

CONTENÇÃO EM SOLO GRAMPEADO COM FACE EM GRELHA ESTRUTURAL DE CONCRETO ARMADO

CONTAINMENT IN STAINED GLASS SOIL WITH FACE IN ARMED CONCRETE STRUCTURAL GRID

WILLIAN RENAN DE ARAÚJO SALVIANO. Mestre em Geotecnia e Pavimentação pela COPPE/UFRJ.

MARCELO DE LIMA BELONI. Mestre em Geotecnia pela UFV.

Endereço para correspondência: Rua: Filemon, 76, ap 201 Cep: 35164-102 Ipatinga/MG - tel(31) 975352959. E-mail: engenheirocivil.will@gmail.com

RESUMO

O solo grampeado mesmo sendo um tipo de contenção de encosta que proporciona várias vantagens em muitos casos esbarra no conservadorismo de construtores que tem dificuldade em aceitar novos modelos construtivos. Este artigo apresenta o projeto e o processo construtivo de uma contenção executada na cidade de Coronel Fabriciano - MG, em um talude de 10,5m de altura e 12m de comprimento, com perfil geotécnico predominante de argila e argila com pequena presença de areia. O solo grampeado foi executado com a proteção da face, realizada por uma grelha de concreto armado formada por pilares e vigas. O fechamento dos espaços entre eles com o assentamento de blocos de concreto vazios com o processo, foi executado de forma ascendente. O processo se mostrou bem eficiente, com sistema construtivo veloz, acabamento da face com qualidade superior e atendimento as expectativas do cliente.

PALAVRAS-CHAVE: Solo Grampeado. Face em blocos de concreto.

ABSTRACT

Stapled soil, even though it is a type of slope containment that provides several advantages, often leads to the conservatism of builders who have difficulty accepting new construction models. This article presents the design and construction process of a containment executed in the city of Coronel Fabriciano - MG, in a slope of 10.5m in height and 12m in length, with a predominant geotechnical profile of clay and clay with a small presence of sand. stapled soil was executed with face protection performed by a reinforced concrete grid formed by pillars and beams. The closure of the spaces between them with the laying of empty concrete blocks with the process, was executed in an ascending way. The process proved to be very efficient, with a fast construction system, a top-quality finish and customer expectations.

KEYWORDS: Stapled soil. Face in concrete blocks.

INTRODUÇÃO

A origem da técnica de solo grampeado está em geral associada à construção de túneis com o processo NATM (New Austrian Tunneling Method). A primeira obra documentada em solo grampeado foi executada na França, nos

anos de 1972 e 1973, em um talude ferroviário próximo a cidade de Versailles, onde foi feita uma estabilização em um corte com 22 m de altura e 70° de inclinação (MAGALHÃES, 2005).

No Brasil, a primeira obra foi executada em 1970 de forma intuitiva, para a estabilização do emboque do túnel de adução do sistema Cantareiras, na Rodovia dos Imigrantes, grampos cravados ou perfurados e injetados com calda de cimento, foram utilizados nos túneis e taludes em 1972 (FRANÇA, 2007).

Mesmo sendo uma técnica com quase 50 anos o solo grampeado tem aplicação concentrada em obras particulares de grandes centros e locais com centros universitários de pesquisa ou obras governamentais.

Em cidades de menor porte a aplicação desta alternativa de contenção ainda não é bem difundida, isso pode ser reflexo de profissionais que ainda não quebraram a barreira do conservadorismo e/ou resistem na busca pelo novo; ou até mesmo pode estar associada a difícil aceitação de construtores tradicionais, que têm a cultura de que estruturas de contenção sempre devem ser compostas por uma parede com alto peso próprio e elevado consumo de aço.

Na cidade de Coronel Fabriciano/MG a prática comum para estrutura de contenção de até 6m de altura são muros de blocos de concreto cheio, associados a pilares e vigas e em geral com fundações rasas. Para alturas maiores ou se opta por estruturas de gravidade ou cortinas de concreto armado.

Desta forma, buscar alternativas para conseguir desbravar estes mercados é fundamental. Este trabalho apresenta os detalhes executivos de uma obra de contenção na cidade de Coronel Fabriciano/MG executada em solo grampeado com sua face em uma estrutura de grelha de concreto armado e blocos de concreto vazios para preenchimento dos vazios.

SOLO GRAMPEADO: PRINCÍPIO DA TÉCNICA

O princípio da técnica é reforçar o terreno com inclusões passivas, conhecidas como “grampos”, constituídas geralmente por barras de aço envoltas em calda de cimento, que promove a estabilidade global com a introdução de resistência à tração e ao cisalhamento no maciço.

O atrito lateral desenvolvido entre o solo e as paredes do grampo na zona passiva, tratado com resistência ao arrancamento, simbolizado por q_s , é o parâmetro que dará à estrutura capacidade resistente para suportar as solicitações.

Na fase de projeto a estimativa da magnitude de q_s é fundamental para garantir segurança à estrutura. Esta determinação pode ser realizada, em geral, por correlações baseadas em resultados dos ensaios de campo.

Bustamante e Doix (1985), Ortigão (1997), Ortigão e Palmeira (1995), Springer (2006) e Beloni (2010) apresentaram correlações baseadas no ensaio de sondagem a percussão *Standard Penetration Test* (SPT); Clouterre (1991), Bustamante e Doix (1985) e Beloni (2010) estimaram o valor por meio da pressão limite obtida em ensaios pressiométricos tipo Menard (PMT). Beloni (2010) e Beloni (2013) apresentam uma proposta para q_s em função do parâmetro p_0 obtido no ensaio dilatométrico DMT, ligado a tensão horizontal. Proto Silva (2005) relacionou q_s com parâmetros de resistência do solo e da interface solo/calda de cimento, obtidos em ensaios de cisalhamento direto específico.

A técnica pode ser aplicada tanto a taludes provenientes da necessidade de cortes ou em taludes naturais sendo a prática executiva diferenciada somente pelo processo de escavação.

ESCAVAÇÕES

Em situações onde são necessários trabalhos de escavação, a técnica é realizada em níveis pré-determinados. Os níveis de escavação variam diretamente em função do tipo e propriedades do solo, inclinação e terrenos adjacentes e têm magnitudes de 0,5 a 2 metros.

Após a escavação, a superfície escavada deve permanecer estável por tempo suficiente para a inserção dos grampos e execução da face. Gässler, (1990) recomenda alturas de escavação em função do tipo de solo, para cortes verticais.

Melhorias nas condições de estabilidade ou a redução dos deslocamentos do talude são obtidas com a utilização de bermas de equilíbrio, principalmente em solos de difícil comportamento geotécnico.

De acordo com Pitta, Souza *et al.* (2003), antes a realização da escavação podem ser executadas estacas ou chumbadores verticais, posicionados ao longo do muro e entre os grampos com comprimento próximo à altura da escavação, obtendo-se assim redução de trincas e deformações nas edificações vizinhas e com aumento considerável na produtividade.

EXECUÇÕES DO GRAMPO

Na prática brasileira os grampos são instalados por perfuração e a execução têm início imediatamente após a conclusão da escavação de cada nível projetado. Os furos podem ser realizados por trados manuais ou perfuratrizes mecânicas com circulação de água e o diâmetro do grampo varia entre 50 a 120 mm. Independentemente do modo de perfuração escolhido deve-se garantir que as paredes do furo se mantenham estáveis até o preenchimento com calda de cimento.

Para facilitar a execução da bainha, que consiste no preenchimento do grampo por calda de cimento, o elemento é executado com uma pequena inclinação que em geral é de 5° a 15° com a horizontal o que facilita o lançamento da calda de cimento.

Os grampos são compostos por barras de aço típicas da construção civil, dotadas de espaçadores, que centralizam a barra no furo. Existem também tubos de reinjeção com quantidade variável em função dos números de reinjeção solicitados em projeto.

Os tubos de reinjeção apresentam diâmetros de 8 a 15 mm de diâmetro, neles são realizados furos espaçados de 0,75m a 1,5m, conhecidos como válvulas de injeção.

O atrito dos espaçadores com as paredes do furo durante a inserção do grampo ocasiona pequenos desmoronamentos, assim se faz necessário lavar o furo após a inserção do grampo. Springer (2006), sugere que a lavagem do furo acarreta num acréscimo de resistência. Nos grampos executados somente com bainha este acréscimo pode chegar a 27%.

O preenchimento do furo é feito com calda de cimento. O lançamento da calda pode ser feito por bomba a baixa pressão ou por gravidade, ocorre de forma ascendente, do fundo do furo até o extravasamento da calda pela boca do furo, por meio de tubo de PVC auxiliar removível. O lançamento desta forma reduz a possibilidade da ocorrência de vazios no grampo. A calda deve apresentar um alto teor de cimento, não contendo cimentos agressivos aos grampos, e a relação água/cimento deve ser em torno de 0,5.

Caso forem executadas reinjeções, elas devem ser executadas em intervalos mínimos de 12h entre cada uma das fases, anotando-se o valor da pressão máxima e volume de concreto injetado. Este procedimento é repetido para todas as fases de reinjeções previstas.

PROTEÇÃO DA FACE

Em estruturas de solo grampeado, os grampos têm a função de prover resistência para suportar os esforços solicitantes. A face não tem função estrutural, e sim o de evitar processos de rupturas localizadas e erosão superficial causados por intempéries naturais e escoamento superficial.

Uma das formas mais comuns de execução dá-se por meio da colocação de tela metálica sobre a face do talude, em seguida encobrimento por concreto projetado, com espessura variando de 5 a 15 cm. Em obras mais atuais as telas metálicas vêm sendo comumente substituídas por fibras de aço ou sintéticas misturadas ao concreto a ser projetado, podem substituir a tela metálica, tendo como vantagem a redução do tempo de execução e do volume de concreto, (FRANCA, 2007).

Se o terreno possuir resistência suficiente para se manter estável por um período de tempo, a face pode ser revestida com concreto moldado *in loco* com auxílio de fôrmas. Tem-se como vantagem um acabamento superior em concreto liso. Outra forma pode ser com a construção de vigas e pilares, que trabalhariam como uma grelha resistente e o fechamento em blocos de concreto.

Em alguns casos, existe a possibilidade de utilização de faces com arquitetura mais elaborada. Saramago, Mendonça *et al.* (2005) apresentaram nos estudos o uso de blocos pré-moldados de cimento. Já Wheeler (1994) em taludes com paramento inclinado, sugere a utilização de malhas metálicas revestidas com plástico ou geogrelha aliada a plantação de vegetação que se integram melhor ao meio ambiente.

PROJETOS GEOTÉCNICO

A obra foi executada na Rua Jandira Duarte, número 247 - Coronel Fabriciano - MG, a demanda da construção da estrutura surgiu da necessidade em se ganhar espaço em uma área de grande valorização.

O perfil geotécnico do local é de um solo residual de gnaisses com camadas de argila e em alguns pontos pequena presença de areia.

O projeto contempla estrutura de 10,5 metros de altura e 12 metros de comprimento, contido por 63 grampos com 80mm de diâmetro e profundidades de 5 a 9 metros, distribuídos em 7 linhas com 9 grampos cada, sendo o

espaçamento vertical (S_v) de 1,5 metros e o espaçamento horizontal (S_h) de 1,4 metros como mostra a Figura 1.

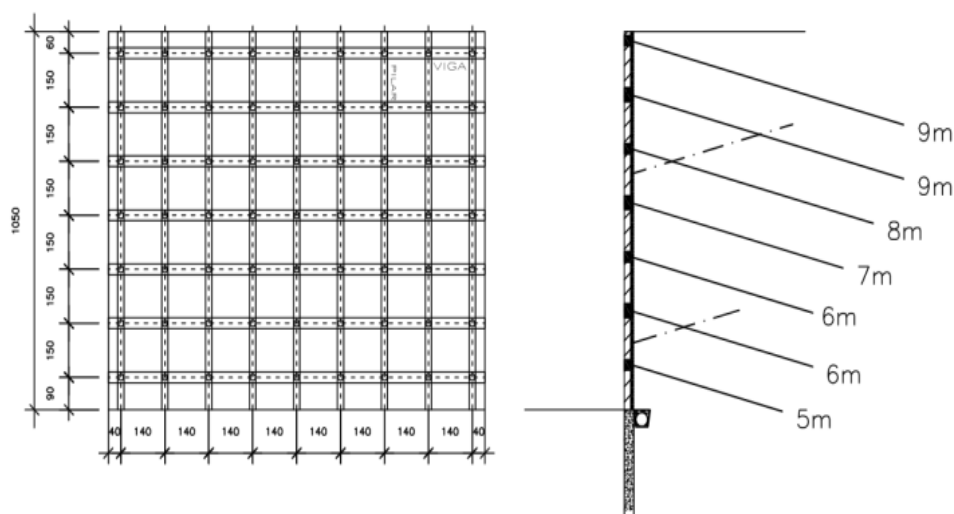


Figura 1 - Vista Frontal e Corte do muro a ser executado. **Fonte:** Os autores.

A face foi constituída por vigas e pilares que formaram uma grelha resistente e o fechamento dos vazios, entre elas, em alvenaria de blocos de concreto vazados. Em cada ponto de encontro entre as vigas e os pilares existiu um grampo. A função da grelha caso seja solicitada por um possível deslocamento de massa, é transferir para os grampos os esforços solicitantes de forma que trabalhem em conjunto.

Como os grampos trabalham como apoios para a grelha, os elementos estruturais têm vãos teóricos curtos. Assim, os momentos fletores que solicitam os elementos, têm magnitudes baixas como consequência pequenas áreas de aço para combatê-los.

As vigas projetadas com dimensões de 20x40 centímetros, apresentam armadura superior de duas barras de oito milímetros ($\Phi 8\text{mm}$), inferior de três barras de dez milímetros ($\Phi 10\text{mm}$), uma armadura de pele de oito milímetros para travar a dobra da armadura dos grampos e estribos de cinco milímetros a cada 15 centímetros.

Os pilares construídos com dimensões de 20x25 centímetros, quatro barras com diâmetro de $\Phi 12.5\text{mm}$ e estribos de cinco milímetros a cada 15 centímetros.

Os esforços verticais decorrentes do peso próprio da parede foram combatidos por estacas brocas com diâmetro de 250mm e 3 metros de profundidade. Para as estacas foram utilizadas como armaduras treliças TR12 vide figura 2, empregues na produção de lajes treliçadas.

A drenagem realizada por canaletas de crista, aplicação de manta MAC-Drain no tardo (lado de traz do muro de arrimo) com coleta na parte inferior do muro.



Figura 2 – Modelo treliça TR 12. **Fonte:** Os autores.

EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS - ESCAVAÇÃO

Para a execução dos serviços a escavação foi feita em 4 etapas. Como o solo se apresentava muito coeso em todas as etapas, buscaram-se níveis de escavação suficientes para executar duas linhas de grampos, as três primeiras alturas de corte foi 2,80m para cada nível, e o quarto nível 2,1m conforme Figura 3.

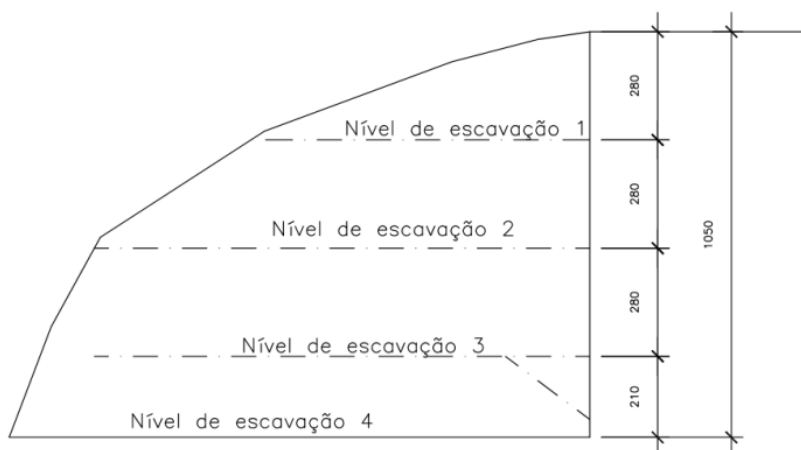


Figura 3 – Níveis de escavações previstos. **Fonte:** Os autores.

No terceiro nível de escavação para que os grampos da última linha fossem executados sem a realização de uma quarta mobilização dos equipamentos de perfuração, optou-se por fazer uma abertura no terreno na posição dos grampos como mostrado na Figura 4.

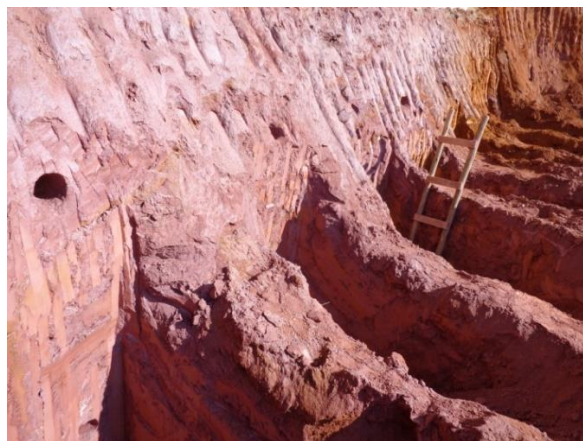


Figura 4 - Valas para execução da última linha de grampos. **Fonte:** Os autores.

EXECUÇÃO DOS GRAMPOS - MONTAGEM DOS GRAMPOS

Os grampos foram executados com barras de aço CA-50, típicas da construção civil, com diâmetro de 25mm. As barras foram dotadas de espaçadores produzidos com tubo de PVC (FIGURA 5a) a cada 1,2m e um tubo de PVC de 20mm para trabalhar como tubo de reinjeção, nos quais foram realizados furos a cada 75 cm a partir de 1,50m da boca do tubo que são designadas válvulas manchetes e vedadas com fita impermeável (FIGURA 5b). A Figura 5c apresenta o grampo montado pronto para ser utilizado.



Figura 5 - Detalhes da Montagem dos Grampos. Fonte: Os autores.

Perfuração do Grampo

As perfurações dos grampos foram realizadas por perfuratriz rotativa com circulação de água, para cada nível de escavação. O equipamento é composto por uma redutora que promove a perfuração montada em um carrinho que se movimenta em uma mesa suporte controlado por manivela. Na Figura 6 pode-se visualizar a perfuratriz utilizada.



Figura 6 - Perfuratriz Rotativa utilizada. Fonte: Os autores.

Para a execução da perfuração são adicionados à broca hastes de prolongamento com 1,5 m de comprimento até que a profundidade de projeto para cada grampo seja atingida. A água tem a função de promover a retirada do material escavado pela broca.

EXECUÇÃO DA BAINHA

Antes da execução da bainha, o grampo foi inserido no furo. Junto ao mesmo também foi inserido um tubo de PVC auxiliar, não amarrado, ao grampo. Após a inserção do grampo, o furo foi lavado pelo tubo auxiliar inserido, para a retirada de qualquer material solto que pudesse existir devido ao atrito do espaçador dos grampos com a parede do furo.

O material de preenchimento utilizado foi calda de cimento com relação água/cimento de 0,5. O lançamento realizado por meio de bomba com baixa pressão. Durante o preenchimento do furo, à medida que a calda era lançada procedeu-se na retirada lenta do tubo, de forma que a boca do mesmo permanecesse sempre no interior da nata já lançada, até o extravasamento pela boca do furo.

A reinjeção dos grampos foi realizada em intervalos de 12h a 16h após a bainha, o processo utilizado foi o de Injeção Geral Única (IGU) por meio do obturador mostrado na Figura 7.



Figura 7 - Detalhe Obturador para IGU. **Fonte:** Os autores.

EXECUÇÃO DA FACE

Com o término da execução dos grampos de cada nível de escavação iniciou-se o posicionamento das armaduras e posterior montagem das fôrmas das vigas e pilares. Para garantir o travamento do grampo na estrutura, a dobra do mesmo foi posicionada na face externa da estrutura do pilar, e ainda houve inserção de uma barra adicional na direção longitudinal da viga. A Figura 8 apresenta o posicionamento do grampo nas armaduras na estrutura.

Outro detalhe a ser observado na montagem da estrutura, é garantir o transpasse das armaduras dos pilares conforme prescrições da NBR 6118. Para isso foi realizado um furo no terreno abaixo de cada pilar, com 1m de profundidade. Colocada a armadura no furo era reaterrado e os elementos estruturais concretados.



Figura 8 - Detalhe ligação grampo estrutura. **Fonte:** Os autores.

Desta forma, após a realização do próximo nível de escavação, as esperas para as armaduras inferiores se encontraram posicionadas. A Figura 9 apresenta a junção das armaduras inferiores com as armaduras superiores.



Figura 9 - Detalhe do trespasse armadura dos pilares do muro. **Fonte:** Os autores.

Posteriormente foi realizado o assentamento dos blocos de concreto. A sequência construtiva da construção da face se apresenta na Figura 10.



Figura 10 - Sequência executiva construção da face em alvenaria de blocos de concreto. **Fonte:** Os autores.

ENSAIO DE ARRANCAMENTO

Afim de comprovar os valores de resistência ao arrancamento previstos em projetos foram executados dois grampos para a realização de provas de carga. Os elementos para a execução das provas-de-carga foram executados com seis metros e a realização de um nível de reinjeção. O primeiro grampo de ensaio foi realizado na cota de nove metros de altura e o segundo posicionado a um metro do chão.

Para a execução do ensaio, o macaco, com eixo vazado, capacidade de 30 toneladas foi apoiado em uma placa de reação e a barra travada ao sistema por placa e rosca, Figura 11.



Figura 2 - Travamento do grampo à barra de ensaio. **Fonte:** Os autores.

A obtenção dos deslocamentos foi realizada por meio de três extensômetros presos a um sistema externo fixo e apoiados na placa travada pela porca ao grampo. O sistema fixo dispunha de braços articulados que permitiam aos extensômetros serem posicionados em paralelo com o grampo. Na média, os ensaios foram executados com nove estágios de carregamento e três fases de descarregamento.

Com os resultados obtidos nos ensaios, foram plotadas curvas **Carga x Deslocamento**, onde obteve-se a carga de ruptura do grampo e a respectiva resistência ao arrancamento. O grampo superior apresentou uma carga de ruptura de 109,1 kN e um valor de resistência ao arrancamento de 74,46 kN/m². Já o grampo da cota inferior apresentou uma carga máxima de trabalho de 120,3kN e resistência ao arrancamento de 81,69kPa. Ambos superaram a magnitude estimada na fase de projeto que foi de $q_s = 65 \text{ kN/m}^2$.

Os grampos utilizados para a execução das provas-de-carga foram descartados e não utilizados para garantir a estabilidade da estrutura. A Figura 12 apresenta a curva do ensaio do grampo superior.

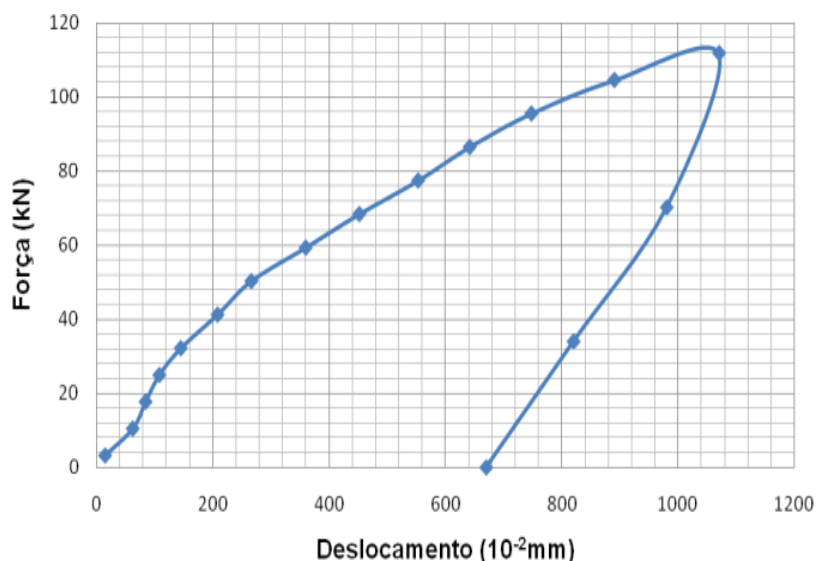


Figura 3 - Curva do ensaio de arrancamento grampo superior. **Fonte:** Os autores.

CONCLUSÕES

O processo executivo dos grampos e face escolhidos garantiu velocidade, praticidade, redução de custos e adequação às necessidades e convicções do cliente, comprovando a versatilidade e aplicabilidade de estruturas de contenção em solo grampeado.

A execução de estruturas de contenção de encostas em solo grampeado com a face em estruturas de concreto armado (vigas e pilares) com vedação em alvenaria de blocos de concreto é completamente viável. Porém a execução da mesma deve ser realizada de forma criteriosa, com atenção especial ao atendimento normativo aos valores de transpasse das armaduras dos elementos estruturais e também na ligação do grampo à estrutura.

Como no ponto de ligação do grampo a estrutura é que vai permitir um trabalho do conjunto grampo/parede, recomenda-se que a dobra do grampo esteja posicionada na face externa dos elementos, e colocada uma armadura na viga no ponto de encontro que pode ser a armadura de pele da viga.

Mesmo que o modelo de contenção contrarie os esforços horizontais com o atrito desenvolvido entre o solo e o grampo, é fundamental a construção de uma fundação com capacidade resistente para que suporte as cargas de peso próprio do muro.

A realização de ensaios de arrancamento para comprovação da magnitude de q_s utilizada no projeto é de fundamental importância, só assim pode-se garantir a estabilidade do maciço e a qualidade do projeto.

Com os resultados dos ensaios das provas-de-carga, comprovou-se que o aumento de tensão horizontal ocasiona em ganho de resistência ao arrancamento dos grampos, já que o grampo executado mais próximo à parte inferior do muro, com maior tensão horizontal, apresentou uma carga suporte maior que o grampo executado em cota superior.

REFERÊNCIAS

BELONI, M.L. **Resistência ao arrancamento de grampos em solo residual de Gnaise** (Dissertação de Mestrado) Viçosa - MG; Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2010, 151 p.

_____. **Previsão da Resistência ao Arrancamento em Grampos Através do Ensaio DMT VI Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE)**. Angra dos Reis- RJ AMBS, 2013, 8p.

BUSTAMENTE, M.; DOIX, B. **Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés**, Bull. Liaison Lab. *Ponts et Chaussées, Paris*, n. 140, nov-déc 1985, p.75-92.

CLOUTERRE. **Recommendations Clouterre: soil recommendations for designing, calculating, constructing and inspecting earth support systems using soil nailing**. French National Project Clouterre, 1991, 332 p.

FRANÇA, F. A. N. **Ensaio de arrancamento em solo grampeado executados em laboratório**. (Dissertação de Mestrado). São Carlos-SP: Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 2007, 125p.

GÄSSLER, G. **In situ techniques of reinforced soil. Proceedings of the International Reinforced Soil Conference. Performance of Reinforced Soil Structures**. A. McGown, K. C. Yeo and K. Z. Andrawes (ed.) British Geotechnical Society, p.185-196, 1990.

ORTIGÃO, J. A. R. **Ensaio de arrancamento para projetos de solo grampeado**. *Rev. Solos e Rochas*. Nota Técnica: ABMS. v. 20, p.39-43, p.1997.

_____. **Solo grampeado: técnica para estabilização de encostas e escavações**. In: **1a. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE)**. Rio de Janeiro: AMBS, 1997, p.57-74.

PITTA, C. A.; SOUZA, G. J. T.; ZIRLIS, A. C. **Solo grampeado, alguns detalhes executivos, ensaios – casos de obras**. In: Workshop Solo Grampeado. Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento. São Paulo: ABMS-Sinduscon, 2003, 20p.

PROTO SILVA, T. **Resistência ao arrancamento de grampos em solo residual de gnaise**. 2005. 140 (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro: PUC - RIO, Departamento de Engenharia Civil, 2005, 140p.

SARAMAGO, R. P. et al. Muro de solo grampeado com face em blocos pré-moldados. In: **IV COBRAE (Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas)**. Salvador: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2005, p.827-833.

SPSS. **Statistical Package for the Social Sciences for Windows**, versão 11.5. SPSS/PC. Chicago 2000.

SPRINGER, F. O. **Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaíse**. 2006. 309 (Tese de Doutorado). Rio de Janeiro: PUC Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2006, 309p.

WHEELER, P. Hold at bay: **Ground Engineering**, 1994, p.15-16.