

Resistência ao Arrancamento de Grampos Convencionais e de Argamassa com Fibras de Polipropileno sem Barra

Larissa de Brum Passini

UFRGS (Anteriormente COPPE - UFRJ), Porto Alegre, Brasil, larissapassini@hotmail.com

Anna Laura L. S. Nunes

COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, alaura@coc.ufrj.br

Alberto S. F. J. Sayão

PUC-RIO, Rio de Janeiro, Brasil, sayao@puc-rio.br

RESUMO: Para ser verificada a viabilidade de substituição das barras de aço utilizadas em grampos convencionais por fibras de polipropileno na técnica de contecção de encostas conhecida por solo grampeados, foram instalados, ensaiados e exumados grampos convencionais executados com barras de aço envoltas por pasta de cimento e grampos não convencionais executados com argamassa reforçada com fibras de polipropileno (sem barra), sendo alguns instrumentados com extensômetros elétricos (*strain gages*). A resistência ao arrancamento (q_s) e a distribuição do carregamento nos grampos foram os principais aspectos analisados. Para a obtenção das resistências ao arrancamento dos grampos foram realizados ensaios de campo de (i) arrancamento nos grampos convencionais e (ii) empurramento nos grampos com fibras de polipropileno. A resistência ao arrancamento média dos grampos com fibras de polipropileno foi 62% da resistência ao arrancamento média dos grampos convencionais. A distribuição do carregamento ao longo do comprimento grampos não convencionais foi triangular (não linear) e decrescente da cabeça para a ponta do grampo. Os resultados sugerem a viabilidade de utilização dos grampos com fibras de polipropileno.

PALAVRAS-CHAVE: Solo grampeado, resistência ao arrancamento, grampos de argamassa com fibras de polipropileno.

1 INTRODUÇÃO

O solo grampeado é uma técnica em que o reforço do maciço é obtido por meio da inclusão de elementos resistentes. Essa técnica vem sendo cada vez mais empregada na estabilização de maciços de solo e rocha.

Um parâmetro importante no dimensionamento de taludes grampeados é a resistência ao arrancamento dos grampos (q_s), que está relacionada à mobilização do atrito no contato dos grampos com o solo circundante. Quanto maior o atrito solo-grampo, melhor será o desempenho da inclusão. Para que o atrito na interface seja mobilizado é necessário que haja pequenos deslocamentos entre o grampo e o material que compõem o maciço.

Na técnica convencional de grampeamento,

faz-se uso de barras de aço envoltas por pasta de cimento, sendo o aço o constituinte de custo mais elevado na composição dos grampos, além de requerer cuidados especiais para evitar a corrosão.

Uma solução alternativa à técnica convencional de grampeamento é a execução de grampos compostos por apenas material compósito fibroso, constituídos de argamassa reforçada com fibras de polipropileno, injetada no interior de uma perfuração previamente executada no talude. Essa solução tem como vantagens principais a economia de tempo e de recursos, além de facilitar o processo executivo dos grampos. As fibras são amplamente empregadas como reforços de materiais frágeis, sendo o caso de materiais compósitos à base de cimento Portland.

Buscando estudar o comportamento mecânico de grampos compostos por argamassa reforçada com fibras de polipropileno (sem barra) com a finalidade de constatar a sua viabilidade de utilização em contenção de encostas, tais grampos e grampos convencionais foram instalados, ensaiados e exumados, sendo a resistência ao arrancamento (q_s) e a distribuição do carregamento ao longo do comprimento dos grampos os principais aspectos analisados.

Neste artigo é apresentada a metodologia, os resultados e conclusões do trabalho desenvolvido.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição da Área Experimental

A área experimental selecionada para os trabalhos de campo situava-se em uma obra para a construção de um condomínio residencial, na cidade do Rio de Janeiro, RJ. O talude natural onde os grampos foram instalados era composto por solo residual de gnaiss não saturado e apresentava ao longo de sua extensão um revestimento de concreto com espessura de 0,50 a 0,80 m. O trecho do talude (Figura 1) destinado aos trabalhos apresentava 12 m de comprimento e altura variando de 6,5 a 7 m, com inclinação de $66,5^\circ$ com a horizontal.



Figura 1. Trecho do talude destinado a instalação dos grampos convencionais e não convencionais.

2.2 Descrição dos Grampos

Foram instalados seis grampos convencionais e seis grampos não convencionais. Todos com inclinação de 15° em relação à horizontal e com diâmetro nominal de 101,6 mm (4"), sendo as mesmas configurações adotadas por Springer (2006), entre outros autores, em seus trabalhos, conforme ilustra a Figura 2.

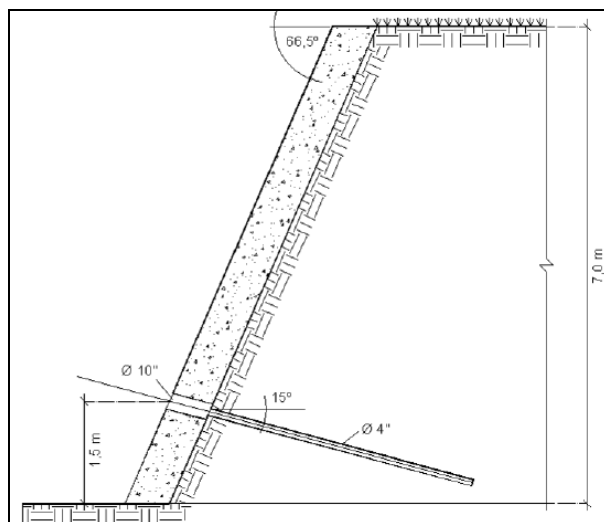


Figura 2. Seção típica do talude com grampo instalado.

Os grampos convencionais (GC) esboçados na Figura 3 foram executados com barras de aço de 32 mm de diâmetro envoltas por pasta de cimento. O comprimento total das barras de aço utilizadas para a instalação desses grampos foi de seis metros, sendo dois metros externos ao talude de solo e utilizados para a instalação dos equipamentos do ensaio de arrancamento. O primeiro metro de barra de aço, no interior do talude de solo, foi envolto com espuma, sendo denominado de trecho livre, e os outros três metros do grampo convencional foram envoltos por pasta de cimento. Proto Silva (2005), Springer (2006) e Silva *et. al.* (2010), entre outros autores, também utilizaram esta mesma configuração de grampos convencionais, sendo 1,0 m de trecho livre e 3,0 m de trecho injetado.

Os grampos não convencionais (GP) também esboçados na Figura 3 foram executados com argamassa reforçada com fibras de polipropileno em substituição às barras de aço, da mesma forma que Magalhães (2005) e Leite (2007). As fibras utilizadas eram de seção circular com 0,018 mm de diâmetro nominal e 30 mm de comprimento, do tipo multifilamentos, que se encontram agregadas

em tufo de centenas de fibras individuais.

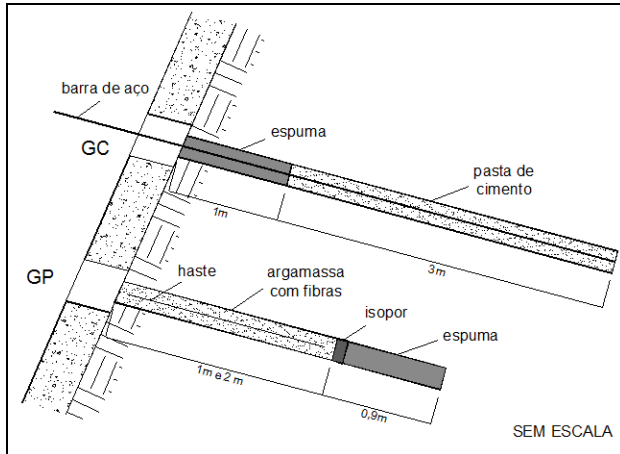


Figura 3. Esquema de execução dos grampos convencionais (GC) e não convencionais (GP).

Foram instalados dois grampos não convencionais com 1,0 m comprimento e quatro grampos não convencionais com 2,0 m de comprimento. Optou-se por esses comprimentos, sendo inferiores aos dos grampos convencionais, devido à necessidade de um sistema de reação robusto com capacidade portante adequada para a realização do ensaio de empurramento, permitindo a compressão da cabeça do grampo e seu deslocamento para o interior do talude.

No interior da argamassa reforçada com fibras, uma haste metálica de fina espessura e resistência desprezível, serviu de apoio para a fixação dos leitores de deformação (*strain gages*), para que durante os ensaios de campo fosse possível verificar a distribuição do carregamento ao longo dos grampos. Proto Silva (2005), Springer (2006), Nunes *et. al.* (2006), Feijó (2007), Leite (2007), França (2007), Saré (2007), Lima (2007), Silva e Bueno (2009), e Silva e Ehrlich (2010), entre outros autores, também utilizaram os mesmos extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*) em seus trabalhos de pesquisa. As hastes metálicas aqui utilizadas são consideradas desprezíveis pois comparando-se a área da seção transversal da haste (39 mm^2) com a área da seção transversal do grampo (7854 mm^2), constata-se que a mesma representa apenas 0,5% da área da seção transversal total, enquanto a área da seção transversal da barra de aço dos grampos convencionais (804 mm^2)

representa 10% da área da seção transversal total. Além disso, as hastes foram posicionadas sem estar em contato com a cabeça e a extremidade final dos grampos não convencionais, estando mergulhada na argamassa com fibras, diferentemente do que ocorre com as barras de aço dos grampos convencionais.

Nas extremidades finais dos grampos com fibras de polipropileno, opostas à face do talude, os furos foram prolongados em 0,90 m de comprimento, com o mesmo diâmetro. Essas perfurações foram preenchidas com espuma e isopor, tendo como objetivo permitir o deslocamento dos grampos para o interior do talude durante a execução dos ensaios de empurramento.

2.3 Descrição da Instalação dos Grampos

O processo executivo dos grampos convencionais iniciou-se com as perfurações no talude, seguido da injeção da pasta de cimento do fundo para a superfície dos furos (por gravidade) e posterior colocação das barras de aço envoltas por espuma em seu primeiro metro e centralizadores no restante das mesmas. Nos grampos convencionais não houve reinjeção. Já nos grampos não convencionais, após a realização das perfurações ocorreu a colocação da espuma no fundo dos furos, sequenciada pela colocação dos isopores, posicionamento das hastes com os *strain gages*, provindas de centralizadores e mangueiras de reinjeção. Por fim, foi realizada a preparação da mistura de argamassa com fibras de polipropileno e injeção (por gravidade) da mesma nos furos do fundo para a superfície. Após quatro horas da instalação dos grampos não convencionais no talude foi realizada uma reinjeção com pasta de cimento.

O traço em peso adotado para a pasta de cimento dos grampos convencionais foi de 1,0:0,44:0,009, sendo respectivamente cimento, água e aditivo plastificante. Este traço foi semelhante ao utilizado na injeção de grampos e tirantes da mesma obra. O traço em peso adotado para a argamassa com fibras de polipropileno foi de 1,0:0,44:0,1:0,005:0,009, sendo respectivamente cimento, água, areia,

fibras e aditivo plastificante. No preparo deste mistura foram utilizados como base os traços adotados por Magalhães (2005) e Leite (2007), e assegurando condições necessárias de trabalhabilidade no campo para o material compósito no estado fresco, as quais possibilitaram o processo de mistura e injeção no interior dos furos com êxito. Para a pasta de cimento utilizada na reinjeção dos grampos não convencionais, o traço em peso adotado foi de 1,0:0,5, sendo apenas cimento e água.

A Figura 4 apresenta a disposição em planta dos grampos convencionais (GC) e não convencionais (GP) no talude, com a respectiva nomenclatura adotada.

2.4 Ensaios de Campo

A resistência ao arrancamento de grampos (q_s), pode ser obtida através de ensaios de campo em verdadeira grandeza. O valor de q_s depende do diâmetro do furo (D), do comprimento ancorado ou injetado (L_a) e da carga máxima ($T_{máx}$), sendo expresso em unidade de tensão, normalmente kPa, e calculado pela equação:

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

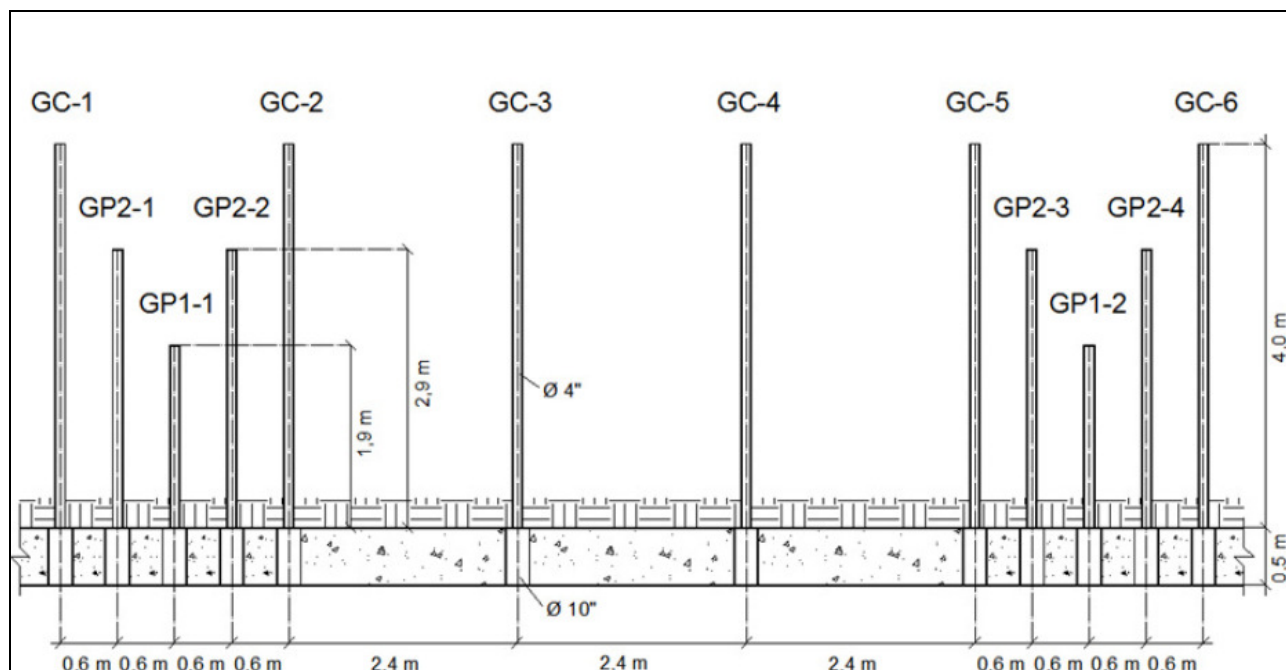


Figura 4. Disposição em planta dos grampos convencionais (GC) e não convencionais (GP) no talude.

2.4.1 Ensaio de Arrancamento

A resistência ao arrancamento dos grampos convencionais foi obtida através da realização de ensaios de arrancamento (Figura 5). Como embasamento para a realização deste ensaio foi adotada a descrição realizada por Proto Silva (2005), Magalhães (2005), Springer (2006) e Leite (2007).

Os principais equipamentos utilizados para a realização dos ensaios foram: dois medidores elétricos de deslocamento, uma célula de carga com capacidade de 600 kN, um conjunto

macaco hidráulico-bomba-manômetro de capacidade de 1000 kN, porcas, placas e um sistema de aquisição de dados ligado à energia elétrica. As medidas de força (fornecida pela célula de carga), deslocamento (fornecido pelos LVDTs) e deformação (fornecidos pelos *strain gages*) foram monitoradas de forma automática, pelo sistema de aquisição de dados, durante a realização dos ensaios de arrancamento. Os incrementos de carga foram aplicados através do conjunto macaco-bomba em acréscimos de 10 kgf/cm² de pressão lidos no manômetro. Ao ser atingida a condição de ruptura iniciava-se o

descarregamento e a finalização do ensaio.

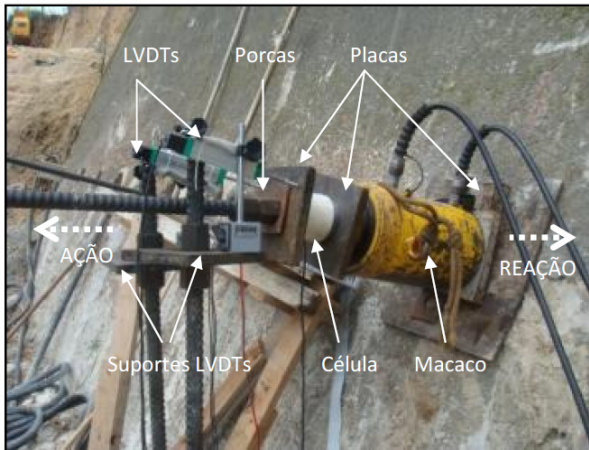


Figura 5. Sistema de aplicação de carga do ensaio de arrancamento.

2.4.2 Ensaio de Empurramento

A resistência ao arrancamento dos grampos não convencionais foi obtida através da realização de ensaios de empurramento (Figura 6).

O ensaio de empurramento buscou refletir os mesmos princípios do ensaio de arrancamento, tendo uma das extremidades livre para deslocar (no interior do talude) e outra onde as solicitações são impostas (na face). De acordo com Passini (2010), como hipótese básica assumiu-se que a solicitação por empurramento oferece uma resistência ao cisalhamento da interface solo-grampo igual à resistência ao arrancamento (q_s), determinada pelo ensaio padrão de arrancamento de grampos.

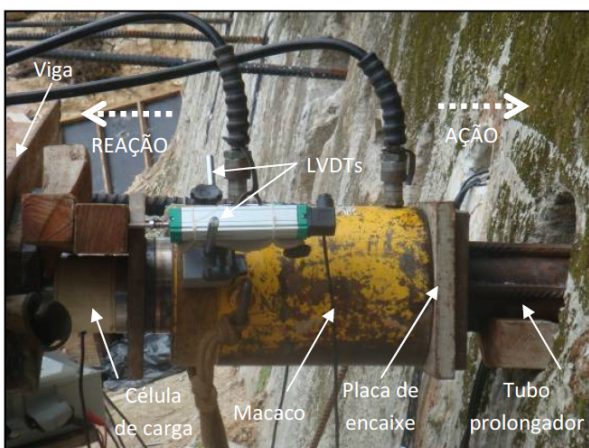


Figura 6. Sistema de aplicação de carga do ensaio de empurramento.

Os equipamentos utilizados e o procedimento seguido para o ensaio de empurramento foram

os mesmos do ensaio de arrancamento. Além desses equipamentos, foi utilizada uma viga de reação (Figura 7) apoiada e fixada às barras dos grampos convencionais, já ensaiados, externos à linha de grampos não convencionais a serem ensaiados. Também foi utilizado um tubo metálico prolongador para que o macaco hidráulico transmitisse a carga diretamente na cabeça do grampo, pois a mesma situava-se após o muro de concreto, no interior do talude.



Figura 7. Viga de reação utilizada nos ensaios de empurramento dos grampos com fibras.

3 REULTADOS

3.1 Ensaios de Caracterização dos Solos

O talude natural era composto por dois tipos de solos residuais de gnaiss não saturados: (i) solo residual jovem (SRJ) e (ii) solo de transição para alteração de rocha (TAR), caracterizados como areia siltosa. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram solos de resistências distintas e elevadas. A Tabela 1 apresenta as principais características físicas desses solos.

Tabela 1. Principais características físicas dos solos.

Material	SRJ	TAR
LL e LP (%)	NP	NP
γ_d (kN/m ³)	17.69	19.56
w (%)	7.64	5.35
Gs	2.621	2.629
e	0.445	0.320
Areia (%)	77	85
Silte (%)	19	13
Argila (%)	4	2
c (kPa)	0	0
ϕ (°)	37	54

Ambos os solos apresentaram foliação da rocha preservada, apresentando quartzo, feldspato, mica biotita e mica moscovita, entre outros minerais. O mergulho da foliação era de noroeste (NO) para sudeste (SE), dado pela vista frontal do talude, com caimento suave para o exterior. A coloração predominante do solo no local era amarela com concentrações brancas em alguns pontos e esbranquiçada em outros.

3.2 Ensaios de Caracterização dos Materiais Cimentícios

Os ensaios de caracterização da argamassa reforçada com fibras de polipropileno que compunha os grampos não convencionais e da pasta de cimento que compunha os grampos convencionais foram realizados com ensaios de compressão uniaxial e diametral, conforme Passini (2010). Os valores médios obtidos a partir dos ensaios são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de compressão uniaxial e diametral.

Material Cimentício	$\sigma_{cmédio}$ (MPa)	$E_{médio}$ (GPa)	$\sigma_{t,bmédio}$ (MPa)
Pasta de cimento	50.4	24.9	3.1
Argamassa com fibras	32.7	20.6	2.8

A relação entre a resistência à tração e a de compressão na argamassa com fibras foi de 8,56%, sendo superior a relação entre a resistência à tração e a de compressão da pasta de cimento (6,15%), demonstrando a atuação das fibras. Através dos ensaios constatou-se que a pasta de cimento apresenta comportamento frágil, rompendo de maneira brusca e a argamassa com fibras apresenta comportamento dúctil, apresentando fissuras as quais são costuradas pelas fibras, restringindo a fragmentação do corpo-de-prova e aumentando a sua capacidade de deformação devido à distribuição dos esforços internos. O material compósito apresentou resistência residual, indicando a influência das fibras na melhoria das condições pós-pico do corpo-de-prova.

3.3 Resistência ao Arrancamento

As curvas carga-deslocamento (Figura 8) providas dos ensaios de campo de arrancamento em grampos convencionais e empurramento em grampos com fibras de polipropileno mostraram comportamento semelhantes entre grampos do mesmo modelo, além de apresentar modo de ruptura dúctil em todos os ensaios. A partir das curvas carga-deslocamento obtiveram-se os valores de rigidez média igual a 28,5 kN/mm para os grampos convencionais e 4,9 kN/mm para os grampos com fibras de polipropileno.

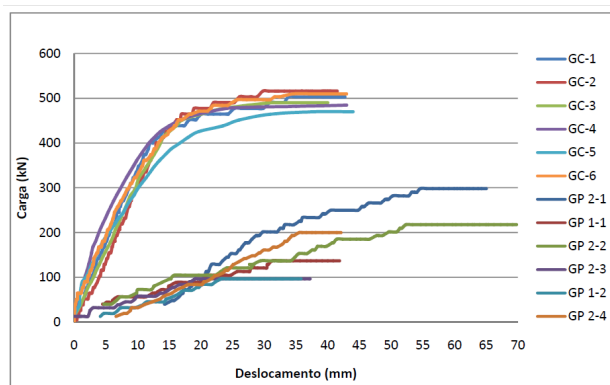


Figura 8. Curvas carga-deslocamento dos grampos.

A resistência ao arrancamento média dos grampos convencionais foi de 516 kPa e a resistência ao arrancamento média dos grampos com fibras de polipropileno foi igual a 321 kPa, ou seja, 62% da resistência ao arrancamento dos grampos convencionais.

Este resultado de 62% é corroborado por Magalhães (2005) e Leite (2007), os quais obtiveram os valores de resistência ao arrancamento de grampos com as mesmas fibras de polipropileno na ordem de 50% e 60%, respectivamente, dos obtidos para grampos convencionais, também ensaiados ao arrancamento.

Os valores elevados de resistência ao arrancamento (q_s) tanto para os grampos convencionais como para os grampos com fibras justifica-se pelos materiais muito resistentes que compunham o talude. As variações de q_s entre os resultados obtidos para cada um dos tipos de grampos justifica-se pela heterogeneidade do talude natural.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de campo de arrancamento realizados

nos grampos convencionais e empurramento realizados nos grampos não convencionais.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de campo dos grampos.

Grampos	$F_{m\acute{a}x}$ (kN)	Desl. (mm)	q_s (kPa)
GC-1	478	27.4	507
GC-2	503	26.1	534
GC-3	490	30.9	520
GC-4	480	27.2	509
GC-5	464	30.9	493
GC-6	503	31.6	534
GP 2-1	298	54.6	475
GP 1-1	137	31.2	397
GP 2-2	218	52.4	330
GP 2-3	97	19.1	140
GP 1-2	97	23.2	268
GP 2-4	200	35.5	289

A distribuição do carregamento ao longo do comprimento dos grampos não convencionais (Figura 9), foi triangular (não linear) e decrescente da cabeça para a ponta do grampo. Este padrão de distribuição confirma a adequação do método de ensaio por empurramento do grampo com fibras, na obtenção da resistência ao arrancamento.

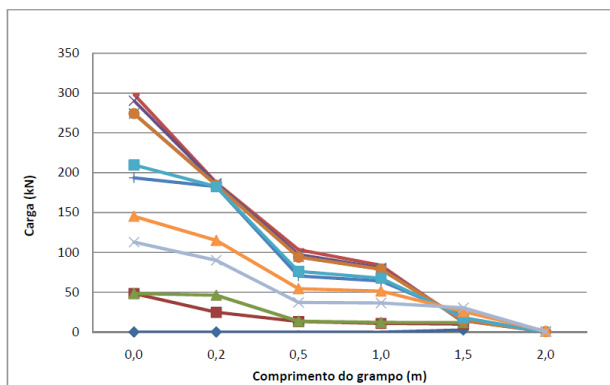


Figura 9. Distribuição de carga ao longo do grampo não convencional GP 2-1.

Proto Silva (2005), Springer (2006), França (2007), Leite (2007), Silva e Bueno (2009) e Silva e Ehrlich (2010), entre outros autores, instrumentaram seus grampos, e também obtiveram distribuições do carregamento de forma triangular decrescente, partindo da cabeça do grampo em direção a extremidade oposta, ratificando as afirmações de Clouterre (1991).

3.4 Exumação dos Grampos

A exumação dos grampos (Figura 10) com e sem fibras permitiu constatar que os grampos foram executados com qualidade, através da excelente adesão dos mesmos com o solo circundante, além de permitir a constatação das reais características geométricas e os tipos de solos e estruturas geológicas presentes ao longo do comprimento dos grampos.

Todos os grampos não convencionais estavam inseridos em solo residual jovem de gnaiss (SRJ). Já os grampos convencionais estavam com aproximadamente seus três metros iniciais em solo residual jovem (SRJ) e o restante em material de transição para alteração de rocha (TAR). Esta constatação pode justificar os valores mais elevados de q_s para os grampos convencionais quando comparados aos grampos não convencionais.

O solo residual jovem (SRJ) situava-se entre a face e o solo de transição para alteração de rocha (TAR), o qual encontrava-se mais para o interior do talude, a partir de aproximadamente 3,5 m da face, na cota de instalação dos grampos convencionais e não convencionais.



Figura 10. Exumação dos grampos.

A exumação também confirmou que as barras aço dos grampos convencionais não escoaram e nem romperam, demonstrando que o arrancamento dos grampos se deu no contato solo-grampo. A possibilidade de ocorrência deste fato existia pois cargas superiores a 464 kN foram atingidas em todos os ensaios de arrancamento, sendo mais elevadas que a carga de escoamento (400 kN) e de ruptura (440 kN) fornecidas pelo fabricante das barras de aço

utilizadas na composição dos grampos convencionais.

4 CONCLUSÕES

Os grampos com fibras de polipropileno por dispensarem as barras de aço, não possuem um elemento de ligação com a face, assim esses grampos não transmitem tensões à mesma ($T_o=0$). Tais grampos podem ser utilizados em casos de taludes suaves e taludes íngremes que dispensam faces estruturalmente resistentes, sendo esta com função secundária na estabilização, objetivando basicamente evitar rupturas localizadas entre grampos e controle dos processos erosivos.

A resistência ao arrancamento média dos grampos não convencionais foi 62% da resistência ao arrancamento média dos grampos convencionais, sendo considerando um excelente resultado.

A utilização de grampos compostos por argamassa reforçada com fibras de polipropileno (sem barra) é viável, uma vez que oferece vantagens econômicas por dispensar o emprego das barras de aço e por apresentar metodologia executiva rápida, constituída por apenas duas etapas fundamentais: perfuração e injeção da argamassa com fibras, visto que o grampeamento convencional acresce a etapa de preparação e colocação das barras de aço. Mesmo assim, muito ainda deve ser estudado e desenvolvido a respeito, como pesquisas em solos homogêneos utilizando grampos de mesmo comprimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa SEEL – Serviços Especiais de Engenharia, pelo apoio durante os trabalhos de campo e ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

Clouterre, (1991). *Recommendations Clouterre – Soil Recommendations for Designing, Calculating,*

Constructing and Inspecting Earth Support Systems Using Soil Nailing, French National Project Clouterre, English Language Translation, 302p.

França, F. A. N. (2007) *Ensaio de Arrancamento em Solo Grampeado Executado em Laboratório*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 125p.

Feijó, R. L. (2007) *Monitoração de uma Escavação Experimental Grampeada em Solo Residual Gnáissico não Saturado*. Tese de Doutorado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 157p.

Leite, R. A. (2007) *Mobilização de Resistência ao Arrancamento de Grampos com Fibras de Polipropileno*. Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 152p.

Lima, A. P. (2007) *Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaisse*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 431p.

Magalhães, M. A. (2005) *Resistência ao Arrancamento de Grampos com Fibras de Polipropileno*. Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 124p.

Nunes, A. L. L. S.; Sayão, A. S. F. J.; Springer, F. O.; Lima, A. P.; Saré, A. R.; Dias, P. H. V. (2006) Instrumentação e Monitoramento de Taludes em Solo Grampeado. In: *10º Congresso Nacional de Geotecnia de Portugal*, Sociedade Portuguesa de Geotecnia - SPG, Lisboa, Portugal, v. 1, p. 175-186.

Passini, L. B. (2010) *Comportamento Mecânico de Grampos com Fibras de Polipropileno*. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Civil, COPPE-UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 212p.

Proto Silva, T., (2005) *Resistência ao Arrancamento de Grampos em Solo Residual de Gnaisse*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-RIO, 140p.

Saré, A. R. (2007) *Comportamento de Escavação Grampeada Instrumentada em solo Residual*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-RIO, 336p.

Silva, D. P.; Bueno, B.S. (2009) Avaliação de Diferentes Metodologias Executivas de Chumbador a Partir de Ensaio de Arrancamento em Campo, In: *COBRAE 2009*, São Paulo, 10p.

Silva, D. P.; Bueno, B. S.; Miranda, S. B. (2010). Análise de Ensaio de Arrancamento de Chumbadores Executados em Dois Horizontes de Solos Distintos e Com Diferentes Metodologias Executivas, In: *COBRAMSEG 2010 ABMS*, Rio Grande do Sul, 8p.

Silva, R. C.; Ehrlich, M. (2010) Monitoração de estrutura de contenção em solo grampeado com faceamento em blocos segmentais, In: *COBRAMSEG 2010 ABMS*, Rio Grande do Sul, 9p.

Springer, F. O. (2006) *Ensaio de Arrancamento de Grampos em Solo Residual de Gnaisse*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-RIO, 309p.