

## O USO DE SOLOS GRAMPEADOS PARA A ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

**Roberto Vicente Silva de Abreu<sup>1</sup>, Lidiane Hott de Fúcio Borges<sup>2</sup>, Hellen Cristine Prata de Oliveira<sup>3</sup>, Fernando Simon Plaz<sup>4</sup>, João Pedro Ávila<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Civil, Florida Insitute of Technology, rsilvadeabre2014@my.fit.edu

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais, FACIG, lidianehott@facig.edu.br

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia e Ciências dos Materiais, UFOP, hcprata@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Mestrando em Engenharia Civil, Florida Insitute of Technology, fplaz2016@my.fit.edu

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Civil, Florida Insitute of Technology, joaopavila2@gmail.com

**Resumo-** A tecnologia conhecida como grampeamento de solos tem como função a estabilização de taludes e possui diversas vantagens se comparada com outros tipos de metodologias de contenção de solos. A presente pesquisa teve como objetivos a busca por informações relacionadas aos cálculos, vantagens e limitações da técnica de grampeamento de solos. A metodologia usada teve como coleta de dados o tipo revisão bibliográfica. Como resultados observados, pode-se destacar que as vantagens principais do uso de solos grampeados é a facilidade de adequação aos ambientes com espaço limitado pelo fato de os equipamentos serem pequenos, o baixo custo e a flexibilidade perante as outras técnicas. Entretanto, em alguns tipos de solos e situações peculiares de níveis do lençol freático, o grampeamento de solos não é adequado.

**Palavras-chave:** Grampeamento de solos; Taludes; Estabilização.

**Área do Conhecimento:** Engenharias.

### 1 INTRODUÇÃO

O grampeamento de solos é uma maneira prática de estabilizar taludes e, de acordo com Bruce e Jewell (1986), esta técnica provou ser muito eficaz. O processo consiste em introduzir grampos no maciço de solo, sendo que as barras de aço são o tipo grampo mais utilizado. Para receber o reforço, o solo precisa ter algum tipo de estabilização que possa ser feita por concreto jateado. Este processo forma uma zona de resistência homogênea que pode ser comparada ao muro de contenção por gravidade (BRUCE e JEWELL, 1986).

Um método chamado "*New Austrian Tunneling Method*", descrito por Rabcewicz (1965) é conhecido como o primeiro tipo de construção por solos grampeados (LAZARTE, 2015). Rabejac e Toudic (1974) afirmam que em 1972 os engenheiros de um projeto de trilhos com alta inclinação em Versalhes, na França, utilizaram o grampeamento para estabilizar o solo arenoso local. De acordo com Bryne et al. (1998), o primeiro uso de grampeamento de solos no Estados Unidos foi em um hospital em Portland, Oregon, em 1976, onde este método contribuiu para uma escavação de aproximadamente 14 m de profundidade, reduzindo o tempo de trabalho pela metade e os custos em 15%.

Além disso, de acordo com Lazarte et al. (2015), a tecnologia de grampos no solo pode contribuir em muitos aspectos para a estabilização do mesmo. Por exemplo, pode ajudar a transferir as cargas de tração para os grampos pelo esforço de cisalhamento. De tal modo, esses esforços são distribuídos para as barras de aço e o solo permanece estável.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica sobre o grampeamento de solos em relação às aplicações e ao projeto dos tirantes. Além disso, as vantagens e limitações do uso dessa tecnologia serão apresentadas para mostrar em quais situações e condições do solo essa técnica é favorável do modo executivo e financeiro.

### 2 METODOLOGIA

De acordo com Gil (1999), uma pesquisa é tida como descritiva quando a finalidade da mesma se relacione com a descrição das características e peculiaridades de uma população ou fenômeno. Uma vez que a presente pesquisa busca explicitar as vantagens e limitações do modelo de contenção de solos chamado de grampeamento de solos, ela pode ser classificada como descritiva.

A natureza desta pesquisa apresenta uma abordagem qualitativa, uma vez que o significado do fenômeno é mais importante do que os valores numéricos (GIL, 1999). Além disso, a coleta de dados foi do tipo revisão bibliográfica. De acordo com Vergara (2000), uma revisão de literatura é conhecida como um tipo de pesquisa que envolve o uso de artigos e materiais já publicados e o objetivo deste tipo de coleta de dados é obter informações básicas que podem ser usadas como base para outros artigos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Solos Grampeados

Os sistemas de contenção conhecidos como grampeamento de solos são tipicamente compostos por tirantes, argamassa do tipo graute e proteção contra corrosão, e uma das partes essenciais do processo é o revestimento da face do talude (LAZARTE et al., 2015). Os detalhes dos itens e equipamentos componentes dos solos grampeados podem ser observados na Figura 1.

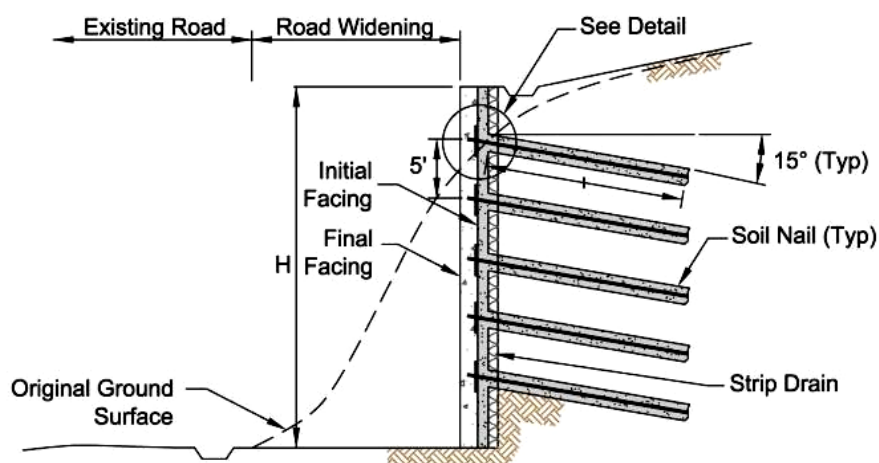
Os grampos, barras cilíndricas que servem de reforço para os solos, são colocados na massa do solo atrás da face de revestimento para ajudar a estabilizar o solo. Eles geralmente são feitos de barras de aço e podem apresentar seções sólidas ou vazadas. A função dos grampos é agir na absorção das tensões laterais advindas do solo (LAZARTE et al., 2015). Segundo Ortigão (1997), para que os grampos possam apresentar maior resistência e desempenho mecânico ao cisalhamento, é importante que se faça a limpeza do furo que receberá o grampo, usar fator água/cimento adequado na argamassa usada para a ancoragem das barras, utilizar corretamente os aditivos expensor de calda de cimento e o acelerador de pega para que se reduza a retração e que se tenha maior resistência em menor tempo.

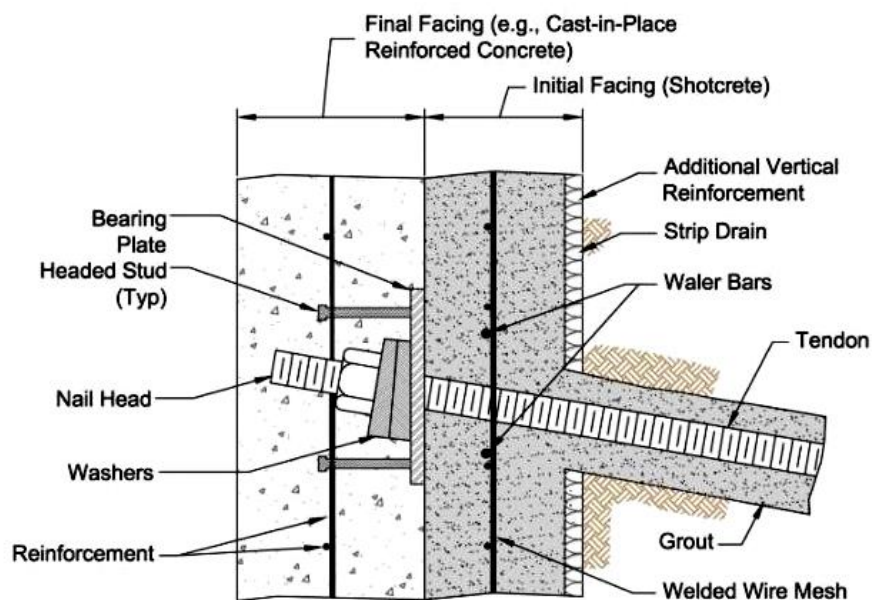
A argamassa utilizada neste tipo de construção geralmente é de cimento Portland. As funções deste componente são a transferência de tensão de cisalhamento entre a argamassa e os tirantes, a transferência de tensões de tração do solo para os tirantes e a proteção contra corrosão das barras de aço (LAZARTE et al., 2015).

Para evitar que o processo de corrosão afete os grampos e haja perda na seção transversal das barras de aço, a proteção contra corrosão deve ser utilizada. Em geral, se for adicionada uma bainha protetora e *grouting* nas barras, o sistema estará protegido contra o processo corrosivo. Outras formas de fazer esta proteção contra corrosão é usando revestimento de fusão, revestimento epóxi ou galvanização (LAZARTE et al., 2015).

O revestimento da face é um passo importante para o grampeamento de solos, uma vez que sua função está relacionada à estabilização da massa do solo antes e depois da inserção dos grampos. Geralmente feito de concreto armado, o revestimento inicial é confeccionado logo após a escavação e sua função está relacionada ao fornecimento de estabilidade e proteção temporária. Consequentemente, os grampos podem ser colocados no solo sem muitos acidentes relacionados ao deslizamento de terra. Por outro lado, o revestimento final é colocado sobre o revestimento inicial para proporcionar continuidade estrutural da construção. O revestimento final é geralmente feito de concreto armado e concreto projetado ou painéis de concreto pré-moldado (LAZARTE et al., 2015).

Figura 1 - Detalhes da seção transversal típica do grampeamento de solos.





Fonte: LAZARTE et al., 2015.

Como pode ser visto na Figura 1, a inclinação dos tirantes é tipicamente 15º e o espaçamento entre duas barras consecutivas é de aproximadamente 1,5 m (5 pés). Além disso, existem dois tipos de revestimento na construção, o inicial e o final, em que cada um deles tem propósitos e funções diferentes como explicado anteriormente.

### 3.2 Sequência de construção

Na Tabela 1 é apresentada uma sequência de construção proposta por Lazarte et al. (2015).

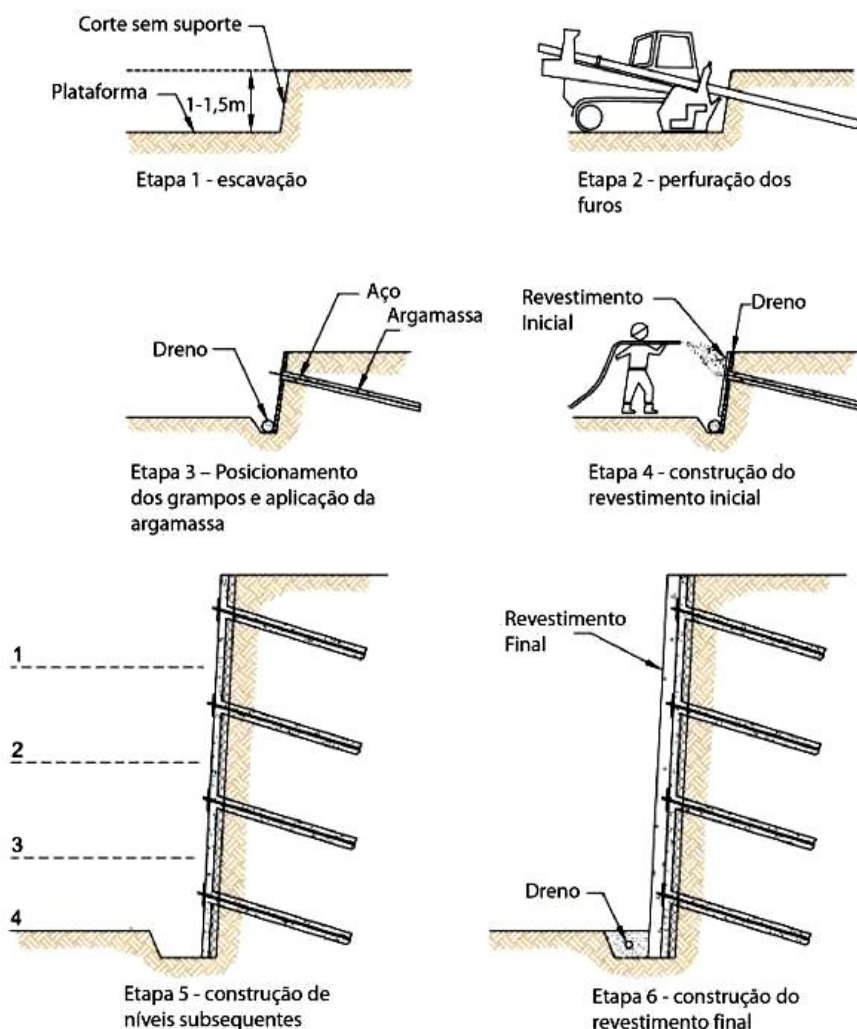
Tabela 1 - Etapas de execução do grampeamento de solos (Modificado de Lazarte et al., 2015).

| Sequência                                                     | Atividade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Etapa 1 - escavação                                           | O corte inicial não suportado geralmente varia de 1 m a 1.5 m, onde a primeira linha de grampos será colocada. Este passo é crítico uma vez que não há suporte para a massa do solo e a profundidade máxima a ser escavada pode variar de acordo com o tipo de solo.                                                                     |
| Etapa 2 - perfuração dos furos                                | Requer equipamento especializado e geralmente os furos permanecem sem suporte.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Etapa 3 – Posicionamento dos grampos e aplicação da argamassa | As barras de aço são colocadas nos orifícios perfurados e, em seguida, a argamassa é inserida com baixa pressão (menos de 5 ou 10 libras/pé quadrado). Os drenos de tiragem são colocados entre grampos adjacentes.                                                                                                                      |
| Etapa 4 - construção do revestimento inicial                  | O revestimento inicial deve ser colocado sobre a superfície do solo antes do próximo nível ser escavado. O reforço especial é colocado em torno das cabeças dos grampos para resistir à flexão. O próximo nível pode ser feito 3 dias após o primeiro, uma vez que tem que atingir um certo valor de força antes de construir o próximo. |
| Etapa 5 - construção de níveis subsequentes                   | Repita os passos 1 a 4 para o próximo nível.                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Etapa 6 - construção do revestimento final                    | Depois que todos os níveis forem feitos e a escavação chega ao fundo, o revestimento final pode ser construído.                                                                                                                                                                                                                          |

Fonte: Adaptado de LAZARTE et al., 2015.

A sequência é composta por 6 etapas, escavação, perfuração de furos, instalação das barras e da argamassa, construção de revestimento inicial, construção de níveis subsequentes e construção do revestimento final, respectivamente. Pelos dados da Tabela 1 e pela análise da Figura 2, constata-se que as etapas são conectadas de uma maneira que a etapa seguinte não pode ser iniciada antes da conclusão da atual. Além do mais, o talude é dividido em camadas a serem reforçadas porque se o grampeamento for executado em toda a altura de solo, na etapa da escavação, podem ocorrer desmoronamentos e diversos prejuízos poderiam ser observados (LAZARTE et al., 2015).

Figura 2 - Etapas da construção do solo grampeado.



Fonte: Adaptado de LAZARTE et al., 2015.

### 3.3 Projeto

Como explicitado anteriormente, o talude gera, em diversos casos, tensões de cisalhamento e isso é o fator causador dos deslizamentos. Em solos grampeados, essas tensões são convertidas pelos grampos em tensões axiais e momentos fletores, mas a incidência da tração e compressão é mais observada. Essa tensão axial pode ser obtida por meio de um teste chamado *pullout test*, no qual testa-se a resistência ao arrancamento da barra de aço por meio de um dispositivo que mede a deflexão causada pelo macaco hidráulico que é acoplado à cabeça do grampo (LIMA, 2007). Este parâmetro é muito importante porque descreve a resistência da interface entre o solo e o grampo. Para projetar seção transversal da barra de aço que pode ser usada com segurança no solo, a força de tração máxima ( $T_{max}$ ) deve ser conhecida e, de acordo com Teixeira (2011), pode ser obtida pela Equação 1 e os gráficos na Figura 3 e Figura 4:

$$T_{max} = \pi \cdot D \cdot L_a \cdot q_s \quad (1)$$

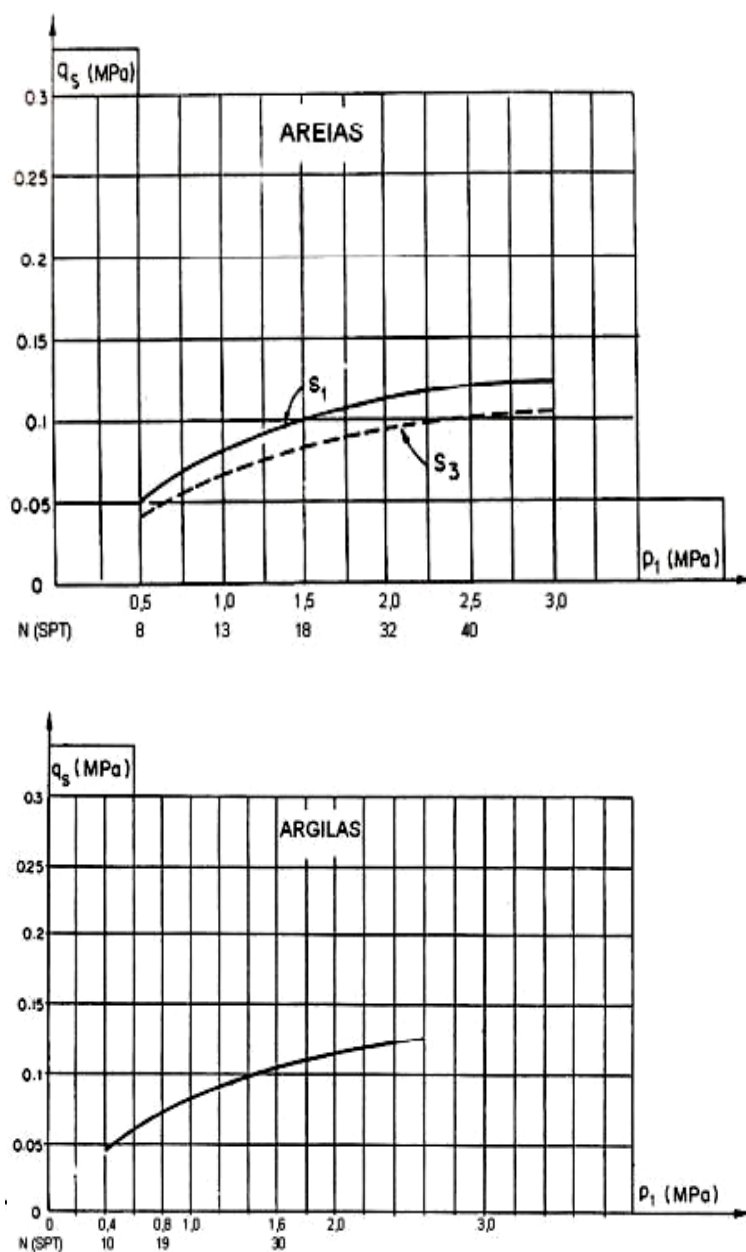
Onde:

$T_{\max}$ : força de tração máxima no grampo; D: Diâmetro do furo;

$L_a$ : comprimento da barra ancorada após a superfície de ruptura (FEIJÓ, 2007, recomendado como valor típico para  $L_a$  3 m);

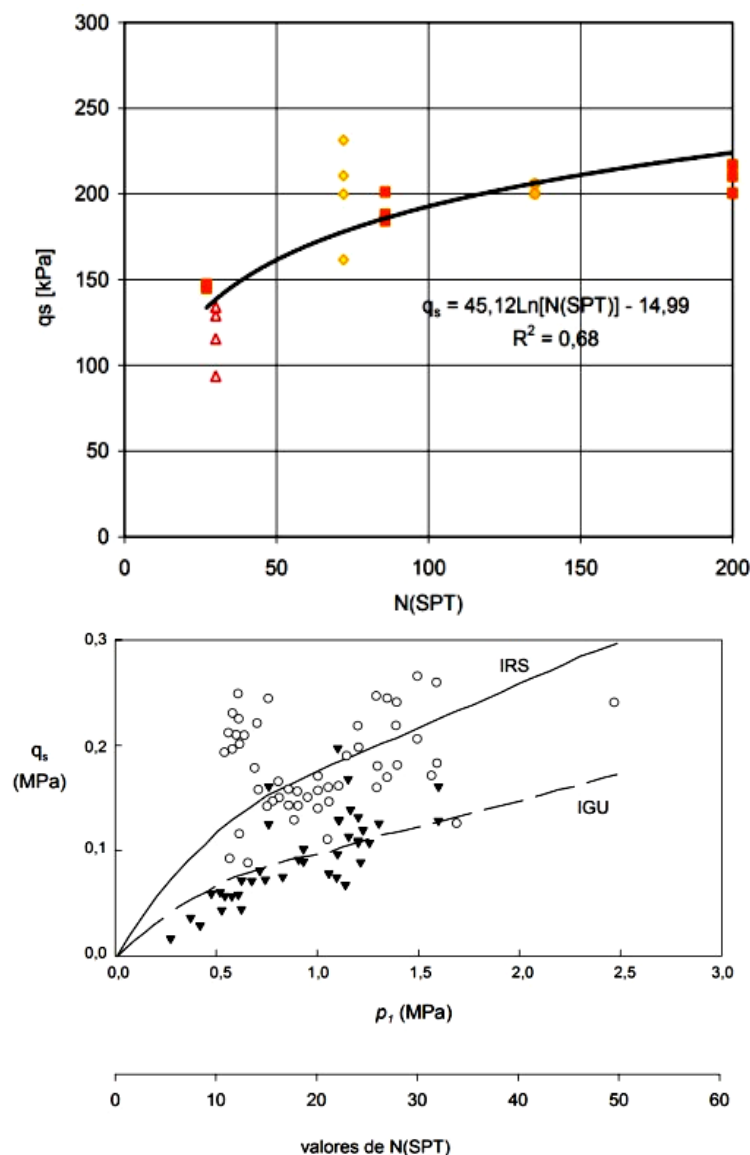
$q_s$ : coeficiente unitário de atrito.

Figura 3 - Coeficiente unitário de atrito ( $q_s$ ) para areias e argilas, respectivamente.



Fonte: Lima (2007) adaptado de Clouterre (1991).

Figura 4 - Coeficiente unitário de atrito ( $q_s$ ) com base em Springer (2006) e Bustamante e Doix (1985). (O IRS é usado para uma injeção de concreto de ancoragem e IGU para injeções múltiplas).



Fonte: Springer (2006) e Bustamante e Doix (1985).

Como pode ser visto, o coeficiente  $q_s$  pode ser obtido de diversas maneiras. Cada tipo de solos e condições do ambiente influencia no valor do coeficiente unitário de atrito. Os outros valores da Equação 1, comprimento e diâmetro das barras podem ser adotados e calculados de acordo com a preferência do projetista e da disponibilidade de materiais para a execução do grampeamento (LIMA, 2007).

### 3.4 Aplicações práticas

De acordo com Lazarte et al. (2015), algumas das aplicações da técnica de solos grampeados são cortes de estradas, alargamento de estradas sob pilares de pontes existentes, portais de túneis, reparação e reconstrução de estruturas de retenção existentes. Muitos deles têm vantagens semelhantes, por exemplo, o espaço limitado para a realização do trabalho e assim, como a técnica de grampeamento utiliza equipamentos pequenos, o espaço reduzido não é uma limitação para que o grampeamento seja realizado. No entanto, em alguns projetos, como os de túneis, cuidados especiais devem ser tomados uma vez que tensões extras devem ser consideradas, por exemplo, as tensões verticais da parte superior do túnel.

### 3.5 Vantagens e limitações

Existem diversas vantagens relacionadas ao uso do sistema de contenção de taludes por meio do grampeamento e elas podem ser relacionadas ao custo, equipamentos, velocidade de execução, adaptação ao ambiente, flexibilidade e possibilidade de associação de diferentes sistemas. Inicialmente, em relação ao custo, os outros tipos de técnicas de contenção de solos, segundo Mitchell e Villet (1987), o sistema de grampeamento de solos apresenta custo baixo uma vez que a quantidade de materiais necessários é pequena. Já em relação os equipamentos, os mesmos autores citam que eles são leves e em pequena quantidade, podendo ser apenas sondas para a inserção das barras de aço e equipamentos para injetar e jatear a argamassa. A velocidade da realização da técnica é garantida caso se tenha os equipamentos adequados para o trabalho. Por fim, têm-se a adaptabilidade do método aos diferentes tipos de solos e inclinações bem como a possibilidade da mescla com outros métodos e a flexibilidade do sistema.

Entretanto, algumas adversidades relacionadas com o solo e a técnica podem ser citadas. De acordo com Mitchell e Villet (1987), o nível do lençol freático é uma limitação para o sistema uma vez que a água presente em camadas a serem retiradas do talude pode dificultar o serviço e isso pode inviabilizar o processo a menos que um rebaixamento permanente do nível da água seja executado. Além disso, caso a drenagem não seja executada de maneira correta, tensões adicionais podem ser geradas e isso pode causar ruptura dos grampos caso não seja previsto pelo projetista. Por último, destaca-se que em alguns tipos de solos, como areias sem coesão aparente ou com elevados teores de argila, em que a umidade local pode aumentar após a construção, o solo pode perder resistência e o contato entre solo e grampo pode ser diminuído. De tal modo, o sistema não seria indicado. Segundo Abramson et al., (1996), argilas moles, possuindo limite de liquidez maior que 20% e resistência não-drenada menor que 50kPa, não são indicadas para receber os sistemas de grampeamento por causa do fenômeno da fluência, muito comum nesses tipos de solos.

#### 4 CONCLUSÃO

Destarte, o grampeamento de solos é uma técnica usada para estabilizar taludes e consiste na inserção de grampos no solo e no uso da argamassa para criar um atrito entre o solo e as barras de aço. Como foi dito nas seções anteriores,

Além do mais, foi apresentada uma metodologia para o cálculo da tensão axial nos grampos de modo que o projeto dos mesmos possa ser executado. Pode-se notar que para a realização desse cálculo o projetista possui a liberdade de escolher, seguindo outras normas vigentes, o diâmetro e o comprimento das barras, porém esses valores devem ser adequados para a execução do grampeamento.

Foram apresentadas também as vantagens e as limitações da técnica do grampeamento de solos e foi possível observar que as vantagens estão relacionadas com o menor custo, facilidade na execução por conta de equipamentos pequenos, agilidade na construção e a flexibilidade do sistema. Adicionalmente foram explicitadas limitações para o uso dessa metodologia de contenção de taludes e elas se relacionam com os níveis elevados do lençol freático em alguns locais e o tipo de solo do talude, sendo que esses fatores podem inviabilizar o uso do grampeamento do solo.

Portanto, os objetivos deste artigo foram alcançados e pode-se ver que o grampeamento de solos tem sido usado por muitos anos no campo da estabilização do solo e há muitas vantagens de seu uso, porém uma análise do solo local e das características dos níveis da água deve ser executada para que o projeto seja executado com segurança e eficácia.

#### 5 REFERÊNCIAS

ABRAMSON, L. LEE, T., SHARMA, S., BOYCE, G. ***Slope stability and stabilization methods***. John Wiley & Sons Inc, New York, segunda edição. 1996.

BRUCE, D. A. & JEWELL, R. A. ***Soil Nailing: Application and Practice***. Parte 1, *Ground Engineering*, 19 (8): Novembro, 1986.

BUSTAMANTE, M.; DOIX, B. ***Une méthode pour le calcul des tyrants et des micropieux injectés***. *Bulletin des Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées*, no 140, 1985.

BYRNE, R.J., COTTON, D., PORTERFIELD, J., WOLSCHLAG, C., and UEBLACKER, G. ***Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls***. Report No. FHWA-SA-96-69R, Federal Highway Administration, Washington, DC. 1998.

CLOUTERRE. **Recomendations Projet National Clouterre**, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Presses de l'ENPC, Paris, English Version, 269 p. 1991.

FEIJÓ, R. L. **Monitoração de uma Escavação Experimental Grampeada em Solo Residual Gnáissico Não Saturado**. Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ, Ph.D Dissertação– Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

LAZARTE, C. A. *et al.* **Soil Nail Walls Reference Manual**. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2015.

LIMA, A. P. **Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss**, tese de doutorado, departamento de engenharia civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007.

MITCHELL, J. K. & VILLET, W. C. B. **Reinforcement of Earth Slopes and Embankments**, NCHRP Report 290, USA Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C, 1987.

ORTIGÃO, J. A. R. **Ensaio de Arrancamento para Projetos de Solo Grampeado**, Nota Técnica, Solos & Rochas, ABMS, Vol. 20:1, pp. 39 43. 1997.

RABCEWICZ, L.V. **The New Austrian Tunneling Method**, Part 3, Water Power, Vol. 17, January, London, England, 19-24. 1965.

RABEJAC, S. e TOUDIC, P. **Construction d'un mur de soutènement entre Versailles-Chantiers et Versailles-Matelots**, (Trans: Construction of a retaining wall between Versailles-Chantiers and Versailles-Matelots), Revue générale des chemins de fer, Vol. 93, Paris, France, 232-237. 1974.

SPRINGER, F. O. **Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss**, Tese de Doutorado, PUC-Rio, 2006. Rio de Janeiro, 310p. 2006.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3.ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2000.

TEIXEIRA, I. J. R. **Estudo comparativo de duas alternativas para contenção de taludes verticais: solo grampeado e cortina atirantada**. Universidade Estadual de Feira de Santana. Departamento de Tecnologia-DTEC, Engenharia Civil. Feira de Santana-BA, 2011.