dos grampos (Stocker e Riedinger, 1990).	55
Figura 14 - Distribuição da tração no grampo em relação ao processo de escavação (Stocker e Riedinger, 1990).	55
Figura 15 – Magnitude das forças axiais máximas desenvolvidas nos grampos em função da profundidade de escavação (Springer , 2001).	56
Figura 16 - Localização dos pontos de força axial máxima nos grampos (Gerscovich et al., 2002)	57

Figura 17 – Deformações relativas a um grampo em função das datas de monitoramento (Stocker e Riedinger, 1990)	58
Figura 18- Evolução do carregamento com as etapas de escavação	59
Figura 19 - Distribuição tensão-deformação de um grampo submetido ao avanço da escavação	60
Figura 20 - Ensaio de arrancamento (Ortigão e Sayão, 2000).	60
Figura 21 – Distribuição das deformações medidas em um ensaio de arrancamento ao longo de um grampo (Clouterre, 1991).	61
Figura 22 – Distribuição de forças de tração ao longo de um grampo com L= 3m (Clouterre, 1991).	62
Figura 23 – Distribuição de forças de tração ao longo de um grampo de L = 12m (Clouterre, 1991).	62
Figura 24 - Mobilização das tensões de cisalhamento em um grampo de L=3m submetido ao ensaio de arrancamento (Clouterre, 1991).	62
Figura 25 - Mobilização das tensões de cisalhamento em um grampo de L=12 m submetido ao ensaio de arrancamento (Clouterre, 1991).	63
Figura 26 - Evolução dos parâmetros de resistência a curto prazo em função do percentual de argila (Schlosser e Elias, 1978).	70
Figura 27 - Variação da razão entre as forças de tração e cisalhamento em função do deslocamento (Marchal, 1984)	71
Figura 28 - Influência da orientação dos grampos na mobilização de esforços de tração e aumento de resistência ao cisalhamento (Jewell, 1980)	71
Figura 29 – Correlação entre resistência ao arrancamento q_s , pressão limite do pressiômetro de Ménard p_1 e índice de resistência a penetração N_{SPT} (Bustamante e Doix, 1985)	75
Figura 30 – Correlação entre a resistência ao arrancamento q_s e número de golpes $N(SPT)$ (Ortigão e Palmeira, 1992).	75
Figura 31 – Variação dos fatores de carga λ_1 e λ_1^* em função da tensão normal (Proto Silva, 2005).	78
Figura 32 – Variação do Coeficiente de interface (α) em função da Tensão normal para solo residual de gnaiss maduro e jovem (Proto Silva, 2005).	79
Figura 33 - Mobilização de esforços nos grampos nas zonas ativa e passiva	85
Figura 34 - Localização da Obra na cidade de Niterói (Google, 2007).	93
Figura 35 – Vista de satélite da obra: (a) antes da escavação e (b) após a escavação e execução dos edifícios (Google, 2006 e 2007).	95
Figura 36 - Obras Museu I e Museu II: (a) antes da escavação e (b) depois da	

escavação e implantação das obras (Google, 2006 e 2007).	96
Figura 37 - Vista aérea das escavações grampeadas.	97
Figura 38 - Localização dos Pontos de Sondagem (SPT)	99
Figura 39 - Identificação do Perfil de Intemperismo.	100
Figura 40 - Vista Arquitetônica em corte do projeto do edifício (Geoprojetos, 2004).	102
Figura 41 - Perfil da Encosta Escavada.	102
Figura 42 - Vista em Planta da Área Escavada (Geoprojetos, 2004).	103
Figura 43 - Projeto de estabilização para a seção A (Geoprojetos, 2004).	105
Figura 44 - Projeto de estabilização para a seção B (Geoprojetos, 2004).	106
Figura 45 - Fases de Escavação da obra.	108
Figura 46 – Posição de retirada dos blocos.	110
Figura 47 – Amostras indeformadas após moldagem e embalagem com parafina.	110
Figura 48 - Posição das amostras na Carta de Plasticidade de Casagrande	113
Figura 49 - Distribuição percentual dos materiais para as amostras	114
Figura 50 - Curvas granulométricas dos solos	114
Figura 51 - Variação de ϕ^b / ϕ' com o nível de sucção em ensaios de cisalhamento direto (modificado de De Campos e Delgado, 1995)	116
Figura 52 - Curva Característica - Bloco BM01 (solo residual maduro)	118
Figura 53 - Curva Característica - Bloco BM07 (solo residual jovem)	118
Figura 54 – Variação de Parâmetros do Ensaio de Adensamento - BM02.	120
Figura 55 – Variação de Parâmetros do Ensaio de Adensamento - BM08.	120
Figura 56 - Variação do Módulo de Compressão Oedométrico (D) para ambos os solos	121
Figura 57 - Ensaio Oedométrico - BM02 (Solo Maduro)	122
Figura 58 - Ensaio Oedométrico - BM08 (Solo Jovem)	122
Figura 59 - Envoltória de resistência ao cisalhamento do solo BM03	126
Figura 60 - Envoltória de resistência ao cisalhamento do solo BM04	126
Figura 61 - Envoltória de resistência ao cisalhamento do solo BM05	127
Figura 62 - Envoltória de resistência ao cisalhamento do solo BM06	127
Figura 63 - Corpo-de-prova de interface solo/nata de cimento após o ensaio (Proto Silva, 2005)	129
Figura 64 – Detalhe de um corpo-de-prova com nata de cimento nas bordas (Proto Silva, 2005)	129
Figura 65 - Envoltórias de resistência ao cisalhamento da interface solo/nata de	

cimento – BM03 (Proto Silva, 2005).	130
Figura 66 - Envoltórias de resistência ao cisalhamento da interface solo/nata de cimento – BM05 (Proto Silva, 2005).	131
Figura 67 - Envoltórias de resistência ao cisalhamento da interface solo/nata de cimento – BM07 (Proto Silva, 2005).	131
Figura 68 - Envoltórias de resistência ao cisalhamento da interface solo/nata de cimento – BM09 (Proto Silva, 2005).	132
Figura 69 - Moldagem	134
Figura 70 - Corpo de Prova após a Ruptura	134
Figura 71 - Prensa Triaxial (PUC-Rio).	137
Figura 72 - Ensaio Triaxiais - BM04 (Curvas tensão-deformação e de deformabilidade volumétrica)	138
Figura 73 - Ensaio Triaxiais - BM07 (curvas tensão-deformação e deformabilidade volumétrica)	139
Figura 74 - Trajetórias de Tensões e Envoltórias de Resistência do Solo na Condição Saturada (BM06)	141
Figura 75 – Trajetórias de Tensões e Envoltórias de Resistência do Solo nas Condições Saturada e Natural (BM07)	141
Figura 76 - Prensa Utilizada para o Ensaio de Descarregamento Lateral.	143
Figura 77 - Ensaio Triaxiais de Descarregamento Lateral - BM03 (curvas tensão-deformação e deformabilidade volumétrica)	145
Figura 78 - Ensaio Triaxiais de Descarregamento Lateral - BM06 (curvas tensão-deformação e deformabilidade volumétrica)	146
Figura 79 - Trajetórias de Tensões e Envoltórias de Resistência do Solo (BM03)	148
Figura 80 – Trajetórias de Tensões e Envoltórias de Resistência do Solo (BM06)	148
Figura 81 - Envoltórias de Resistência para o Solo Residual Maduro na Condição Natural	151
Figura 82 - Envoltórias de Resistência para o Solo Residual Maduro na Condição Submersa ou Saturada	152
Figura 83 - Envoltórias de Resistência para o Solo Residual Jovem na Condição Natural	153
Figura 84 - Envoltórias de Resistência para o Solo Residual Jovem na Condição Submersa ou Saturada	153
Figura 85 - Variação dos Módulos de Deformabilidade em função da Tensão	

Confinante para o Solo Residual Maduro	155
Figura 86 - Variação dos Módulos de Deformabilidade em função da Tensão Confinante para o Solo Residual Jovem	155
Figura 87 - Variação dos Módulos de Poisson em função da Tensão Confinante para o Solo Residual Maduro	156
Figura 88 - Variação dos Módulos de Poisson em função da Tensão Confinante para o Solo Residual Jovem	156
Figura 89 - Distribuição do Valor N_{spt} para SP01, SP02 e SP03.	158
Figura 90 - Distribuição do Valor N_{spt} para SP04, SP05, SP06 e SP07.	159
Figura 91 - Localização dos furos de sondagem no terreno (Geoprojetos, 2004)	160
Figura 92 - Mapa geológico-estrutural da área das obras Museu 1 e Museu 2 (Gomes Silva, 2006).	163
Figura 93 - Vista geral da área das obras Museu 1 e Museu 2 em foto aérea na escala 1:8.000 (Gomes Silva, 2006)	164
Figura 94 - Mapeamento Geológico para o Talude 1 (modificado de Gomes Silva, 2006).	166
Figura 95 - Mapeamento Geológico para o Talude 2 (modificado de Gomes Silva, 2006).	166
Figura 96 - Área do cupinzeiro identificada no talude 02 (vista lateral do talude).	167
Figura 97 - Mapeamento Geológico para o Talude 03 (modificado de Gomes Silva, 2006).	168
Figura 98 - Mapeamento Geológico para o Talude 04 (modificado de Gomes Silva, 2006).	168
Figura 99 – Curva deslocamento x força de um ensaio de arrancamento (Clouterre, 1991).	170
Figura 100 – Localização das cotas dos grampos de ensaios de arrancamento na escavação.	171
Figura 101 - Montagem do ensaio de arrancamento (Springer, 2006).	172
Figura 102 - Arranjo de instrumentação nos grampos de arrancamento (Proto Silva, 2005).	173
Figura 103 – Curva Carga x Deslocamento da cabeça do grampo do ensaio de arrancamento AR00a (Springer, 2006).	175
Figura 104 – Curva Carga x Deslocamento da cabeça do grampo do ensaio de arrancamento AR00b (Springer, 2006).	175

Figura 105 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio AR00a (Springer, 2006).	176
Figura 106 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio AR00b (Springer, 2006).	176
Figura 107 – Curvas Carga x Deslocamento da cabeça do grampo dos ensaios de arrancamento AR01: (a) grampo instrumentado; (b) grampo não instrumentado.	177
Figura 108 - Distribuição de carga ao longo do grampo instrumentado do ensaio AR01.	178
Figura 109 – Curvas Carga x Deslocamento da cabeça do grampo dos ensaios de arrancamento AR02: (a) grampo instrumentado; (b) grampo não instrumentado.	180
Figura 110 - Distribuição de carga ao longo do grampo instrumentado do ensaio AR02.	180
Figura 111 – Curvas Carga x Deslocamento da cabeça do grampo dos ensaios de arrancamento AR03: (a) grampo instrumentado; (b) grampo não instrumentado.	182
Figura 112 - Distribuição de carga ao longo do grampo instrumentado do ensaio AR03.	182
Figura 113 – Curvas Carga x Deslocamento da cabeça dos grampos dos ensaios de arrancamento da etapa AR04: (a) grampo instrumentado; (b) grampo não instrumentado.	183
Figura 114 - Distribuição de carga ao longo do grampo instrumentado do ensaio AR04.	184
Figura 115 – Distribuição esquemática da tensão normal nos grampos (Proto Silva, 2005)	187
Figura 116 - Variação de q_s em função da cota de elevação para diferentes métodos de obtenção.	188
Figura 117 - Evolução de k_β com a profundidade.	189
Figura 118 - Localização da região de instrumentação.	191
Figura 119 - Localização dos dispositivos de investigação geotécnica (taludes 01 e 02).	192
Figura 120 - Localização dos dispositivos de investigação geotécnica (taludes 03 e 04).	192
Figura 121 - Vista superior do talude com escavação em nichos	195
Figura 122 - Inserção do inclinômetro para monitoramento dos deslocamentos	

horizontais (Nunes et al., 2006)	196
Figura 123 - Caixa de proteção e tampa do tubo de acesso do inclinômetro (Nunes et al., 2006)	196
Figura 124 - Localização dos Inclinômetros na Encosta do Museu II.	198
Figura 125 - Referencial adotado para as leituras inclinométricas	200
Figura 126 – Deslocamentos horizontais registrados pelo Inclinômetro I-01 - Direção A (Geoprojetos, 2007).	200
Figura 127 – Deslocamentos horizontais registrados pelo Inclinômetro I-01 - Direção B (Geoprojetos, 2007).	201
Figura 128 - Deslocamentos horizontais registrados pelo Inclinômetro I-03 - Direção A (Geoprojetos, 2007).	201
Figura 129 - Deslocamentos horizontais registrados pelo Inclinômetro I-03 - Direção B (Geoprojetos, 2007).	202
Figura 130 - Determinação da linha de deslocamentos com base nas informações dos inclinômetros	203
Figura 131 - Evolução dos deslocamentos horizontais para as cotas 17, 21, 28, 34 e 40m - I-01	204
Figura 132 – Evolução dos deslocamentos horizontais para as cotas 17, 21, 28, 34 e 40m - I-03	205
Figura 133 - Localização do plano de falhas em relação ao deslocamento observado pelo Inclinômetro 03 (Google Earth, 2007).	205
Figura 134 - Esquema do conjunto de três <i>tell tales</i> de comprimentos diversos em um único furo (Nunes et al, 2006).	206
Figura 135 – Esquema de 3 <i>tell tales</i> em furo: (a) Extremidade fixa de 1 fio; (b) Seção transversal dos fios ao longo e na saída do furo; (c) Vistas lateral e frontal da extremidade livre dos fios (Nunes et al, 2006).	207
Figura 136 - Conjunto de <i>tell tales</i> na caixa metálica (Lima, 2007).	208
Figura 137 - Posicionamento das caixas de <i>tell tale</i> na encosta.	209
Figura 138 - Posicionamento das três primeiras caixas de <i>tell-tales</i>	210
Figura 139 - Leituras manuais dos <i>tell-tales</i>	210
Figura 140 - Deslocamentos dos <i>tell tales</i> (caixa 01) em função da evolução da escavação para a cota 40m.	212
Figura 141 - Localização da obra adjacente a área de estudo (Google Earth, 2007)	213
Figura 142 - Análise conjunta de deslocamentos de inclinômetros (direção principal) e <i>tell tales</i> (Cx 01) Cota 40m.	213

Figura 143 - Leituras dos <i>tell tales</i> (Cx 02) em função da evolução da escavação Cota 34m.	214
Figura 144 - Análise conjunta de deslocamentos de inclinômetros (direção principal) e <i>tell tales</i> (Cx 02) Cota 34m	215
Figura 145 - Deslocamentos dos <i>tell tales</i> (caixa 03) em função da evolução da escavação Cota 28m.	216
Figura 146 – Análise conjunta de deslocamentos de inclinômetros (direção principal) e <i>tell tales</i> (caixa 03) para a cota 28m	216
Figura 147 - Deslocamentos dos <i>tell tales</i> (caixa 04) em função da evolução da escavação Cota 21m.	217
Figura 148 - Análise conjunta de deslocamentos de inclinômetros (direção principal) e <i>tell tales</i> (caixa 04) Cota 21m	218
Figura 149 - Leituras dos <i>tell tales</i> (caixa 05) em função da evolução da escavação Cota 17m.	218
Figura 150 - Análise conjunta de deslocamentos de inclinômetros (direção principal) e <i>tell tales</i> (caixa 05) Cota 17m	219
Figura 151 - Deslocamentos indicados pelos <i>tell tales</i> em função de sua localização no interior do talude para o dia 23/02/05.	220
Figura 152 - Deslocamentos indicados pelos <i>tell tales</i> em função de sua localização no interior do talude para o dia 13/07/05.	221
Figura 153 - Deslocamentos indicados pelos <i>Tell Tales</i> em função de sua localização no interior do talude para o dia 05/03/07.	221
Figura 154 - Localização da região de maiores deslocamentos indicados pelos <i>tell tales</i> .	222
Figura 155 - Localização das regiões de maiores deslocamentos indicados pelos <i>tell tales</i> e inclinômetros.	223
Figura 156 - Distribuição de Extensômetros nas barras de 4, 5 e 10m.	225
Figura 157 - Distribuição de Extensômetros nas barras de 13 e 15m	225
Figura 158 - Posição dos grampos instrumentados na face de escavação.	227
Figura 159 - Colagem e ligação do <i>strain gage</i> e circuito externo de ponte de <i>Wheatstone</i> (Nunes et al., 2006)	228
Figura 160 - Calibração e resultados das barras instrumentadas com 5 <i>strain gages</i> (a) <i>Calibração</i> ; (b) <i>Resultados</i> (Nunes et al., 2006).	231
Figura 161 - Esquema de ligação dos equipamentos para aquisição de dados (Springer, 2006)	233
Figura 162 - Barras Instrumentadas sendo preparadas para transporte por	

caminhão até a obra.	234
Figura 163 - Barras arrumadas para transporte até a obra	234
Figura 164 - Sistema de Aquisição de dados	236
Figura 165 - Corrosão dos conectores no cabo de monitoramento	239
Figura 166 - Eficiência do sistema de monitoramento (Número de Strain gages Perdidos/ Número de Strain gages total)	239
Figura 167 - Evolução de cargas nos <i>strain gages</i> para as barras de 4m em função do período da obra.	241
Figura 168 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b4a.	242
Figura 169 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b4b.	242
Figura 170 - Evolução de cargas nos <i>strain gages</i> para as barras de 5m em função do período da obra.	243
Figura 171 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b5a.	244
Figura 172 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b5b.	245
Figura 173 - Evolução de cargas nos <i>strain gages</i> para as barras de 10m em função do período da obra.	246
Figura 174 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b10a.	247
Figura 175 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b10b..	247
Figura 176 - Evolução de cargas nos <i>strain gages</i> para as barras de 13m em função do período da obra.	249
Figura 177 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b13a.	250
Figura 178 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b13b.	250
Figura 179 - Evolução de cargas nos <i>strain gages</i> para as barras de 15m em função do período da obra.	252
Figura 180 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b15a.	253
Figura 181 - Distribuição de cargas no período de monitoramento – grampo b15b.	253

Figura 182 - Análise Conjunta dos Dados de Instrumentação - Cota 40m.	256
Figura 183 - Análise Conjunta dos Dados de Instrumentação - Cota 34m.	256
Figura 184 - Análise Conjunta dos Dados de Instrumentação - Cota 28m.	257
Figura 185 - Análise Conjunta dos Dados de Instrumentação - Cota 21m.	257
Figura 186 - Análise Conjunta dos Dados de Instrumentação - Cota 17m.	258
Figura 187 - Localização da Zona de Tração Máxima em função dos pontos de tração máxima fornecidos pelos grampos instrumentados.	259
Figura 188 - Localização da Zona de Tração Máxima em função dos pontos de tração máxima fornecidos pelos grampos instrumentados.	261
Figura 189 - Análise normalizada dos deslocamentos em função da altura de escavação para o I 01.	262
Figura 190 - Análise normalizada dos deslocamentos em função da altura de escavação para o Inclinômetro 03	264
Figura 191 - Análise normalizada dos deslocamentos em função da altura de escavação para os <i>tell tales</i> .	265
Figura 192 - Força de Tração Máxima normalizada em função do avanço da escavação	269
Figura 193 – Tipos de Fixação de Extremidades de Grampos (Georio, 1999)	273
Figura 194 - Hipótese 01 – Geometria da escavação não grampeada em solo homogêneo	275
Figura 195 – Resultado correspondente a condição de ruptura para a hipótese 01.	276
Figura 196 - Hipótese 02 – Geometria considerada e resultados para FS para a escavação grampeada em solo homogêneo (condição intermediária)	278
Figura 197 - Hipótese 02 – Geometria considerada e resultados para FS para a escavação grampeada em solo homogêneo (condição final de escavação)	279
Figura 198 - Hipótese 03 – Geometria considerada e resultados de FS para a escavação grampeada em solo homogêneo (condição final de escavação)	280
Figura 199 – Variação do fator de segurança com a escavação para as três hipóteses.	283
Figura 200 - Localização assumida para as superfícies de maiores deslocamentos obtidas por meio de instrumentação (inclinômetros e <i>tell tales</i>).	285
Figura 201 - Geometria e aspectos utilizados na simulação com o programa	

Plaxis.	287
Figura 202 - Malha de Elementos Finitos utilizada para as simulações de escavação.	288
Figura 203 - Condição Inicial de Tensões para a Simulação de Escavação.	289
Figura 204 - Representação da superfície de plastificação do modelo de Endurecimento no espaço das tensões principais para um solo não coesivo (Frigerio, 1996).	292
Figura 205 - Simulação das etapas de escavação e aplicação de grampos no programa PLAXIS.	297
Figura 206 - Comparação entre os deslocamentos horizontais obtidos por meio de simulação numérica e leituras do inclinômetro 01.	300
Figura 207 - Comparação entre os deslocamentos horizontais obtidos por meio de simulação numérica e leituras do inclinômetro 03.	301
Figura 208 - Comparação entre os deslocamentos horizontais obtidos por meio de simulação numérica e leituras dos <i>tell-tales</i> da caixa 01.	302
Figura 209 - Comparação entre os deslocamentos horizontais obtidos por meio de simulação numérica e leituras dos <i>tell-tales</i> da caixa 02.	302
Figura 210 - Comparação entre os deslocamentos horizontais obtidos por meio de simulação numérica e leituras dos <i>tell-tales</i> da caixa 03.	303
Figura 211 - Comparação entre os deslocamentos horizontais obtidos por meio de simulação numérica e leituras dos <i>tell-tales</i> da caixa 04.	303
Figura 212 – Comparação entre os deslocamentos horizontais obtidos por meio de simulação numérica e leituras dos <i>tell-tales</i> da caixa 05.	304
Figura 213 - Comparação entre as cargas obtidas por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 4m instrumentados.	305
Figura 214 - Comparação entre distribuição de carregamentos ao longo do grampo obtida por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 4m instrumentados.	306
Figura 215 - Comparação entre as cargas obtidas por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 5m instrumentados.	307
Figura 216 - Comparação entre distribuição de carregamentos ao longo do grampo obtida por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 5m instrumentados.	308
Figura 217 - Comparação entre as cargas obtidas por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 10m instrumentados.	309
Figura 218 - Comparação entre distribuição de carregamentos ao longo do	

grampo obtida por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 10m instrumentados. 309

Figura 219 - Comparação entre as cargas obtidas por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 13m instrumentados. 310

Figura 220 - Comparação entre distribuição de carregamentos ao longo do grampo obtida por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 13m instrumentados. 311

Figura 221 - Comparação entre as cargas obtidas por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 15m instrumentados. 312

Figura 222 - Comparação entre distribuição de carregamentos ao longo do grampo obtida por meio de simulação numérica e leituras dos grampos de 15m instrumentados. 313

Lista de tabelas

Tabela 1 - Tipo de solicitação em reforço de solo (Schlosser, 1982)	49
Tabela 2 - Aplicações e objetivos de um sistema de reforço (Gässler, 1990)	50
Tabela 3 - Principais Fatores de Influência no Comportamento de Grampos	65
Tabela 4 - Estabilidade do talude da escavação (Lima, 2002)	67
Tabela 5 - Ensaios de cisalhamento direto e arrancamento para diferentes graus de densidade de solos (Schlosser e Elias, 1978)	69
Tabela 7 - Valores considerados para q_s em função da elevação (Geoprojetos, 2004)	104
Tabela 8 - Variação do fator de segurança em função da seção e da etapa de escavação	105
Tabela 9 - Datas importantes na obra em função da cota de escavação e das ocorrências e serviços verificados na obra	107
Tabela 10 - Distribuição do Programa Experimental para os Blocos Extraídos.	111
Tabela 11 – Resultados dos ensaios de caracterização.	113
Tabela 12 - Características dos corpos-de-prova dos ensaios de cisalhamento direto	125
Tabela 13 - Parâmetros de resistência dos solos (adaptado de Proto Silva , 2005)	128
Tabela 14 – Parâmetros de resistência da interface (adaptado de Proto Silva, 2005)	132
Tabela 15 - Campanha de ensaios triaxiais	135
Tabela 16 - Índices Físicos para os Ensaios de Compressão Axial.	137
Tabela 17 - Parâmetros Obtidos nos Ensaios Triaxiais de Carregamento Axial	142
Tabela 18 - Índices Físicos para os Ensaios de Descarregamento Lateral	143
Tabela 19 - Resumo dos Parâmetros Obtidos nos Ensaios Triaxiais de Descarregamento Lateral	149
Tabela 20 - Resumo dos resultados dos ensaios de caracterização e adensamento	150
Tabela 21 - Valores de q_s obtidos em função dos ensaios SPT	159
Tabela 22 – Caracterização das discontinuidades do maciço (Gomes Silva, 2006)	162
Tabela 23 - Resumo dos Resultados dos Ensaios de Arrancamento	184

Tabela 24 - Valores representativos de atrito lateral	186
Tabela 25 – Tensão normal atuante nos grampos (modificada de Proto Silva, 2005)	186
Tabela 26 - Resumo dos dados obtidos na campanha de investigação de campo	188
Tabela 27 - Resumo dos elementos de investigação e monitoramento na obra.	192
Tabela 28 - Datas importantes da investigação e monitoramento da obra.	194
Tabela 29 - Dados referentes à instalação dos inclinômetros	199
Tabela 30 - Cotas de interesse para os inclinômetros	203
Tabela 31 - Resumo do projeto de instrumentação dos alongômetros	209
Tabela 32 - Leituras de deslocamentos dos <i>tell tales</i> ao longo do período de escavação e monitoramento	211
Tabela 33 - Utilização de barras e extensômetros para monitoramento de escavação	226
Tabela 34 - Classificação das barras instrumentadas	226
Tabela 35 - Deformação dos <i>strain gages</i> x carga nos grampos	230
Tabela 36 - Comparação entre os valores de deformação obtidos teórica e experimentalmente (Nunes et al., 2006)	232
Tabela 38 - Diário de Obra Simplificado	238
Tabela 39 - <i>Strain Gages</i> que apresentaram problemas durante o monitoramento	239
Tabela 40 - Instrumentos utilizados na análise conjunta dos dados	255
Tabela 41 - Nível de escavação para o início do monitoramento e razão de deslocamentos para o final de escavação em função da cota para o Inclinômetro 01.	263
Tabela 42 - Nível de escavação no início do monitoramento e razão de deslocamentos para o final de escavação em função da cota para o inclinômetro I-03.	264
Tabela 43 - Nível de escavação para início do monitoramento e razão de deslocamentos para o final de escavação em função da cota para os <i>tell tales</i> .	266
Tabela 44 - Cargas de Tração Máxima e Cargas no Final de Monitoramento para os grampos instrumentados	267
Tabela 45 - Cargas de Tração Máxima e Cargas no Final de Monitoramento para os grampos instrumentados	268
Tabela 46 - Condições utilizadas para cada uma das hipóteses das análises de	

equilíbrio limite.	275
Tabela 47 - Parâmetros do solo utilizados na hipótese 01	276
Tabela 48 - Parâmetros Geomecânicos utilizados na hipótese 02	277
Tabela 49 - Parâmetros Geomecânicos utilizados na hipótese 03.	280
Tabela 50 - Evolução do fator de segurança nas diferentes hipóteses em função da escavação	283
Tabela 51 - Comparação dos valores de índices característicos em obras de solo grampeados (injetados) (modificado de Lima, 2007)	284
Tabela 52 - Comparação dos valores típicos de projetos em estruturas de solo grampeado (modificado de Lima, 2007)	284
Tabela 53 - Fatores de Segurança nas superfícies indicadas pela instrumentação.	285
Tabela 54 - Valores de K_0 utilizados para a definição das condições iniciais de tensão	289
Tabela 55 - Parâmetros utilizados para os elementos estruturais considerados	291
Tabela 56 - Equações e módulos necessários para o modelo de endurecimento de solos	294
Tabela 57 - Valores do expoente m em função do tipo de solo (Waterman, 2007)	294
Tabela 58 - Outros parâmetros necessários para o modelo de endurecimento de solos	294
Tabela 59 - Resumo dos parâmetros obtidos por meio de ensaios de laboratório	295
Tabela 60 - Parâmetros de referência obtidos para o modelo de endurecimento de solos	296
Tabela 61 - Parâmetros obtidos para os elementos estruturais com base no estudo paramétrico.	298
Tabela 62 - Parâmetros de referência obtidos para o modelo de endurecimento de solos	298

Lista de símbolos

α	Coeficiente de interface
a	Constante (entre 36 e 48)
A	Área da seção transversal da barra de aço na região de colagem do <i>strain gage</i>
β	Inclinação da face do talude
c'	Coesão do solo
C_o'	Resistência à compressão uniaxial da nata
c_a'	Adesão da interface solo/nata de cimento
c_{final}	Leitura final da célula de carga [V]
$c_{inicial}$	Leitura inicial da célula de carga [V]
c_{nat}	Coesão da amostra natural
c_{sub}	Coesão da amostra submersa
c_v	Coeficiente de Adensamento
δ	Deslocamento horizontal
d	Diâmetro da barra de aço
D	Diâmetro do furo de sondagem / Diâmetro da perfuração
δ_v	Deslocamento Vertical
δ_h	Deslocamento Horizontal
$\delta \sigma_h$	Acréscimo de tensão horizontal
$\delta \sigma_v$	Acréscimo de tensão vertical
δ'	Ângulo de atrito da interface solo/nata de cimento
ΔL	Deslocamento axial do grampo durante o ensaio de arrancamento
$\Delta L_{arrancamento}$	É o deslocamento correspondente à máxima força de ensaio
$\Delta L_{cisalhamento}$	Na hipótese de ocorrer fase de cisalhamento, corresponde ao maior deslocamento de ensaio
ΔL	Variação de voltagem dos terminais da Ponte de Wheatstone
ΔR	Variação de resistência do extensômetro elétrico
D	Módulo de Compressão Oedométrico
ϵ_{rad}	Deformação radial
ϵ_{ax}	Deformação axial
ϵ	Deformação medida por <i>strain gage</i>
e	Índice de vazios
E_{ur}	Módulo de deformabilidade na Fase de Recarregamento
E	Módulo Oedométrico
E_{50}	Módulo de deformabilidade referente a metade da carga máxima
E_p	Eficiência da re-injeção no parâmetro P
F	Força axial aplicada à barra de aço durante o ensaio de arrancamento

F	Carga de tração aplicada ao grampo
ϕ_{grampo}	Diâmetro do grampo
ϕ_{barra}	Diâmetro da barra de aço
ϕ'	Ângulo de atrito do solo
F_{max}	Carga máxima axial desenvolvida durante o ensaio de arrancamento
ϕ_{nat}	Ângulo de atrito da amostra natural
FS	Fator de segurança
ϕ_{sub}	Ângulo de atrito da amostra submersa
γ_{nat}	Peso específico da amostra natural
G_S	Densidade real dos grãos
H_{esc}	Altura de Escavação
H	Profundidade (altura) total de escavação
i	Inclinação do grampo
IP	Índice de Plasticidade
k	Coeficiente de Permeabilidade
k_{β}	Coeficiente correspondente à inclinação inicial da curva de deslocamento x força
K_0	Coeficiente de Empuxo no Repouso
L/H	Avanço da Escavação
L	Comprimento do grampo
λ_1	Fator de carga para solo residual jovem (areia-argilosa)
λ_1^*	Fator de carga para solo residual maduro (argila-arenosa)
L_A	Comprimento de ancoragem ou do bulbo ancorado
L_{ancorado}	Comprimento ancorado ou injetado do grampo
L_b	Comprimento do bulbo (zona passiva do grampo)
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
μ	Coeficiente de atrito
m_v	Coeficiente de variação volumétrica
M_{max}	Momento Máximo
N_{SPT}	Índice de resistência à penetração. Número de golpes do ensaio SPT
ψ	Ângulo de dilatância
q_s	Resistência ao arrancamento
R	Resistência nominal do extensômetro elétrico
R_{inter}	Razão de interface
Rf	Razão de esforço de ruptura
σ	Tensão aplicada na barra de aço
σ_{ensaio}	Tensão de ensaio
σ_{esc} ou σ_{vm}	Tensão de Pré-adensamento
σ_h	Tensão horizontal
S	Grau de Saturação
S_{min}	Seção mínima do tirante

σ_n	Tensão normal aplicada ao grampo
σ_r	Tensão de ruptura da barra do tirante
σ_t	Tensão de trabalho ou admissível
$\sigma_{\text{últ}}$	Tensão última
σ_v	Tensão vertical
t	Tempo
τ	Tensão cisalhante
t_0	Tempo inicial de cada etapa de carregamento
τ_{adm}	Tensão de aderência admissível rocha-nata
$\tau_{\text{barra-nata}}$	Tensão de aderência ou de cisalhamento barra-nata
T_{LE}	Carga limite estimada
τ_m	Tensão de aderência média
T_n	Carga axial de tração no grampo
$\tau_{\text{nata-maciço}}$	Tensão de aderência no contato nata-maciço
τ_{ult}	Tensão de aderência última no contato barra-nata para barras lisas
θ	Umidade Volumétrica
ν	Coefficiente de Poisson
V	Voltagem de excitação da Ponte de Wheatstone
w	Umidade
z	profundidade

Lista de abreviaturas

3D	Tridimensional
ABEF	Associação brasileira de estruturas de fundações
ABMS	Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
BM1 e BM2	Blocos retirados na cota 41m
BM3 e BM4	Blocos retirados na cota 35m
BM5 e BM6	Blocos retirados na cota 28m
BM7 e BM8	Blocos retirados na cota 21m
BM9 e BM10	Blocos retirados na cota 17,5m
CLOUTERRE	French National Project CLOUTERRE
Cx01	Caixa de <i>tell tales</i> 01
Cx02	Caixa de <i>tell tales</i> 02
Cx03	Caixa de <i>tell tales</i> 03
Cx04	Caixa de <i>tell tales</i> 04
Cx05	Caixa de <i>tell tales</i> 05
CPRM	Companhia de Recursos Minerais
COBRAE	Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas
Coppe/UFRJ	Coordenação de programas de pós-graduação em engenharia civil da UFRJ
FLAC	Fast Lagrangian Analysis of Continua
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GEORIO	Fundação instituto de geotécnica do município do Rio de Janeiro
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
I-01	Inclinômetro 01
I-03	Inclinômetro 03
MAC	Museu de Arte Contemporânea de Niterói
MEF	Método dos Elementos Finitos
NA	Nível d'água estabelecido
NATM	New Austrian tunnelling method
NBR	Norma brasileira
NE	Direção nordeste
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
SE	Direção sudeste
SEEL	Serviços especiais de engenharia Ltda
SEFE	Seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia
SG 0	<i>Strain gage</i> inicial ou zero
SG1	<i>Strain gage</i> 1
SG2	<i>Strain gage</i> 2
SG3	<i>Strain gage</i> 3
SG4	<i>Strain gage</i> 4
SG5	<i>Strain gage</i> 5
SG6	<i>Strain gage</i> 6
SINDUSCON	Sindicato da indústria da construção civil do estado de São Paulo

SPT Standard penetration test
SUCS Sistema unificado de classificação de solos
SW Direção sudoeste
UnB Universidade de Brasília
USP Universidade de São Paulo