

Escavações e contenções urbanas: experiências e casos de obras na cidade de Porto Alegre/RS

Fraga, M. L.

MLF Consultoria Geotécnica, Porto Alegre, RS, Brasil, marciano@mlfgeotecnia.com.br

Jung, J. G.

MLF Consultoria Geotécnica, Porto Alegre, RS, Brasil, jonatan@mlfgeotecnia.com.br

Resumo: Este trabalho apresenta dois casos de obra de escavações e contenções, e discute os principais aspectos envolvendo o projeto e execução destes. O primeiro relata o uso de cortinas de parede diafragma sem tirantes utilizando o mesmo sistema construtivo de lamelas com função de contrafortes. A solução adotada se mostrou satisfatória do ponto de vista de estabilidade global e de deformações. Este método constituiu uma vantagem executiva permitindo a construção da contenção antes da escavação total do terreno, diferentemente das contenções usuais empregando contrafortes. O segundo caso descreve a contenção de um talude de escavação utilizando a técnica de solo grampeado, apresentando detalhes de projeto e recomendações executivas deste sistema. Adicionalmente é descrito o caso de uma obra onde ocorreu a ruptura de parte de um talude reforçado com solo grampeado, analisando os fatores que podem ter levado à ruptura e as lições aprendidas. Em um projeto de solo grampeado, salienta-se a importância de considerar o fato de que o paramento de concreto projetado não possui função predominantemente resistente – como é o caso das cortinas atirantadas – sendo, portanto muito importante avaliar os esforços atuantes sobre este e a possibilidade de ocorrerem rupturas localizadas, geralmente mais importantes que a ruptura global.

Abstract: This paper presents two case histories of excavation and retaining walls, and discusses key aspects involving the design and implementation of these. The first reports the use of diaphragm walls with buttresses function in a building construction where was not obtained authorization to the installation of tie-back anchors beyond the limits of building site. The solution adopted was considered satisfactory from the point of view of global stability and deformations. This method was an executive advantage allowing the construction of retaining before the total excavation of the terrain, differently of the usual retaining systems using buttresses. The second case describes the retaining of a slope excavation using the technique of soil nailing, which presents details of design and executive recommendations of this system. Additionally is described the case of a failure of a reinforced slope with soil nailing, analyzing the factors that may have led to rupture and the lessons learned. In a design of soil nailing, is very important to consider the loads on the wall and the probability of localized failure occur, generally more important than global failure.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento imobiliário e a ampliação do limite de altura dos edifícios têm aumentado a demanda por áreas de estacionamento nos empreendimentos. Em geral as garagens são construídas em subsolos, o que implica em maiores escavações e contenções em solos.

Neste trabalho são apresentados dois casos de obra de escavações e contenções, onde são discutidos os principais aspectos envolvendo o projeto e execução destes. É relatado também um caso de obra onde ocorreu a ruptura de parte de um talude reforçado com solo grampeado, analisando-se

os fatores que podem ter levado à ruptura e as lições aprendidas.

2 RELATO DE UMA CONTENÇÃO UTILIZANDO LAMELAS COM FUNÇÃO DE CONTRAFORTES E OUTRAS SOLUÇÕES

Para a construção de um empreendimento imobiliário na cidade de Porto Alegre em terreno de grande aclave, foi necessário projetar contenções para escavações da ordem de 8,0 m de altura.

Um dos tipos de contenções de solo mais usadas atualmente são as paredes diafragmas atirantadas,

solução esta que requer geralmente adentrar no subsolo de terrenos vizinhos para a instalação dos elementos de ancoragem.

Por não ter sido obtida a autorização do vizinho para a instalação dos tirantes, foi necessário lançar mão de uma solução não convencional, empregando cortinas de parede diafragma com contrafortes.

Nos itens subsequentes é feita uma descrição geotécnica do local da obra e de questões envolvendo o projeto e execução das soluções adotadas no empreendimento.

2.1 Caracterização da obra

O empreendimento em estudo localiza-se na rua Doutor Mário Totta, 701 em Porto Alegre/RS. A obra consiste de um edifício residencial com cinco pavimentos e dois subsolos além de uma galeria de lojas comerciais anexa.

O terreno de implantação do empreendimento possui um aclave da rua até os fundos, sendo o desnível de aproximadamente 8 m. O volume de material a ser removido pelas escavações é de aproximadamente 9.500 m^3 .

2.2 Investigação geotécnica

No terreno foram executados seis furos de sondagens à percussão. Os resultados mostraram que o solo local é composto por uma primeira camada de argila com areia de granulação variada, com a presença de alguns pedregulhos. A consistência da argila varia de média à dura, e a espessura desta camada varia de 4,70 a 9,10 m. Foram obtidos valores de N_{spt} de 6 a 29.

Sob a argila encontra-se uma camada de alteração de rocha com granulação variada, siltosa e com pedregulhos, predominando a cor amarela variegada, que parte de um $N_{\text{spt}}=28$ e se estende até o impenetrável à percussão encontrado entre 7,90 e 10,20 m de profundidade.

O nível d'água, medido após 24 horas, variou entre 2,50 e 5,60 m de profundidade.

A Figura 1 apresenta o perfil geotécnico do solo na região onde foram executadas as contenções em estudo, localizada no setor B (Figura 1).

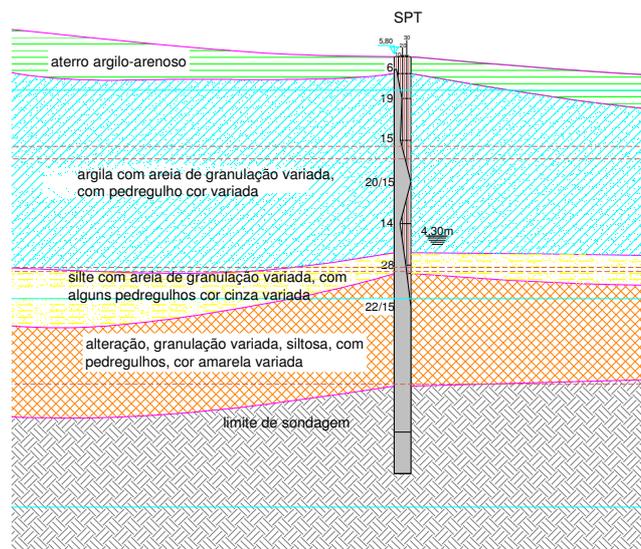


Figura 1: perfil geotécnico do solo no setor B

2.3 Soluções adotadas

Para a implantação do empreendimento apresentado neste estudo, foi realizada uma escavação tendo como base a cota da calçada para o local da galeria de lojas comerciais, e a cota -1,50 m para o subsolo da torre residencial.

As escavações e contenções foram divididas em setores conforme apresentado na Figura 2.

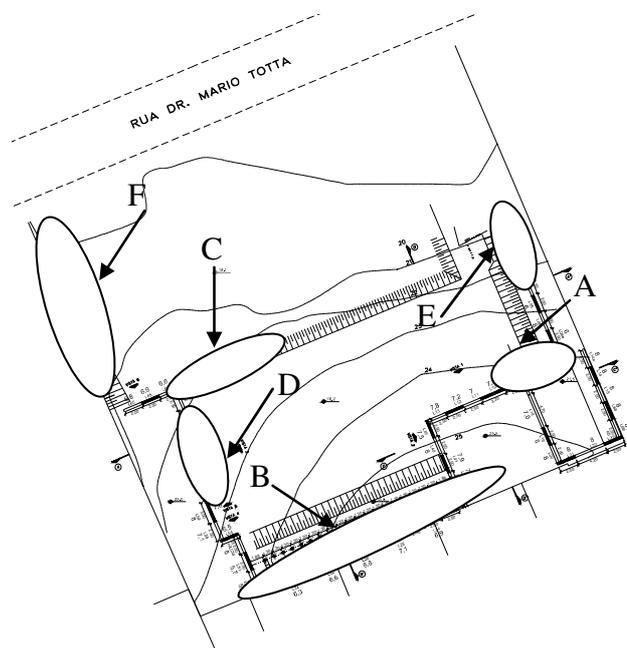


Figura 2: localização dos setores de escavação e contenção

A seguir são apresentadas as soluções para as escavações e contenções adotadas no projeto do empreendimento em estudo.

Bishop com Superfícies Circulares. Para uma seção representativa do talude (Figura 6), os fatores de segurança foram calculados para avaliar a estabilidade global. Foi considerada uma sobrecarga de 20 kPa para levar em conta o efeito da edificação vizinha.

A partir dos resultados das sondagens foi elaborado um modelo geotécnico representativo do solo local. Para isto foram estabelecidos três camadas de solo, cujos parâmetros foram obtidos através de correlações constantes na literatura (JOPPERT, 2007; PENNA, 2001). Assim foram adotados os parâmetros apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: parâmetros geotécnicos das camadas da seções transversais analisadas

Camada	Peso específico		Ângulo de atrito interno efetivo (°)	Coesão efetiva (kPa)
	natural (kN/m ³)	saturado (kN/m ³)		
Argila média com areia e pedregulhos	18	18	15	20
Argila dura com areia e pedregulhos	19	19	20	30
Alteração de granulação variada com pedregulhos	20	20	25	30

Inicialmente foi verificada a estabilidade do talude superior junto à divisa (Figura 7) que forneceu fator de segurança 1,37. De acordo com a norma brasileira de estabilidade taludes NBR 11682 (ABNT, 2009), este valor é insuficiente, o que motivou a construção da contenção para o talude superior.

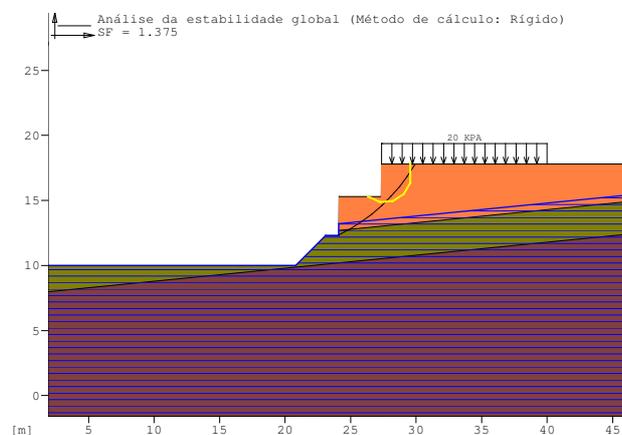


Figura 7: análise de estabilidade do talude superior junto à divisa com superfícies circulares de acordo com o método de Bishop

A estabilidade quanto a uma ruptura global foi também analisada, e na Figura 8 é apresentada a superfície crítica para a seção transversal calculada pelo método de Bishop, que forneceu fator de segurança igual a 2,25.

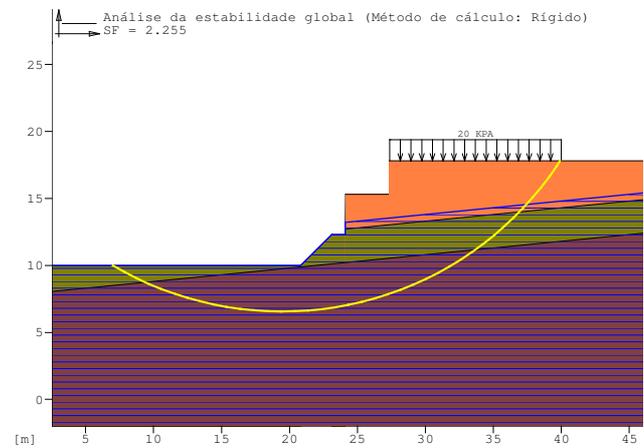


Figura 8: análise de estabilidade global com superfícies circulares de acordo com o método de Bishop

2.3.2 Contenções utilizando estacas raiz com perfil metálico embutido

Em dois trechos do terreno, setores A e B da planta de escavação (Figura 2), constatou-se a presença de rocha numa cota que impedia a utilização desse sistema de contenção originalmente projetado. Optou-se então por uma cortina em perfis metálicos, mas com perfuração por equipamento de estacas raiz, que também são executadas antes escavação do terreno. Após a perfuração, foram embutidos perfis W200x71, seguido pela injeção de argamassa.

A Figura 9 ilustra uma configuração típica para a solução adotada.

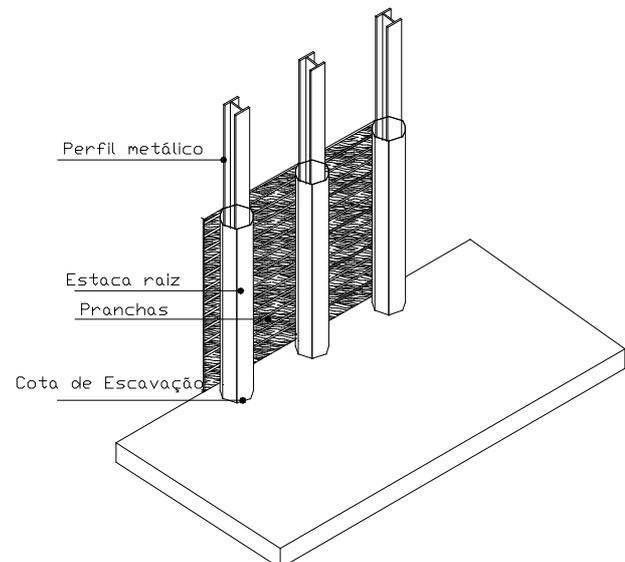


Figura 9: detalhe da execução da cortina de contenção.

Nesse sistema a execução da cortina é feita após a escavação do terreno sendo necessário proteger o corte contra eventuais quedas e desmoronamentos com o uso de pranchas de madeira entre os perfis.

Porém quando o terreno se mostra estável e seco e pode-se contar com segurança que a montagem das formas e armaduras se dará com rapidez, é possível não executar o pranchamento, realizando a concretagem diretamente contra o terreno. Tal é, por exemplo, a situação ocorrida no trecho mostrado pela Figura 10. A sondagem indicava um terreno estável, mas a decisão de suprimir o pranchamento é tomada durante a execução.



Figura 10: execução da contenção no setor A

A Figura 11 apresenta esquematicamente a contenção com perfis metálicos e pranchamento.

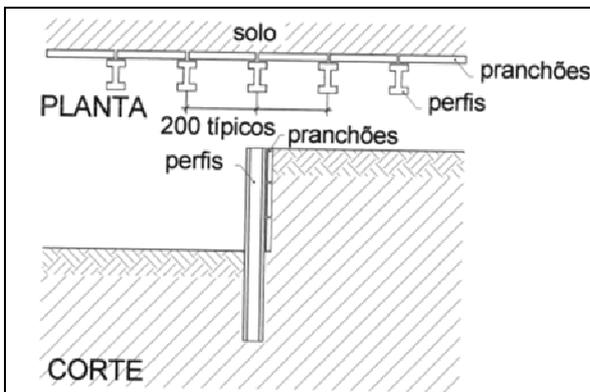


Figura 11: representação esquemática em planta e corte da contenção com perfis metálicos e pranchamento

Situação semelhante ocorre quando temos pequenos trechos de panos de concretagem. Repare que essa solução só pode ser empregada, e o foi neste caso, em terrenos estáveis que permitam corte a prumo, dentro é claro de uma altura limite.

No caso desta obra as alturas foram estudadas e avaliadas com inspeções ao local da escavação.

As imagens da Figura 12 mostram a sistemática adotada de concretagem por pequenos panos em módulos horizontais e verticais.



Figura 12: concretagem das contenções em módulos horizontais e verticais (setor B)

A estabilidade das escavações sem a necessidade de contenção foi avaliada para taludes cortados a prumo com até 3 metros de altura. Foi empregado o método de Culmann para análise de taludes finitos com superfície de ruptura plana (BRAJA, 2007; GERSCOVICH, 2012). Esta metodologia tem como base a hipótese de que a ruptura de um talude ocorre ao longo de um plano quando a tensão de cisalhamento que tende a causar o deslizamento é maior que a resistência ao cisalhamento do solo. Além disso, o plano mais crítico é aquele que tem uma relação mínima entre a tensão média de cisalhamento que tende a causar a ruptura e a resistência ao cisalhamento do solo.

A altura máxima do talude para o qual o equilíbrio crítico ocorre é:

$$H_{cr} = \frac{4c'}{\gamma} \left[\frac{\text{sen}\beta \cdot \cos\phi'}{1 - \cos(\beta - \phi')} \right] \quad (1)$$

onde:

H_{cr} : altura crítica até a qual a talude é estável;

c' : coesão efetiva do solo;

γ : peso específico do solo no estado natural;

β : inclinação da face do talude em relação à horizontal;

ϕ' : ângulo de atrito interno efetivo do solo.

Assim adotou-se:

$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ (peso específico natural);

$\phi' = 15^\circ$ (ângulo de atrito interno efetivo);

$\beta = 90^\circ$ (talude na vertical);

$c' = 20 \text{ kPa}$ (coesão efetiva).

Com os parâmetros adotados, obtém-se $H_{cr} = 5,78 \text{ m}$. Com essa altura crítica calculada descobre-se o fator de segurança do talude, que é:

$$FS = \frac{H_{cr}}{H} = \frac{5,78}{3} = 1,92 \quad (2)$$

onde:

H_{cr} : altura crítica calculada para o talude;

H: altura do talude existente.

Como o fator de segurança obtido foi maior do que 1,5 adotamos essa altura de corte como aceitável para a obra.



Figura 13: talude do setor C

2.3.3 Escavação em taludes

Também ocorreram outros trechos onde o sistema de contenção (paredes diafragmas) não conseguiu atingir a cota de implantação da obra devido à presença de camada impenetrável. Nestas situações deixou-se um talude (ou berma) de equilíbrio, que tem a função de contrapeso ao empuxo atuante. Esse maciço de terra é estável pela sua geometria e exerce um importante fator de segurança para a obra. Sua remoção se dá após a execução da laje do subsolo.

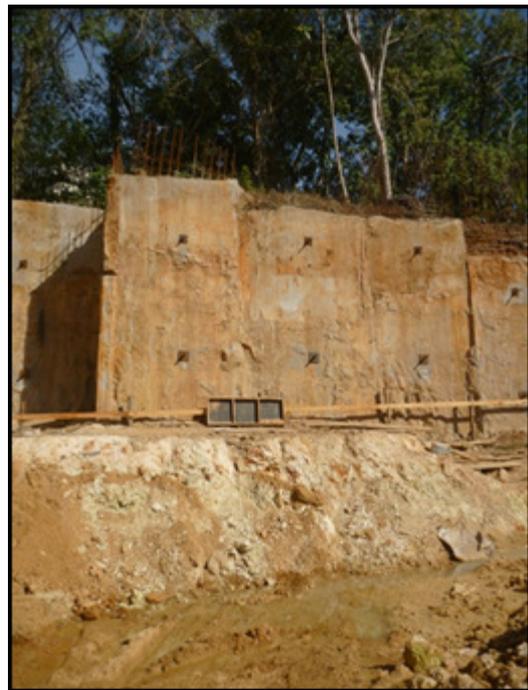


Figura 14: parede diafragma com berma de equilíbrio (setor D)

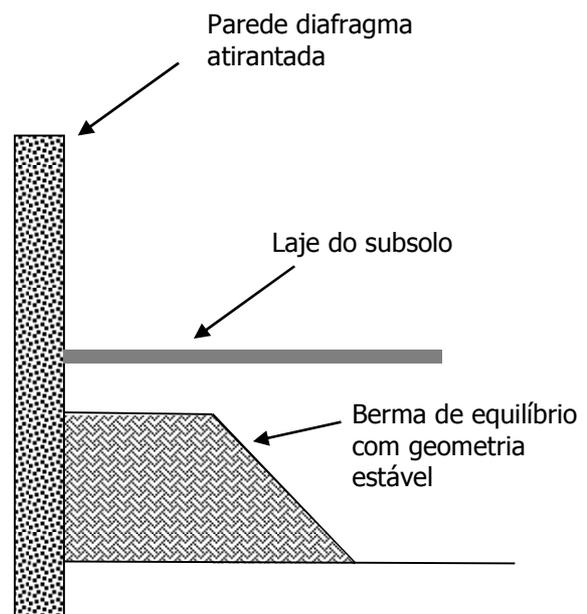


Figura 15: representação esquemática da solução em parede diafragma com berma de equilíbrio (setor D)

2.3.4 Escavação de pequena altura

Taludes de pequenas alturas em solos bastante coesivos (como é o caso desta obra) são estáveis mesmo a prumo, conforme pode ser observado na foto.



Figura 16: escavações de taludes de pequena altura (setor E)

2.3.5 Escavação aparente

A Figura 17 ilustra uma situação onde aparentemente temos uma grande escavação (área à direita da linha tracejada), contudo o desnível de fato em relação ao vizinho é pequeno, sendo apenas a altura compreendida abaixo da linha pontilhada horizontal.



Figura 17: escavação aparente (setor F)

Porém o mesmo não ocorre na faixa à esquerda da foto (Figura 17) onde medidas de contenção devem ser tomadas.

2.3.6 Escavação de risco

Para a situação apresentada no item 2.3.5 a medida imediata a ser tomada é o escoramento do talude com pranchas de madeira travadas com pontaltes ancorados no terreno conforme detalhe da Figura 18.

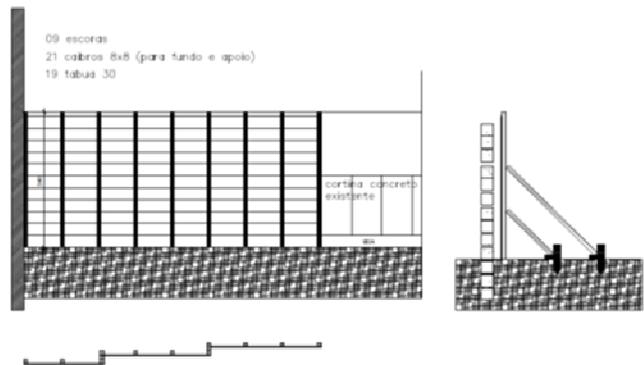


Figura 18: escoramento do talude com pranchas de madeira

2.4 Considerações finais

A solução empregando paredes diafragmas (lamelas) com função de contrafortes, adotada como alternativa devido a impossibilidade do uso de tirantes, se mostrou satisfatória do ponto de vista de estabilidade global e de deformações.

Este método constituiu uma vantagem executiva permitindo a construção da contenção antes da escavação total do terreno, diferentemente das contenções usuais empregando contrafortes.

3 CONTENÇÃO EMPREGANDO SOLO GRAMPEADO

O solo grampeado é uma técnica de estabilização de taludes onde são empregados grampos para ancoragem passiva em um maciço de solo. A técnica consiste na instalação de elementos resistentes à flexão composta, chamados de grampos que são em geral barras de aço que tem a função de introduzir esforços resistentes de tração e cisalhamento.

A seguir é apresentado um caso de obra onde o solo grampeado foi utilizado para contenção de um talude. Serão comentados os principais critérios considerados no projeto, bem como recomendações e detalhes executivos.

3.1 Caracterização da obra

O projeto de implantação de um condomínio residencial na cidade de Porto Alegre, RS, previa cortes em solo de cerca de 7 m de altura em um terreno em aclave.

A seguir é apresentada uma descrição do solo local e dos principais aspectos envolvendo o projeto e execução das contenções adotadas no empreendimento.

3.2 Investigação geotécnica

Foram realizados ensaios de reconhecimento com sondagens à percussão em três pontos do terreno. Os resultados indicaram a presença de uma camada superficial com espessura variando de 0,8 a 2,5 m composta por aterro argilo-arenoso variado.

Abaixo desta, encontra-se uma camada de argila com areia de granulação variada, com pedregulhos de cor amarela variada. A consistência varia de média à rija, e a espessura de 3 a 5 m.

Sob a argila, há uma camada de alteração muito compacta de granulação variada, siltosa de cor rosa variada, que se estende até o limite da sondagem entre 7 e 12 m. O nível d'água, medido após 24 horas, variou de 1,50 e 2,20 m de profundidade. A Figura 19 apresenta o resultado de uma das sondagens no local onde foi executada a contenção.

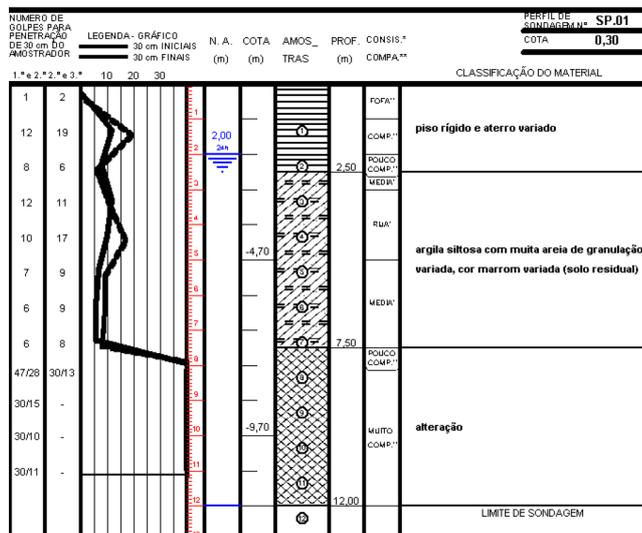


Figura 19: perfil de sondagem SPT no local

O modelo geotécnico empregado nas análises de projeto foi elaborado com base nos resultados das sondagens, a partir dos quais foram definidas duas camadas de solo. Os parâmetros de resistência destas são apresentados na Tabela 2, e foram obtidos através de correlações constantes na literatura especializada (JOPPERT, 2007; PENNA, 2001).

Tabela 2: parâmetros das camadas do modelo geotécnico do solo local

Camada	Peso específico		Ângulo de atrito interno efetivo (°)	Coesão efetiva (kPa)
	natural (kN/m ³)	saturado (kN/m ³)		
Argila	18	19	19	35
Alteração	21	21	28	40

3.3 Soluções adotadas

Inicialmente a estabilidade do talude foi analisada através do programa computacional Macstars 2000 – Rel. 2.2, empregando o método de Bishop com Superfícies Circulares para uma seção representativa. O estudo mostrou que os menores fatores de segurança para o talude estavam associados a uma eventual ruptura localizada, para a qual se obteve o valor de 1,39 (Figura 20), inferior ao mínimo de 1,50 recomendado pela NBR 11682 (ABNT, 2009).

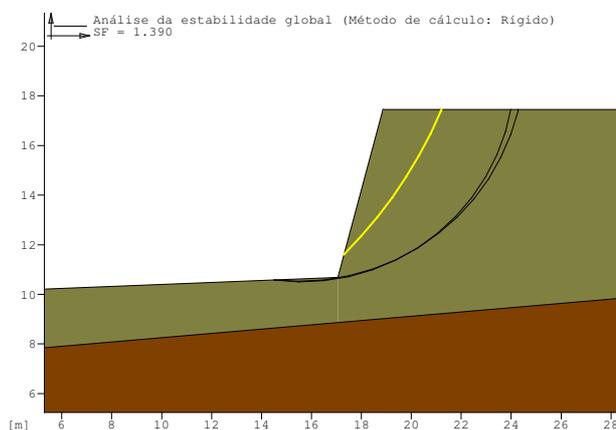


Figura 20: análise de estabilidade global com superfícies circulares de acordo com o método de Bishop

Embora o maciço não indicasse problemas de estabilidade global, era necessária uma medida para proteção contra erosão e rupturas parciais do talude. A solução em solo grampeado mostrou-se mais vantajosa do ponto de vista econômico em comparação com a alternativa em cortina atirantada convencional, uma vez que a escavação já havia sido realizada. A solução em muros de gabiões também foi aventada, mas não se dispunha de espaço dentro da concepção urbanística do loteamento.

O projeto de solo grampeado foi desenvolvido para a contenção de um corte de solo com aproximadamente 7 m de altura que se estendia por 65 m de comprimento. Para a ancoragem passiva da massa de solo, foram utilizados grampos com espaçamento horizontal de 1,0 m em três níveis do talude. As novas simulações considerando o emprego do sistema de solo grampeado apresentaram fator de segurança 1,64, passando a atender as recomendações da Norma Brasileira.

A Figura 21 apresenta uma imagem do local onde foi utilizada a técnica do solo grampeado para a estabilização do talude.



Figura 21: talude onde foi empregada a técnica do solo grampeado

A primeira linha de grampos localizava-se a 1,5 m do topo do talude, a segunda a 1,87 m desta, e a terceira localizava-se a 1,5 m da base. Na Figura 22 pode ser observada a distribuição dos grampos em um trecho típico da contenção.

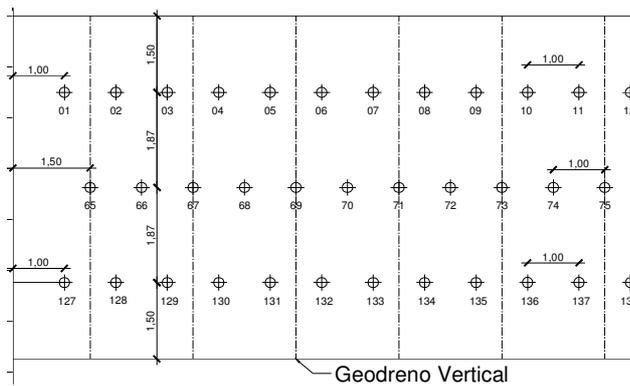


Figura 22: espaçamento entre grampos

Como material dos grampos foram usados vergalhões de aço CA-50 com 20 mm de diâmetro, com comprimento total de 6,20 m, sendo que 0,20 m correspondem à dobra para ancoragem no paramento (Figura 25).

Normalmente a técnica do solo grampeado é aplicada através de sucessivas sequências de escavação, instalação dos grampos e execução do paramento, conforme ilustrado pela Figura 23. Entretanto, quando o projeto foi definido, a escavação já havia sido realizada, assim os grampos e o concreto projetado foram executados com o auxílio de plataformas elevatórias (PTA) e andaimes. A inclinação média do talude após o corte era de aproximadamente 75° com a horizontal.

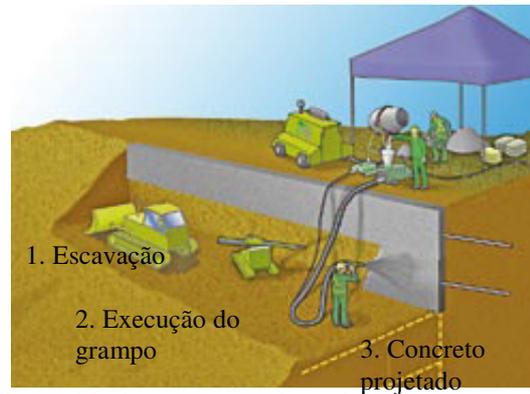


Figura 23: fases construtivas do solo grampeado (Solotrat, 2011)

Na Figura 24 podem ser observados os grampos e a tela metálica do paramento após instalação.



Figura 24: grampos e tela metálica do paramento

Os grampos eram inseridos após a perfuração do solo, realizada com ferramenta de 1,5" de diâmetro e inclinação sub-horizontal de 10° (Figura 25).

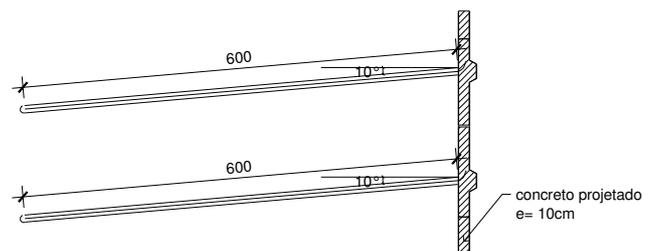


Figura 25: comprimento e inclinação dos grampos

Para garantir um adequado recobrimento com a calda de cimento, recomenda-se o uso de espaçadores (centralizadores) a cada 2 m, conferindo assim ao aço dos grampos uma maior proteção contra corrosão (Figura 26).

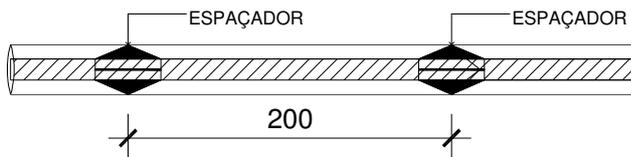


Figura 26: detalhe dos espaçadores

A calda de cimento para injeção deve ter $f_{ck} \geq 25$ MPa e fator água cimento máximo igual a 0,6. A injeção deve ser realizada pelo método ascendente, ou seja, do fundo do furo para a extremidade superior (boca) com utilização de mangueira ou tubo de injeção, com o objetivo de preencher o furo uniformemente evitando vazios.

Após a colocação dos grampos, era posicionada uma malha de reforço na área junto à dobra de ancoragem dos grampos (Figura 27). Esta malha adicional tem a finalidade de aumentar a ancoragem dos grampos na armação sobre a face do talude, evitando que os grampos se desprendam do paramento.

Para promover a drenagem das águas que chegam ao paramento foram previstos drenos pontuais (barbacãs), conforme detalhe da Figura 27.

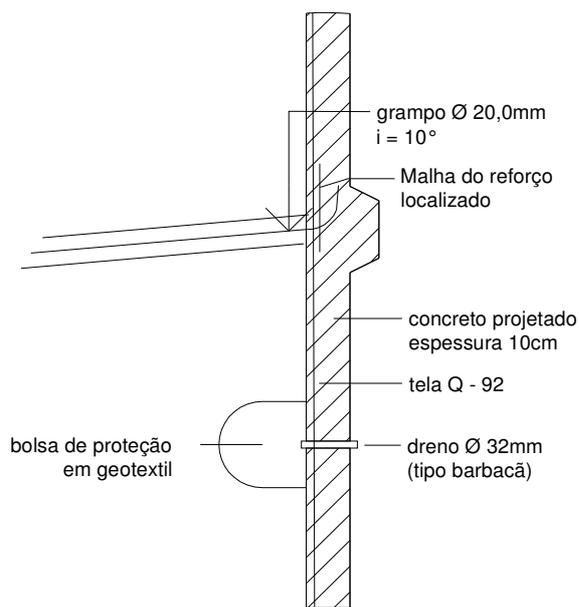


Figura 27: detalhe da cabeça dos grampos e paramento de concreto

Para sua instalação do sistema de drenos pontuais é escavada uma cavidade no talude, junto à face onde será construído o paramento, de aproximadamente 20 x 20 x 20 cm, preenchendo esta com material arenoso. Para escoar a água do dreno pontual foi usado um tubo de PVC com 32 mm de diâmetro. Para evitar a colmatação do sistema de drenagem, a cavidade é envolta com geotêxtil. Na Figura 28 é mostrado o sistema de drenos pontuais após execução.



Figura 28: sistema de drenos pontuais (barbacãs)

Em seguida era feita a instalação da tela que serve de armação para o paramento de concreto projetado (Figura 24). Foi empregada tela metálica do tipo Q-92, sobrepondo 30 cm entre peças adjacentes. A colocação da tela de aço sobre o terreno deve ser feita com auxílio de pastilhas a fim de garantir o cobrimento necessário. A Figura 29 mostra uma imagem do talude antes de receber o concreto projetado do paramento.



Figura 29: talude antes da execução do paramento

Depois da instalação da tela, é feita então a execução do paramento. Deve ser utilizado concreto projetado com $f_{ck} \geq 25$ MPa, conforme recomendações da NBR 14026 (ABNT, 2012) que define este material como um concreto com dimensão máxima característica do agregado maior ou igual a 9,5 mm, transportado através de uma tubulação, projetado sob pressão sobre uma superfície, com compactação simultânea. A Figura 30 apresenta uma imagem do talude após a aplicação do concreto projetado, concluindo assim o sistema de estabilização empregando a técnica de solo grampeado.



Figura 30: talude após a execução do paramento de concreto projetado

4 UM CASO DE INSUCESSO

Casos de insucesso de projetos devem ser detalhadamente analisados para que se possa tirar o máximo proveito destas experiências. Episódios de falhas em obras podem nos dar os subsídios necessários para que erros não sejam repetidos no futuro e que novos conhecimentos sejam gerados.

A seguir é apresentado um caso de obra onde ocorreu a ruptura parcial de um talude com solo grampeado. São discutidos alguns aspectos sobre fatores que podem ter causado o sinistro.

A Figura 31 apresenta uma imagem durante a construção do trecho do talude onde ocorreu a ruptura.



Figura 31: solo grampeado no trecho do talude onde ocorreu a ruptura

Análises posteriores constataram a presença de um solo de aterro arenoso em parte do talude, o qual não havia sido identificado pelas sondagens. Desta forma a avaliação geotécnica do solo não foi feita da maneira correta, devido ao fato de as sondagens terem sido realizadas em uma região não representativa do local.

A presença de solo não coesivo na camada superficial gera esforços sobre o paramento, o qual pela própria técnica executiva não tem competência para absorvê-los.

O conhecimento de todas as tubulações enterradas na área onde será executada a contenção é fundamental no momento da elaboração do projeto. No caso referido, após a ruptura do talude (Figura 32) foram encontradas tubulações não cadastradas anteriormente.



Figura 32: trecho rompido do talude

A ruptura do talude observada neste caso foi do tipo localizada, se dando próxima ao paramento, conforme apresentado esquematicamente na Figura 33.

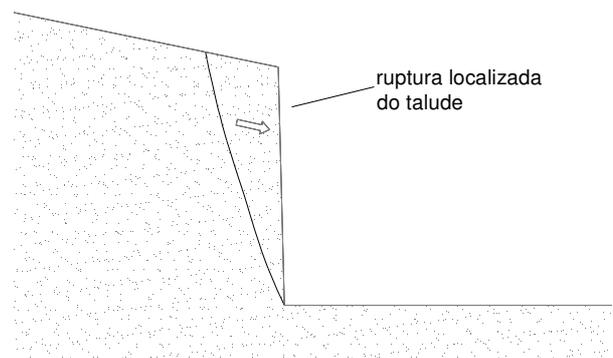


Figura 33: ruptura localizada do talude

Após a ruptura da contenção foi observado que os grampos permaneceram imóveis tendo ocorrido um “puncionamento” da placa de concreto projetado, conforme detalhe da Figura 34.



Figura 34: grampo que se desprendeu do paramento

O problema do “puncionamento” pode ser evitado aumentando a área de contato da tela com os elementos ancorados (grampos). Para isto a armadura deve ser reforçada na região junto à

cabeça dos grampos e podem ser adicionadas grelhas ou barras de transferência horizontais unindo vários grampos de uma mesma linha para que estes trabalhem solidariamente diante das pressões de solo sobre o paramento.

O conjunto de fatores citados provavelmente tenha levado à ruptura de parte do talude, e servirão de aprendizado para que novas falhas sejam evitadas.

4.1 Considerações finais

A solução em Solo Grampeado está consagrada como uma alternativa econômica e eficaz, porém requer um adequado conhecimento dos fenômenos geotécnicos envolvidos além de alguns cuidados construtivos. Esta metodologia, ainda que eficaz, não pode ser encarada como mera substituição da cortina atirantada ou de outra proposição. A literatura especializada tem relatado casos de sucesso em cortes altos acima de 15 m. Gostaríamos de chamar atenção apenas para o fato de que o paramento de concreto projetado não possui função predominantemente resistente (como é o caso das cortinas atirantadas) sendo, portanto muito importante avaliar os esforços atuantes sobre este e a possibilidade de ocorrerem rupturas localizadas, geralmente mais importantes que a ruptura global.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682: estabilidade de encostas. ABNT, Rio de Janeiro, 2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14026: concreto projeto - especificação. ABNT, Rio de Janeiro, 2012.
- Braja, M. D. Fundamentos de engenharia geotécnica. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- Gerscovich, D. M. Estabilidade de taludes. São Paulo: Oficina de textos, 2012.
- Joppert Jr., I. Fundações e contenções de edifícios. São Paulo: PINI, 2007.
- Lambe, T. W.; Whitman, R. V. Soil mechanics. John Wiley e Sons, 1969.
- Ortigão, J. A. R. Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos. Editora LTC, 1993.
- Ortigão, J. A. R.; Zirlis, A.; Palmeira, E. M. (1993) Experiência com solo grampeado no Brasil: 1970-1993. Solos e Rochas, 16 (4): 291-304
- Penna, A. S. D. Apostila de Fundações I – Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie, 2001.
- Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro. Manual técnico de encostas – Ancoragens e grampos. Rio de Janeiro: GEO-RIO, 2000.
- Solotrat. Manual de serviços geotécnicos. São Paulo: Solotrat, 2011.