



PROJETO E GERENCIAMENTO DE REFORÇO DE SOLO GRAMPEADO NAS OBRAS DE REURBANIZAÇÃO DA FAVELA DE PARAISÓPOLIS – SÃO PAULO

Carlos Williams Carrion

Eng. Gerente Projetos Geotécnicos
DUCTOR-Implantação de Projetos Ltda., São Paulo / Brasil,
carlos carrion@uol.com.br

Sidnei A. Gomes

Eng. Sênior Projetos Geotécnicos
Universidade Mackenzie, São Paulo / Brasil,
sidnei_ag@yahoo.com.br

Mauro Hernandez Lozano

Eng. Consultor DYNAMIS – Engenharia Geotécnica Ltda., São Paulo / Brasil, mauro@dynamisbr.com.br

RESUMO: Entre as diversas aplicações das técnicas de reforço de solos no campo da Engenharia Geotécnica, apresentam-se neste trabalho uma metodologia de projeto geotécnico de reforço de solos com relação ao emprego de “Solo grampeado” na solução de problemas geotécnicos que envolvem instabilidade de taludes de solos em obras de reurbanização de favelas; foram incluídas as técnicas de gerenciamento e controle de qualidade das obras de construção e apresentadas recomendações técnicas para aplicação do solo grampeado, na implantação de futuros projetos habitacionais, em função de seu custo operacional reduzido, qualidade e eficiência.

PALAVRAS-CHAVE: Solo grampeado / Instabilidade / Projeto habitacional / Grampos / Concreto projetado

1 – INTRODUÇÃO

Os autores descrevem neste trabalho a aplicação da técnica de solo grampeado no reforço de taludes instáveis, localizados na Rua Pasquale Gallupi do Setor Grotinho, que faziam parte das Obras de Reurbanização da Favela Paraisópolis, área pertencente à Subprefeitura de Campo Limpo do município de São Paulo (SP).

Na fase de projeto foram executadas sondagens à percussão, levantamento planialtimétrico cadastral; ensaios triaxiais, estudos de estabilidade de taludes, diagnóstico do problema, estudo de retaludamento, dimensionamento do reforço e detalhamento do projeto de contenção.

Na fase de gerenciamento destacam-se o controle de qualidade das obras de solo grampeado com ênfase para o monitoramento dos recalques das moradias lindeiras à Rua Pasquale Gallupi. Foram previstas leituras de testemunhos metálicos instalados nas paredes visando verificar a evolução das trincas e/ou fissuras do monitoramento dos recalques no talude através de leituras instrumentais periódicas com equipamento topográfico, além do controle de qualidade da execução dos grampos por meio de ensaios de arrancamento e do concreto projetado através de ensaios de resistência à compressão.

Finalmente apresentam-se as vantagens da técnica do reforço de taludes com solo grampeado, em relação a outras técnicas, tais como: o baixo custo dos chumbadores, facilidade de execução com equipamentos leves e de fácil manuseio, boa produtividade, suporta com segurança eventuais deformações, além da flexibilidade às condições geométricas do talude.

2 – METODOLOGIA DE PROJETO

Trata-se de uma encosta em área de risco localizada no setor denominado Grotinho – Paraisópolis, com extensão de aproximadamente 100 m e 18 m de desnível, onde existiam casas em situação de risco na crista e no pé do talude. Para desenvolvimento deste projeto, foram utilizados como documentos de referência o projeto geométrico básico do subtrecho e os perfis individuais de sondagens à percussão existentes, com a planta de localização. Após uma prévia visita de inspeção ao local das obras, foi realizada consulta ao mapa geológico e carta da aptidão ao assentamento urbano do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) para a verificação da geologia local e indicativo de seu comportamento. A seguir, foi realizado um levantamento planialtimétrico cadastral da área e das casas existentes na área de estudo e ao mesmo

tempo foram programadas e executadas quatro sondagens à percussão com torque, com coleta de amostras indeformadas das camadas representativas do talude, visando a realização de ensaios de caracterização e de ensaios triaxiais.

As amostras foram ensaiadas em câmaras triaxiais e os resultados foram submetidos a uma análise de consistência quanto à sua homogeneidade e representatividade, de forma a definir os parâmetros a serem adotados nos cálculos geotécnicos. A seguir, efetuou-se uma análise dos dados levantados e em função dos resultados das sondagens à percussão e dos ensaios triaxiais e demais condições do local foram definidos os parâmetros geotécnicos do projeto.

2.1 – Caracterização geológica-geotécnica

O local em questão está assentado sobre rocha do período pré-cambriano, de formação xistosa composta por micaxisto, segundo Carta Geológica da Grande São Paulo – EMLASA. Os xistos apresentaram granulometria fina à média e foliação bem desenvolvida com constituição ora mais micácea e xistosa, ora mais quartzosa. Geralmente apresentam espesso manto de alteração, que atinge até algumas dezenas de metros nos relevos suavizados e de alguns metros nos acidentados. Solo de alteração e rocha muito alterada. O solo superficial é argilo-siltoso nas porções micáceas e areno-siltoso nas quartzosas, com espessuras entre 2 m a 3 m. Entremeadado ao micaxisto pode ocorrer faixa de metarenito que são rochas constituídas predominantemente por silte e areia muito fina. Os problemas esperados, conforme a carta de aptidão física ao assentamento urbano do IPT foram:

- Erosão em sulcos em áreas exposta, com evolução condicionada pela direção da xistosidade no corte;
- Dificuldade de compactação em aterros devido à constituição siltosa e micácea na camada do solo de alteração;

- Escorregamentos e taludes de corte, quando a posição da foliação da rocha é desfavorável em relação à superfície de corte.

Foram programadas quatro sondagens à percussão com torque, bem como coleta de amostras indeformadas para execução de ensaios de caracterização e triaxiais. Através dos resultados obtidos foram elaborados 03 PGG-perfis geológico-geotécnico (Ver Figura 01)

Analisando os perfis geológico-geotécnicos, notam-se cinco camadas representativas do maciço. Inicialmente observou-se uma camada de aterro, denominada de camada 1, caracterizada como argila arenosa pouca siltosa, cor amarela e marrom.

A seguir o solo residual composto por silte arenoso de cor marrom, é dividido em duas camadas, denominadas de 2 e 3, de acordo com a compactidade.

A camada 2, pouco compacta, com Nspt de 1 a 5; e a camada 3 medianamente compacta a compacta com Nspt de 6 a 10.

Embasando as camadas anteriores, o solo de alteração de rocha apresenta granulometria silto arenosa e também é dividido em duas camadas denominadas de 4 e 5, de acordo com a compactidade.

A camada 4, compacta, com Nspt de 11 a 25; e a camada 5 muito compacta com Nspt maior que 26. O nível d'água aparece em todas as sondagens e está apresentado nos perfis geológicos entre as cotas 760 e 775.

2.2 – Coleta de amostras

Foram coletadas cinco amostras indeformadas para realização de ensaios de caracterização e de ensaios triaxiais de laboratório, em pontos distintos do talude, nas camadas 1 e 3, de forma a representar toda a área em estudo.

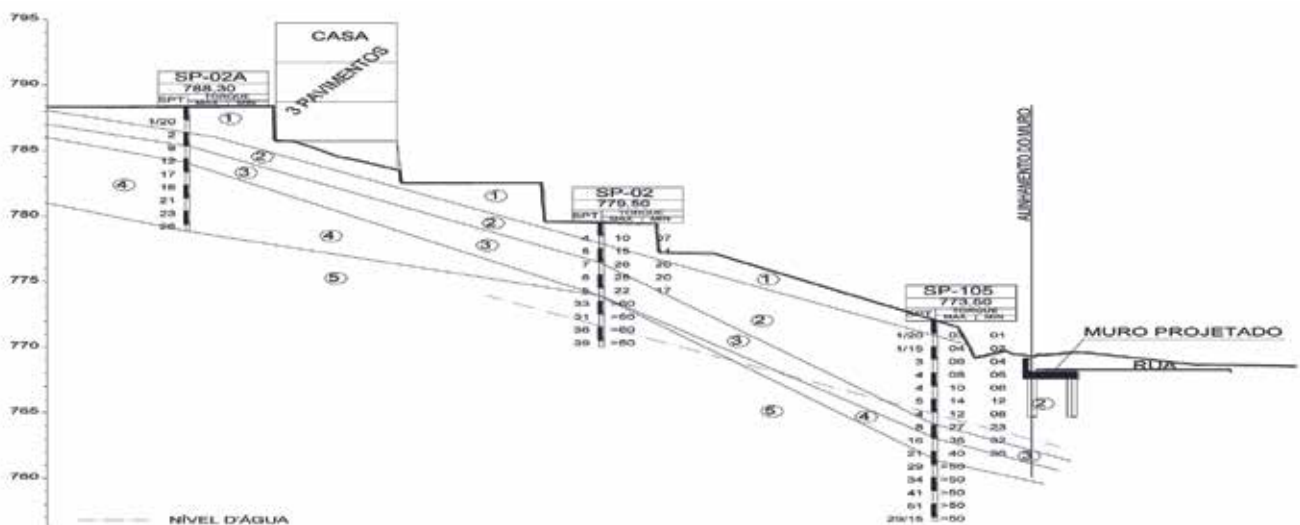


Figura 01 - Perfil Geológico Geotécnico PGG-02

Camada	Caracterização	N _{SPT}	Massa Específica γ (kN/m ³)	Coesão c (kN/m ²)	Ângulo de atrito ϕ (°)
1	Aterro-Argila arenoso, pouco siltosa, amarela e marrom.	-	18	5	22
2	Solo residual-Silte arenoso, marrom.	1<spt<5	18	10	22
3	Solo residual – Silte arenoso, marrom.	6<spt<10	19	20	30
4	Solo de alteração – Silte arenoso, marrom.	11<spt<25	20	30	30
5	Solo de alteração – Silte arenoso, marrom.	Spt>26	20	30	30

Tabela 01 - Parâmetros Geotécnicos de Projeto

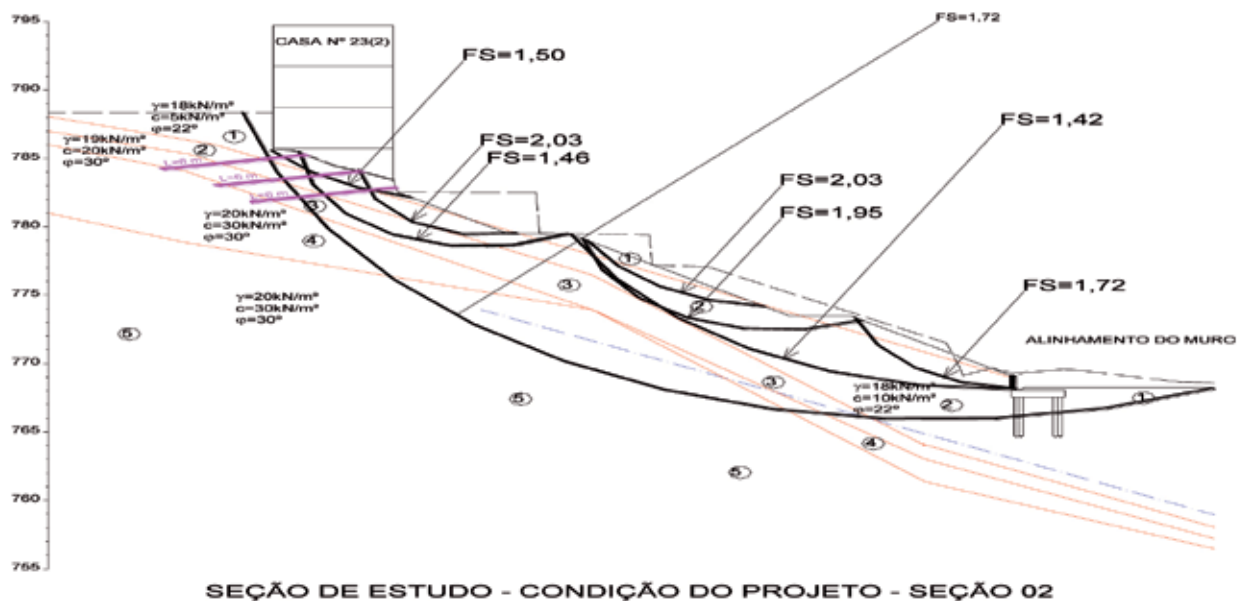


Figura 02 – Condição de projeto do talude na Seção 02

2.3 – Ensaios triaxiais

Foram executados ensaios triaxiais nas camadas 1 e 3 com o objetivo de obter parâmetros de resistência para serem utilizados nos estudos de estabilidade e cálculos de dimensionamento.

Os ensaios de compressão triaxial realizados foram do tipo R (CU), sendo os mesmos, executados sobre corpos de prova extraídos de amostras indeformadas (CP) de 3,50 cm de diâmetro por 7 cm de altura envolvidos com papel filtro e membrana elástica. Após a montagem na câmara triaxial, foram aplicadas pressões confinantes de 25, 50 e 100 kPa. Para a ruptura dos corpos de prova utilizou-se a prensa de deformação controlada a uma velocidade de 0,434% por minuto.

Os parâmetros de resistência das camadas 01 e 03 apresentados na Tabela 01 abaixo, foram obtidos a partir dos resultados dos ensaios triaxiais e os parâmetros das demais camadas do subsolo, através de pesquisas bibliográficas.

3 – ESTUDO DE ESTABILIDADE

Foram efetuadas análises de estabilidade do talude em três seções consideradas as mais críticas e representativas do trecho, em termos de geometria e disposição de camadas de solo.

Dentre os vários métodos de análise de estabilidade de taludes pela teoria do equilíbrio limite utilizou-se o método de Bishop Modificado. Estas análises foram executadas através do programa IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) – Estab1/PC – versão 2.0, que permite a busca automática do círculo de ruptura.

Assim, baseado nos resultados das sondagens à percussão com torque, dos ensaios de compressão triaxial e de pesquisa bibliográfica, os parâmetros geotécnicos adotados para este projeto, constam na Tabela 01 – Parâmetros Geotécnicos de Projeto apresentados a seguir.

Os círculos estudados em que a massa representativa é constituída pelas camadas 1 e 2 apresentam fatores de segurança muito baixos, menores que 1,0 indicando riscos de ruptura superficial. Nos cálculos acima não foi considerado

5 - DIMENSIONAMENTO DO SOLO GRAMPEADO

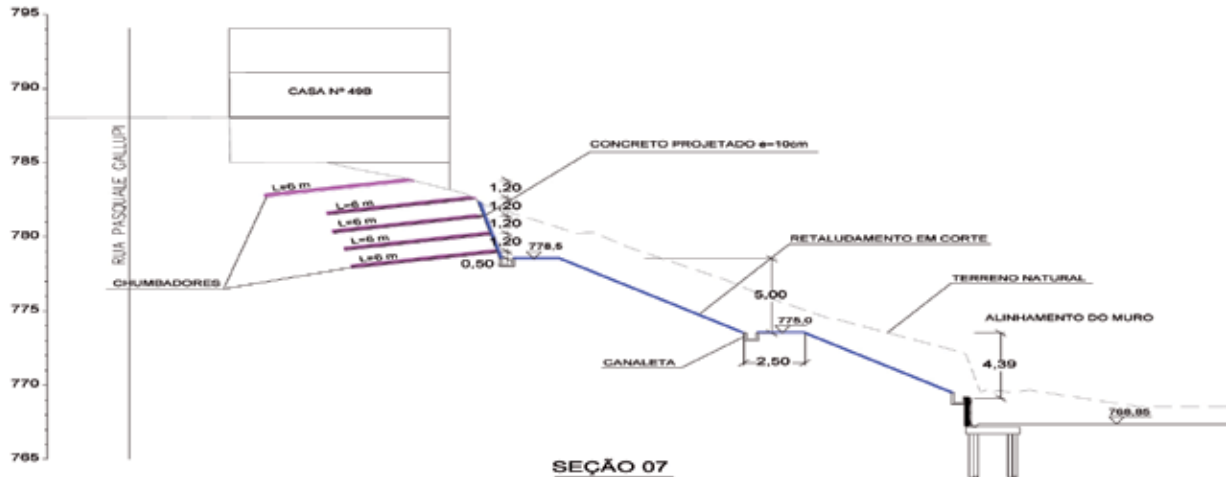


Figura 03 – Seção de retaludamento com localização do solo grampeado dimensionado

o muro existente no pé do talude, conforme observa-se, a seguir na Figura 02 – Condição de Projeto.

4 – DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA

Em um contexto geral, os fatores de segurança globais (profundos) têm valores adequados. Nos trechos onde houve escavações verticais e a implantação das casas junto a estas escavações, apresentam fatores de segurança inadequados. A condição de estabilidade da camada superficial é precária. Existem riscos de deslizamentos decorrentes de:

- eventuais massas de detritos de diversas espécies que podem existir na superfície da encosta;
- áreas expostas à ação de águas pluviais;
- lançamento irregular de água e esgoto diretamente sobre o talude.

Também podem ocorrer rupturas ou deslizamentos superficiais por erosão e ou umedecimento de massas superficiais decorrente de vazamentos contínuos.

O talude deverá receber um reforço da camada superficial pelo sistema de solo grampeado, nos trechos próximos às casas da crista do talude.

Para esta solução, foi considerado o retaludamento em corte e aterro com inclinação de 1,0V: 1,5H e execução de solo grampeado na parte superior do talude.

A proteção superficial do talude será através do plantio de gramas em placas no trecho de retaludamento em corte e concreto projetado na parte superior do mesmo.

Foi considerada a execução de um sistema de drenagem superficial para captação das águas pluviais composto por canaletas de crista, bermas e pé do talude, que conduzirão as águas de chuva para a escadaria hidráulica e até galeria de águas pluviais que será implantada na rua de baixo em construção (próximo ao córrego).

Este sistema terá a sua capacidade duas vezes maior que a vazão de contribuição, com o objetivo de captar não só as águas pluviais, mas também eventuais águas hidros sani-

tárias e outros lançamentos irregulares. A solução adotada envolve a sequência de atividades relacionadas a seguir:

- Limpeza superficial de camada vegetal até cerca de 30 cm, e remoção de entulho, lixo e solo solto proveniente de deslizamentos;
- Retaludamento em corte/aterro e execução do solo grampeado;
- Instalação de canaletas e escadaria hidráulica;
- Implantação de camada vegetal.

5 – DIMENSIONAMENTO DO SOLO GRAMPEADO

Para estabilidade do maciço, foi previsto um incremento da segurança dos taludes através da introdução de chumbadores, sendo que os mesmos foram dimensionados para se elevar os fatores de segurança até patamares adequados ($FS=1,50$).

O esforço de tração atuante no grampo é calculado pela diferença dos esforços entre o trecho da zona ativa (círculo de ruptura) e o trecho ancorado na zona passiva.

O presente estudo foi realizado através da teoria do equilíbrio limite, utilizando-se o método de Fellenius. Os comprimentos de ancoragem dos chumbadores foram determinados por:

$$T = L \cdot \pi \cdot d \cdot f_s \quad (1)$$

Onde:

T = Carga máxima atuante no chumbador

L = Comprimento de ancoragem

d = Diâmetro do furo

f_s = Adesão

O chumbador aplica uma força de estabilização da massa potencialmente em ruptura determinada pelo círculo crítico pesquisado.

A seguir, apresenta-se na Figura 03 e na Tabela 02 o resumo do dimensionamento do solo grampeado, baseado na condição de projeto da Seção 02 (Ver Figura 02).

Estudo Seção de Estudo 02							
Parâmetros Geotécnicos							
Solo	Massa Específica (kN/m ³)	Ângulo de Atrito (°)	Coesão (kN/m ²)		Adesão (kPa)		
1	18,0	22,0	5,0		29,2		
2	18,0	22,0	10,0		41,7		
3	19,0	30,0	20,0				
Estudo de Estabilidade							
Mom. Resist. (kN.m/m)	721	Fatores de Segurança FS					
Mom. Atuante (kN.m/m)	684	FS	Bishop	Fellenius			
		Atual=	1,20	1,05			
		Dimens.=	1,50	1,50			
Elementos de Reforço							
Nº	Comprimento (m)			Força (kN)		Solo Ancorado	Esp. Vertical (m)
	Zona Ativa	Ancorado	Total	Tração	Paramento		
1	0,5	5,0	5,5	45,8	41,0	1	1,2
2	1,4	4,0	5,4	36,7	23,9	1	1,2
3	2,4	3,0	5,4	39,3	8,1	2	1,2
4	0,9	0,4	1,4	5,8	0,0	2	1,2

Diâmetro do Grampo: 0,10m
Diâmetro da Barra de Aço: 20mm
Espaçamento Horizontal dos Grampos: 1,5 m
Espaçamento Vertical dos Grampos: 1,2 m

Tabela 02 – Resumo de dimensionamento do solo grampeado

6 – CONTROLE EXECUTIVO DAS OBRAS DE SOLO GRAMPEADO

A fiscalização dos serviços de campo das obras de Solo Grampeado tiveram os seguintes objetivos:

- Verificação de interferências de campo com o projeto;
- Adequação e ajuste do projeto às reais condições de campo;
- Verificar o atendimento das especificações de projeto e/ou complementar as especificações técnicas;
- Garantir a execução do controle tecnológico e monitorar as trincas das casas e deformações dos taludes.

6.1 – Escavação

Inicia-se com a escavação, que foi executada de cima para baixo e os acertos finais de escavação foram efetuados manualmente, para que se atinjam as cotas e dimensões de projeto. O material escavado foi armazenado junto à área, em local previamente determinado e aprovado pela fiscalização, não podendo ser acumulado na crista do talude de escavação.

6.2 – Chumbadores e/ou grampos

Segue com a aplicação da primeira linha de chumbadores. Os chumbadores foram executados com diâmetro de 4", inclinação de 10° e espaçamentos horizontal de 1,5 m e vertical de 1,2 m, conforme dimensionamento.

A execução do solo grampeado foi realizada de cima para baixo conforme sequência construtiva, e em alguns casos por debaixo das casas existentes na crista, pois a maiorias das casas foram executadas em pilotis.

A armação dos chumbadores era constituída por uma barra de aço diâmetro 20 mm CA50A provido de centralizadores a cada

2 m, de maneira a garantir o recobrimento contínuo da armadura pela calda de cimento. A barra recebeu tratamento anticorrosivo a fim de manter suas características de resistência ao longo do tempo. Junto com a barra, preso à mesma, foi inserido o tubo de injeção de calda de cimento (tubo perdido), com 10 a 15 mm de diâmetro. Para confecção da bainha também foi inserido junto à barra outro tubo de injeção (tubo recuperável). A bainha foi executada por meio de injeção de nata de cimento (ver norma NBR 7681), com relação água/cimento de 0,50 através do tubo destinado. Após a cura de 12 horas do cimento da bainha, foi efetuada injeção, sob pressão de no máximo 0,50 kgf/cm², de nata de cimento através

do tubo manchetado.

Foram realizados ensaios de arrancamento em 10% dos chumbadores executados. Para tal, foi prevista a execução adicional de chumbadores conforme indicado no projeto. Os ensaios foram executados com equipamento apropriado que permita medir durante o ensaio: a deformação do grampo, a deformação do aço, eventual deslocamento do paramento e a carga aplicada pelo macaco hidráulico.

6.3 – Concreto projetado

A seguir, aplicou-se o revestimento de concreto projetado. O concreto projetado foi executado com espessura de 10 cm, com resistência média aos 7 dias > 20 Mpa, fator água/cimento de 0,50 e consumo de cimento mínimo de 400 Kg/m³, e armado com tela de aço soldada – Q138. Foram executadas baterias de ensaios de controle da qualidade do concreto projetado previamente ao início da execução do mesmo e a cada 50 m³ de concreto aplicado.

6.4 – Drenagem

Simultaneamente, nos trechos com concreto projetado foram instalados barbacãs, dispostos conforme projeto de drenagem, instalado em escavação com cerca de 30 x 30 x 30 cm preenchida com material arenoso envolto com geotêxtil com gramatura de 20 g/m², e tendo como saída um tubo de PVC de diâmetro de 100 mm, com trecho perfurado envolto com tela embutido no dreno.

6.5 – Monitoramento dos recalques no talude

Foram locados e instalados blocos de observação de deslocamentos do maciço, possibilitando a tomada de leituras

instrumentais, de maneira periódica para constatação de eventuais deslocamentos do mesmo. Estes marcos foram amarrados em ponto RN fora da área da obra. A construtora executou o monitoramento dos recalques do maciço através de leituras semanais com equipamento topográfico.

6.6 – Monitoramento das trincas das moradias lindeiras à Rua Pasquale Gallupi

Este monitoramento constou do acompanhamento da evolução das fissuras/trincas existentes nas paredes, pisos e lajes das moradias durante a execução da obra. Após o levantamento das fissuras/trincas foram colocados testemunhos de metal antes do início das obras de solo grampeado, com traço de referência, pregadas com parafusos e buchas alternadamente nos dois lados adjacentes à fissura (para deslocamentos horizontais) e ao lado da /trinca (para deslocamentos verticais).

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Nesta obra habitacional, a introdução de reforço de solo grampeado estabilizou rápida e permanentemente o talude e elevou seu nível de segurança global, protegendo sua superfície e conferindo-lhe um coeficiente de segurança aceitável.
- Para garantir o bom comportamento estrutural dos chumbadores, foi imprescindível o controle da armação central e do recobrimento da barra de aço, além dos volumes e da pressão de injeção. A injeção dos chumbadores e a proteção do talude com concreto projetado, teve baixo custo em relação a outras técnicas de reforço de taludes.
- A perfuração dos chumbadores foi executada com perfuratriz manual leve, de tal maneira que a cavidade perfurada permaneceu estável, até que a injeção de calda de cimento fosse concluída.
- Entre os fatores técnicos que podem ser controlados e padronizados na execução dos chumbadores, destacam-se: o tipo e comprimento da barra de aço e o diâmetro da coluna da calda de cimento, do controle rigoroso do consumo de injeção de calda de cimento, pois trata-se de consumo diretamente proporcional ao grau de porosidade do solo.
- No processo executivo de injeção de calda de cimento e lançamento do concreto projetado, também foram utilizadas equipamentos manuais ou leves, de fácil manuseio. Esta técnica apresentou boa produtividade, sendo sua produção diária superior a outras técnicas de reforço. Trata-se de uma técnica flexível e versátil, cuja metodologia de execução reduz erros operacionais e adapta-se às condições geométricas do talude.
- Nesta obra tornou-se necessário, o rigoroso controle da armadura do concreto projetado, ou seja, do cobrimento da tela eletro-soldada, visando garantir a boa ligação entre ambas. Além do controle rigoroso do consumo de injeção de calda de cimento, pois se trata de consumo diretamente proporcional ao grau de porosidade do solo. Foram necessários, cuidados especiais de umidificação do concreto projetado, visando obter um concreto com maior resistência, menor permeabilidade e menos poeira.

- Com relação ao dimensionamento, foi utilizado neste projeto, a metodologia do equilíbrio limite, no qual os fatores de segurança foram obtidos a partir de superfícies de ruptura pre-estabelecidas. Em consequência, a estrutura reforçada depende da magnitude dos parâmetros de resistência do solo e da resistência ao cisalhamento no contato solo-reforço.
- No solo grampeado, o mecanismo de interação solo-reforço varia com a metodologia construtiva, com os parâmetros geotécnicos do solo e com as características do reforço.

Finalmente, recomenda-se que as obras de solo grampeado em empreendimentos habitacionais sejam acompanhadas rigorosamente por um engenheiro geotécnico, a fim de verificar eventuais condicionantes geológico-geotécnicas gerais e pontuais do maciço, fato que poderá gerar ajustes no posicionamento dos chumbadores.

As obras deverão ser executadas fora do período de chuvas e deve exigir-se do executor que atenda as normas da ABEF (Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia) e da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), no intuito de garantir facilidade de adaptação a geometrias variáveis e oferecer economia em relação a outros sistemas de contenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos – *Solos da Cidade de São Paulo*, São Paulo, 1998.
- ALMEIDA, M. S. S – *Aterros sobre solos moles*, Editora UFRJ. Rio de Janeiro, 1996.
- BOWLES, E.J – *Foundation Analysis and Design*, Ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1990.
- BRUCE, D; JEWELL, R – *Soil Nailing: Application and Practice, Parte 2, Ground Engineering*, p21-38, 1987.
- CARTIER, G; GIGAN, J – *Experiments and observations on Soil Nailing Structures – 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Finland p 473-476, 1983.
- EHRlich, M. – *Muros e taludes de solo reforçado: Projeto e Execução*, Oficina de Textos, Coleção Huesker, São Paulo/ SP, 2009.
- GASSLER, G; GUDEHUS, G – *Soli Nailing, Some aspects of a New Technique, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, V3, p 665-670, 1982.
- GEORIO – *Manual Técnico de Encostas: Ancoragens e Grampos*, Fundação Georio, 1999
- LAMBE, R.W. – *Soil Testing for Engineers*, John Wiley and Sons, USA, 1.960.
- MELLO, V. F.B – *Mecânica dos Solos*, 2ª edição, São Carlos /SP, EESC/ USP, 1.980.
- NOGUEIRA, J.B – *Ensaio de Laboratório em Mecânica dos Solos*, São Carlos /SP, EESC – USP, 1.980.
- PACHECO, D – *Análise de diferentes metodologias executivas de solo pregado, a partir de Ensaio de Arrancamento*, Tese Doutorado EESC-USP, São Carlos/SP, 2009.
- SCHLOSSER, F; JURAN, I- *Parametres de calcul des sols artificiellement ameliores*, European Conference SMFE, p 1-29.
- SILVEIRA, E. – *Aterros sobre solos moles*, 4ª edição, São Carlos /SP, EESC – USP, 1980.
- VARGAS, M – *Introdução à Mecânica dos Solos*, Mc Graw Hill do Brasil, São Paulo / SP, 1980.