

# Solo Grampeado: A Arte de Estabilizar, uma Técnica Moderna e Eficaz.

Eng. Dr. Danilo Pacheco e Silva - ENGEDAT Consultoria e Projetos Ltda,  
[danilo@engedat.com](mailto:danilo@engedat.com)

Eng. MSc. Thiago de Paula Alonso - ENGEDAT Consultoria e Projetos Ltda,  
[thiago@engedat.com](mailto:thiago@engedat.com)

Geol. Cairbar Azzi Pitta - SOLOTRAT Engenharia Geotécnica Ltda,  
[azzi@solotrat.com.br](mailto:azzi@solotrat.com.br)

Eng. George Joaquim Teles de Souza - SOLOTRAT Engenharia Geotécnica Ltda,  
[georgeteles@solotrat.com.br](mailto:georgeteles@solotrat.com.br)

Eng. Alberto Casati Zirlis - SOLOTRAT Engenharia Geotécnica Ltda,  
[zirlis@solotrat.com.br](mailto:zirlis@solotrat.com.br)

## 1- INTRODUÇÃO

O emprego de técnicas de reforço de solos para a estabilização de taludes e escavações apresenta-se em expansão em todo o mundo. Dentre estas técnicas, a de Solo Grampeado tem cada vez mais ganhado aceitação no âmbito da engenharia geotécnica brasileira. Isso se deve principalmente ao seu baixo custo, versatilidade de se adaptar a geometrias variadas, alta velocidade de execução, aplicação em solos inconsistentes com presença de nível d'água.

Pode-se definir o solo grampeado como o resultado da introdução de chumbadores, barras de aço envolvidas por calda de cimento, em uma escavação de um maciço natural. Com a utilização desta solução de estabilização, busca-se restringir os deslocamentos e transferir os esforços de uma zona potencialmente instável para uma zona resistente. Este tipo de obra é comumente aplicada para a estabilização de taludes instáveis ou rompidos, emboques de túneis, escavação de subsolos, inclusive em centros urbanos, etc.

O processo construtivo é realizado em etapas sucessivas e descendentes, envolvendo, tipicamente, quatro fases principais e repetitivas: escavação com altura limitada; execução dos chumbadores; construção da face com concreto projetado e a implantação de um adequado sistema de drenagem.

A solução de solo grampeado apresenta algumas vantagens em relação às técnicas similares de reforço normalmente utilizadas, entre as quais pode-se citar:

- **Baixo custo:** nesta técnica, o único elemento estrutural utilizado para a estabilização são os chumbadores. A proteção do talude/escavação, seja em concreto projetado ou outro tipo de estrutura tem custo relativamente baixo em relação às soluções convencionais;
- **Equipamentos leves:** os equipamentos utilizados nas diferentes etapas de execução (perfuração, injeção de calda de cimento e lançamento de concreto projetado) são leves e de fácil manuseio;
- **Velocidade de execução:** as técnicas utilizadas na execução do solo grampeado permitem uma boa produção. O tempo de execução é, em geral, muito menor, se comparado às soluções convencionais;
- **Deformabilidade:** por ser uma estrutura deformável, suporta com segurança a ocorrência de recalques totais ou diferenciais;
- **Flexibilidade:** permite grande adaptação do projeto às condições geométricas do talude, além de inclinação da face, distribuição e dimensionamento dos chumbadores nos diferentes estágios de construção.

## 2- CONSIDERAÇÕES EM RELAÇÃO AO DIMENSIONAMENTO

A realização de projetos de solo grampeado implica na definição dos seguintes parâmetros relativos aos reforços: comprimento ( $L$ ), ângulo de instalação ( $\alpha$ ), espaçamento vertical ( $S_v$ ) e horizontal ( $S_h$ ). Não existe uma metodologia padrão ou única para o dimensionamento de uma estrutura de solo grampeado. As bibliografias pertinentes apresentam diferentes enfoques em relação às premissas de cálculo. Em alguns casos, o maciço reforçado é considerado com comportamento semelhante ao de um muro de gravidade. Sendo assim, o maciço reforçado deve ser verificado quanto ao deslizamento, ao tombamento, à capacidade de carga do solo de fundação e à estabilidade global.

Existem alguns métodos de cálculo de cunho internacional para o dimensionamento destas estruturas. Na Europa, utilizam-se, com freqüência, o método Francês (Clouterre, 1991) e o Alemão (Stocker, 1979), enquanto, nos Estados Unidos, é utilizado o método de Davis (Shen *et al.*, 1981). De forma complementar, foi desenvolvido o método Cinemático (Juran *et al.*, 1990), que permite estimar as forças máximas de tração e de cisalhamento atuantes nos reforços e a localização da superfície de ruptura. Estes métodos foram detalhadamente comparados por Clouterre (1991), Christopher *et al.* (1990) e Juran *et al.* (1990).

Todos os métodos mencionados admitem um mecanismo de ruptura no qual o maciço reforçado é dividido em uma zona ativa e uma zona passiva. O limite entre as duas regiões é definido pela localização, em cada reforço, do ponto de máxima força axial. A força axial é desenvolvida a partir do deslocamento do solo, causado pela descompressão lateral (escavação). As análises de estabilidade global são feitas considerando-se os esforços estabilizantes dos reforços atuando nesta cunha ativa. Entretanto, os métodos de cálculo diferem entre si quanto à forma da superfície de ruptura, quanto ao método de cálculo do equilíbrio das forças atuantes e quanto à natureza das forças (Zirlis *et al.*, 1998).

No Brasil, entretanto, não há uma metodologia padrão bem definida para o dimensionamento do sistema solo grampeado. A prática de dimensionamento baseia-se em metodologias de equilíbrio limite, em que os fatores de segurança são obtidos a partir de superfícies de ruptura pré-estabelecidas. Este fato faz com que o dimensionamento da estrutura reforçada dependa da magnitude dos parâmetros de resistência do solo e da resistência ao cisalhamento no contato solo/reforço ( $q_s$ ).

### 3- INTERAÇÃO SOLO REFORÇO

O mecanismo de interação solo-reforço no sistema solo grampeado varia amplamente com a metodologia executiva, com o tipo de aplicação (estrutura de contenção ou estabilização de taludes), com as propriedades do solo e com as características dos reforços (e.g. comprimento da barra, tipo de barra de aço,

diâmetro da coluna da calda de cimento e inclinação do reforço). Com exceção das características mecânicas do solo, todos os outros fatores podem ser controlados e padronizados na execução dos chumbadores.

Como a estabilidade de uma contenção em solo grampeado é, na maioria das vezes, avaliada em seu estado limite último, um parâmetro muito importante em projeto é a resistência ao cisalhamento desenvolvida na interface entre o reforço e o solo circundante ( $q_s$ ). Este parâmetro é responsável pelo mecanismo de transferência de carga e restrição do movimento do maciço de solo, durante e após a sua escavação. Como os reforços trabalham basicamente sob tração, quanto maior for este parâmetro, melhor será o desempenho do reforço na estabilização do maciço de solo. Entretanto, como o  $q_s$  é influenciado por diferentes fatores, a sua previsão torna-se, na maioria das situações, imprecisas e conservadoras.

Muitos autores desenvolveram métodos de previsão a partir de modelos teóricos e empíricos, entre os quais: Cartier e Gigan (1983), Bustamante e Doix (1985), Jewell (1990), Clouterre (1991), Heymann *et al.* (1992), Ortigão e Palmeira (1997) e Proto Silva (2005). Estes métodos de previsão são úteis em fase preliminar de projeto. A realização de ensaios de arrancamento *in situ* permite um maior conhecimento deste parâmetro e possibilita a realização de projetos executivos mais econômicos e viáveis.

O valor de  $q_s$  é obtido a partir do diâmetro do furo ( $\phi$  furo), do comprimento da interface solo-calda de cimento ( $L_S$ ) e da carga máxima ( $T_L$ ) obtida no ensaio. O valor de  $q_s$  é definido em unidades de tensão, normalmente em kPa (Equação 1).

$$q_s = \frac{T_L}{\pi * \phi_{\text{furo}} * L_S} \quad (1)$$

Na atual prática de execução verifica-se que o parâmetro  $q_s$ , desenvolvido na interface solo-reforço, pode ser consideravelmente melhorado com a realização de fases de injeção posteriores ao preenchimento do furo para a introdução dos chumbadores (bainha).

#### 4- BENEFÍCIOS DAS FASES DE INJEÇÃO

O usual método de execução dos chumbadores prevê a perfuração do terreno natural, o preenchimento do furo com calda de cimento (execução da “bainha”), a introdução das barras de aço, previamente preparadas. O avanço e o aprimoramento da técnica de solo grampeado, possibilitou melhorias significativas na prática da execução dos chumbadores, tais como a realização de fases de injeção posteriores à execução da “bainha”.

Para a realização das fases de injeção, as barras de aço devem ser previamente preparadas com tubos auxiliares de injeção. Estes tubos, geralmente de polietileno, são fixados nas barras de aço com comprimentos variáveis e com válvulas de injeção (aberturas) espaçadas ao longo da barra de aço. Para os tubos de injeção deve-se prever comprimento adicional, de forma a possibilitar a injeção após a execução do revestimento de face. Para cada fase de injeção pretendida deve-se fixar um respectivo tubo de injeção. As injeções devem ser realizadas entre intervalos de tempo mínimo de 12 horas. Durante as fases de injeção é imperioso o controle dos volumes consumidos e as respectivas pressões aplicadas.

Os benefícios destas injeções no desempenho dos chumbadores foram comprovados por diversos autores, entre eles Pacheco e Silva (2009) que realizou ensaios de arrancamento em modelo reduzido em laboratório e em escala real em campo. O programa experimental de campo foi desenvolvido em duas obras (Santo André-SP e Osasco-SP) e permitiu a realização de 52 ensaios de arrancamento em chumbadores curtos (4,0 m) e longos (7,0 m). Os chumbadores foram construídos em diferentes profundidades (linhas) e com diferentes metodologias executivas. As metodologias executivas foram idealizadas para permitir a análise de diferentes números e posições das injeções.

De uma maneira geral, utilizando fases de injeção, os resultados dos ensaios de arrancamento mostraram um aumento significativo do parâmetro  $q_s$  quando comparado à metodologia executiva de referência (chumbadores executados somente com a bainha). Os resultados mostraram-se bem coerentes e com aumentos gradativos para os chumbadores executados com o maior número de

injeções. Os incrementos de  $q_s$  foram superiores a 100% para alguns casos, em que se realizou 2 a 3 fases de injeção. Os resultados também permitiram constatar que o incremento no parâmetro  $q_s$  está intimamente relacionado com o volume de calda de cimento que foi injetado, ou seja, com o volume necessário para garantir uma boa integridade do trecho injetado e/ou ramificações.

Outro benefício relacionado ao monitoramento das fases de injeção é a confirmação da melhoria das condições geotécnicas do maciço a ser reforçado. A porosidade dos solos, característica difícil de identificar apenas com sondagens a percussão, pode ser confirmada por meio do rigoroso controle de consumo de injeção de calda de cimento. A experiência prática neste quesito mostra que a porosidade do terreno a ser reforçado é diretamente proporcional ao consumo de calda de cimento. As fases de injeção, para estas situações, são fundamentais para o desempenho satisfatório da contenção. Em terrenos menos porosos, as fases de injeção garantem a integridade dos chumbadores e tendem a apresentar menores volumes consumidos sob altas pressões de injeção aplicadas, não causando grandes custos adicionais a obra.

##### 5- CONEXÃO DO REFORÇO À FACE

Outro detalhe construtivo importante da obra de solo grampeado é a conexão da extremidade do reforço com o revestimento de face. Esta pode ser realizada de diferentes maneiras. A Figura 1 apresenta as alternativas que rotineiramente são utilizadas em obras de solo grampeado.

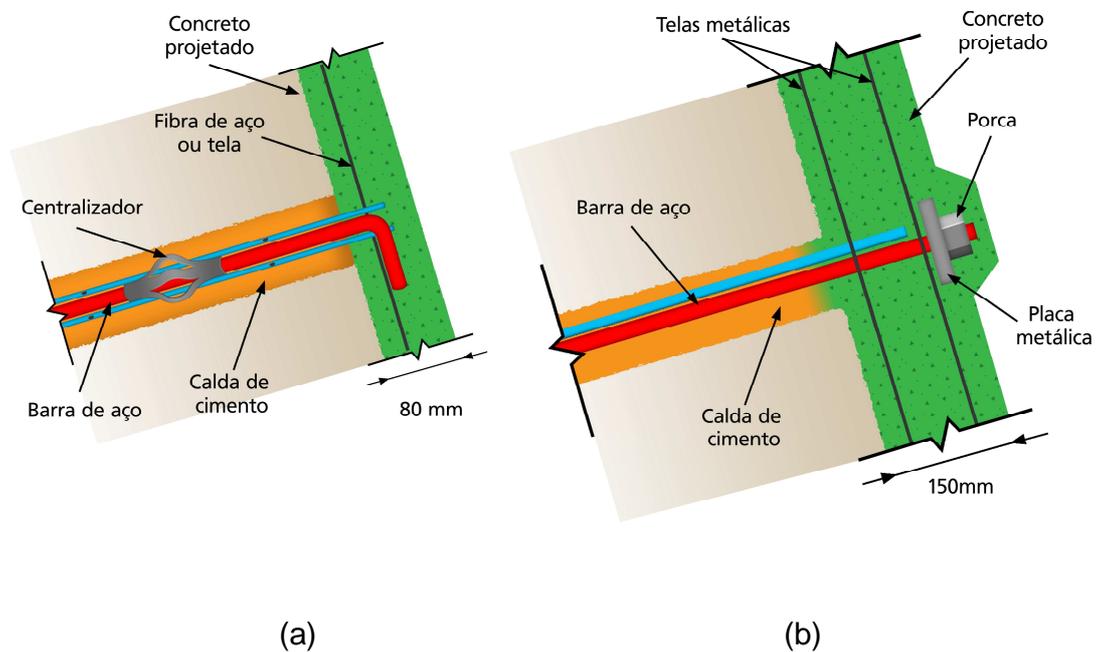


Figura 01. Diferentes alternativas de conexão do reforço junto à face (modificado de GeoRio, 1999).

A Figura 01 mostra que a extremidade do reforço pode ser embutida no paramento e dobrada 90° em relação a sua extremidade (Extremidade Livre - Figura 01 - a), e fixada por placa metálica, rosca e porca, para garantir o contato entre o solo e a face ( Extremidade Fixa - Figura 01 - b).

Springer *et al.* (2001) estudaram o comportamento tensão x deformação de maciços de solo grampeado a partir de simulações numéricas. Buscou-se avaliar a influência destas diferentes alternativas de conexão no comportamento do maciço reforçado. O reforço foi introduzido de duas maneiras distintas: extremidade livre ou fixa. Cada uma delas está relacionada com um processo construtivo. Para as situações em que a extremidade do reforço é embutida e dobrada (Extremidade Livre), pode ocorrer a movimentação do reforço na face da escavação. Para esta situação, os autores simularam o reforço com extremidade

livre. Entretanto, para a alternativa de fixação por placa metálica e porca (Extremidade Fixa), considerou-se que o reforço apresenta-se solidarizado à face. A partir das simulações numéricas, verificou-se que as alternativas de conexão dos reforços (extremidade livre ou fixa) são relevantes no comportamento das estruturas reforçadas, principalmente em termos de deslocamento da face e de distribuição das tensões ao longo dos reforços. Para maiores valores de L/H (comprimento do reforço/altura do maciço), o processo construtivo (reforço com extremidade fixa ou livre) não mostrou influência significativa nos deslocamentos do maciço de solo grampeado. Observou-se também que o ponto de tração máxima varia em função do método de conexão do reforço junto à face. Quando os reforços se apresentam com extremidade fixa, o ponto de tração máxima ocorre junto à face. Ao considerar o reforço com extremidade livre, a tração máxima ocorre em uma região mais interna do maciço, os esforços junto à face são mínimos, sendo, portanto, a alternativa indicada para realizar a conexão junto à face.

Adicionalmente, em taludes com inclinação inferiores a  $60^{\circ}$ , aproximadamente, pode-se utilizar cobertura vegetal como revestimento de face. Para esta solução pode-se utilizar qualquer um dos tipos de conexão citados. O uso deste revestimento de face além de melhorar a estética da obra pode diminuir o seu custo global consideravelmente.

## 6- CASOS DE OBRAS

Seguem dois casos de obra onde o solo grampeado foi aplicado em circunstâncias diversas.

O primeiro caso trata da construção de uma estrada de acesso em APP (área de proteção permanente), já o segundo objetivou permitir a implantação de shopping center numa área urbana.

Visando executar as contenções de taludes verticais para o projeto da TAG-Transportadora Associada do Gás, da Petrobrás foram executados 2.000 m<sup>2</sup> de Solo Grampeado pela Solotrat Engenharia Geotécnica Ltda. A obra executada

para a Azevedo & Travassos Engenharia, faz parte da construção dos acessos ao poço do túnel de dutos para implementação do gasoduto Caraguatatuba - Taubaté.

Com alturas variáveis de até 12,0 m sempre a prumo, a premissa era construir a estrada com segurança absoluta evitando danos ao meio ambiente e remoções mínimas de solo. Foram utilizados espaçamentos verticais de 1,1 m e horizontais de 1,1 m, o comprimento máximo utilizado na obra foi de 8,0 m. Muitas sinuosidades em planta ocorreram evitando ao máximo o desmatamento. A característica do solo local era extremamente variada de solos saturados inconsistentes até rocha.

Outrossim, adjacente ao arrimo de Solo Grampeado já construído houve detonações em rocha com cargas de espera de 4,2 kg, razão de carregamento de  $4\text{kg/m}^3$ , frequência de 250 Hz, e vibrações de 175 mm/s, sem qualquer dano ao arrimo.

A obra foi executada proficientemente no prazo determinado pelo cliente. A Figura 02 - a), b), c) e d) apresentam detalhes da obra acabada.



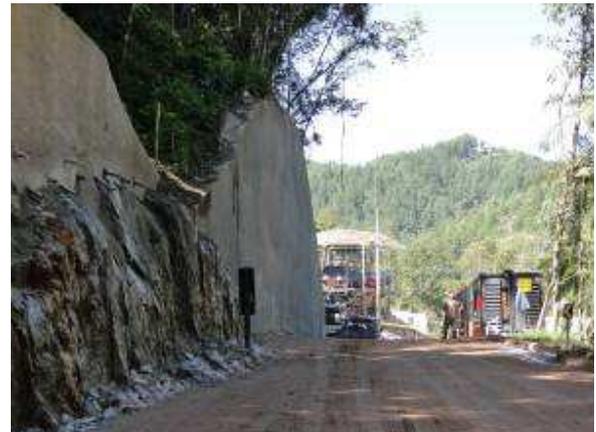
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 02 – Fotos da obra de solo grampeado, acessos ao do túnel do duto – Petrobrás.

Desenvolvido pela Gusmão Engenheiros Associados, o segundo caso de obra aqui apresentado tem como objetivo a execução de contenções de talude através da técnica de Solo Grampeado no início da BR-256, na 2ª rótula do Aeroporto, em São Cristovão – Salvador/BA.

A Solotrat, mais uma vez prestou serviço para a Andrade Mendonça Construtora, e realizou contenções de taludes verticais de alturas variáveis de até 16,0 metros, para a construção do Salvador Norte Shopping, que terá 107.343 m<sup>2</sup> de área construída.

Foram executados 1.640 m<sup>2</sup> de Solo Grampeado e a obra foi executada de acordo com as premissas determinadas pelo cliente.



Figura 03 – Vista geral da contenção em Solo Grampeado / Salvador Norte Shopping.

## 7- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica de Solo Grampeado apresenta-se em plena expansão e ganhando cada vez mais aceitação em obras geotécnicas de estabilização de taludes e escavações de subsolos.

Esta solução apresenta vantagens em relação a outras técnicas similares. O comportamento do chumbador, em termos de resistência ao cisalhamento de interface ( $q_s$ ) é de fundamental importância para a execução de projetos e obras mais econômicas e seguras. A prática de execução dos chumbadores aliada a programas experimentais de pesquisa vêm demonstrando os benefícios em se executar as injeções dos chumbadores. Os incrementos no parâmetro  $q_s$  são bastante consideráveis e esta prática deve ser utilizada nas mais variadas obras.

O controle dos volumes e das pressões de injeção são fundamentais para garantir o bom comportamento dos chumbadores. Por fim, foram apresentados alguns

casos de obras de relevância.

## 8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bustamante, M. & Doix, B. (1985). Une Méthode Pour le Calcul des Tirants et des Micropieux Injectées. Bulletin de Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées, Paris, n. 140, p. 75-92.
- Cartier, G. & Gigan, J.P. (1983). Experiments and Observations on Soil Nailing Structures. In: 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Proceedings, Finland, 23-26, p. 473-476.
- Christopher, B.R; Gill, S.A; Giroud, J.P; Juran, I; Mitchell, J.K; Schlosser, F.E & Dunncliff, J. (1990). Reinforced Soil Structures, Vol.1, Design and Constructions Guidelines. Report FHWA-RD-89-043, US DOT Federal Highway Administration, 301 p.
- Clouterre (1991). Recommandations Clouterre. Project National Clouterre, Presses de l'ENPC, Paris, 269 p.
- GeoRio (1999). Manual Técnico de Encostas: Ancoragem e Grampos. Fundação GeoRio, 184 p.
- Heymann, G; Rohde, A.W; Schwartz, K. & Friedlaender, E. (1992). Soil Nail Pull Out Resistance in Residual Soils. In: International Symposium on Earth Reinforcement Practice, Proceedings, Fukuoka/kyushu/Japan, vol.1, p.487-492.
- Jewell, R.A. (1990). Review of Theoretical Models for Soil Nailing. In: Internacional Reinforced Soil Conference, Proceedings, Glasgow, p.265-275.
- Juran, I; Baudrand, G; Farrag, E. & Elias, V. (1990). Design of Nailed Retaining Structures. ASCE Conf on Design and Performance of Earth Retaining Structures, Cornell University, Ithaca, Geotechnical Publication, New York, n° 25, p. 644-659.
- Ortigão, J. A. R. e Palmeira, (1997) Optimised design for soil nailed walls. In: Proceedings on the 3rd International Conference on Ground Improvement Geosystems (GIGS), pp. 368-374, London, UK, June. Edited by M.C.R. Davies, F. Schlosser, Ground Improvement Geosystems, Thomas Telford, London, UK.
- Pacheco e Silva, D. (2009). Análise de Diferentes Metodologias Executivas de Solo Pregado a partir de Ensaio de Arrancamento em Campo e Laboratório. São Carlos, 313p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Proto Silva, T. (2005). Resistência ao Arrancamento de Grampos em Solo Residual de Gnaisse. Rio de Janeiro, 128p. Dissertação de Mestrado, PUC - Rio de Janeiro.
- Shen, C.K; Bang, S; Romstand, K.M; Kulchin, L. & Denatale, J.S. (1981). Field Measurements of Earth Support System. Journal da ASCE, vol.107, pp.1625-1642.
- Springer, F.O; Gercovich, D.M.S. & Sayão A.S.F.J. (2001). Deformabilidade de Taludes com Solo Grampeado. III Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), Anais..., p. 483-490.

Stocker, M.F; Korber, G.W; Gassler, G. & Gudehus, G. (1979). Soil Nailing. In: Conferência Internacional de Solos Reforçados, Proceedings, Paris, Vol 2, p. 469-474.

Zirlis, A.C; Abramento, M. & Koshima, A. (1998). Reforço do Terreno – Solo Grampeado. Fundações Teoria e Prática, PINI- ABMS-ABEF, Capítulo 18.3.1, São Paulo, p. 641-642 e p 656-668.