

Reinjeção Setorizada: Estado da Arte e Princípios do Desenvolvimento

Max Gabriel Timo Barbosa
Doutorando, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, maxtimo@gmail.com

George Joaquim Teles de Souza
Sócio Diretor, Solotrat, São Paulo, Brasil, georgeteles@solotrat.com.br

Alberto Casati Zirlis
Consultor, São Paulo, Brasil, zirlis.alberto@gmail.com

André Pacheco de Assis
Professor Titular, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, aassis@unb.br

Renato Pinto da Cunha
Professor Titular, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, rpcunha@unb.br

RESUMO: Este artigo mostra uma técnica desenvolvida no Brasil para a execução de grampos, chamada de reinjeção setorizada. As principais influências deletérias à resistência ao arrancamento no processo executivo de grampos foram ilustradas e uma técnica alternativa foi procurada para compensar esses efeitos. Após validação qualitativa e quantitativa, foram analisadas sete obras com a técnica alternativa, cada uma com mais de dois mil grampos. Os resultados demonstraram diferenças de desempenho entre a técnica convencional, de injeção por gravidade, e a técnica de reinjeção setorizada, com aumento da resistência ao arrancamento considerável. Hipotetizou-se que os resultados superiores são devido a um aumento da injetabilidade do maciço, uma maior área lateral devido a maiores volumes de injeção, aumento da resistência ao cisalhamento do solo circundante, principalmente devido ao aumento da dilatância entre maciço e grampo provido pela reinjeção setorizada.

PALAVRAS-CHAVE: Reinjeção Setorizada, Injeção Pressurizada, Resistência ao Arrancamento, Grampos, Solo Grampeado.

ABSTRACT: This article shows a technique developed in Brazil for the execution of nails, called sectorized post grouting. The main deleterious influences on the pullout resistance in the executive process of nails were illustrated and an alternative technique was sought to compensate for these effects. After qualitative and quantitative validation, seven works were analyzed with the alternative technique, each with more than two thousand nails. The results demonstrated performance differences between the conventional technique, of gravity grouting, and the sectorized post grouting technique, with increased pullout resistance to the alternative technique. It was hypothesized that the superior results are due to an increase in the groutability of the soil mass, a larger lateral area due to higher grouting volumes, increased resistance to shear of the surrounding soil, mainly due to an increased dilatancy between the soil mass and the nail provided by sectorized post grouting.

KEYWORDS: Sectorized Post Grouting, Pressurized Grouting, Pullout Resistance, Nails, Soil Nailing

1 Introdução

O solo grampeado é uma técnica de reforço de solos utilizada para conter encostas existentes e para construção de contenções de subsolos. Para o comportamento adequado da contenção em solo grampeado, a resistência da interface de inclusões resistentes à tração inseridas no solo, chamadas grampos, precisa alcançar um valor alvo de resistência ao arrancamento, parâmetro chamado q_s . Em solos tropicais, cuja gênese

geralmente resulta em uma sensibilidade ainda maior às técnicas de perfuração empregadas para a fabricação de grampos, pode haver características que dificultam o alcance do q_s almejado. Assim, para compensar o desconfinamento da cavidade furo por perfuração e compactar o solo pela expansão da cavidade sendo injetada, a injeção pressurizada vem substituindo a técnica convencional de injeção gravitacional para preenchimento das cavidades.

A maioria das técnicas de injeção pressurizada relatadas na literatura internacional alcançam melhores resultados do que o método convencional de injeção de gravidade, majoritariamente utilizando a injeção de estágio único. No entanto, em um único estágio de injeção, o efeito da exsudação do ligante, provável de ocorrer em qualquer tipo de solo, resultando em vazios entre o grampo e o solo, reduzindo a área lateral do grampo e, conseqüentemente, a resistência de sua interface, não é compensado.

Uma técnica, chamada de reinjeção setorizada, que não só compensa o desconfinamento da cavidade, mas também reduz a influência deletéria da exsudação, é descrita. A concepção e eficácia da reinjeção setorizada foram avaliadas inicialmente pela exumação dos grampos em um campo experimental em solo tropical. A notável rugosidade superficial da interface, a maior dilatância esperada dos grampos pós-injeção e evitando o retrabalho devido a resistências de arrancamento não atingidas motivaram o uso da técnica em obras reais de solo grampeado.

Este artigo relata o desenvolvimento da técnica e testes de arrancamento em contenções de solo grampeado no Brasil, em que todos os grampos foram executados por reinjeção setorizada, possibilitando comparar os resultados entre a injeção convencional por gravidade e os obtidos pela reinjeção setorizada. Essa comparação permite a avaliação da eficácia da reinjeção setorizada e estimativa de resistência ao arrancamento em trabalhos futuros de reinjeção setorizada.

2 Grampos Executados com Injeção Convencional

A execução convencional da técnica de solo grampeado começa com a perfuração; assim, há um desconfinamento local da massa do solo, com plastificação progressiva e deslocamentos induzidos em direção ao interior do furo, resultando em um material com piores propriedades geotécnicas ao redor do furo. Posteriormente, a calda de cimento, ligante comumente utilizado, é injetado do fundo do furo até a superfície deste, como visto na Figura 1.

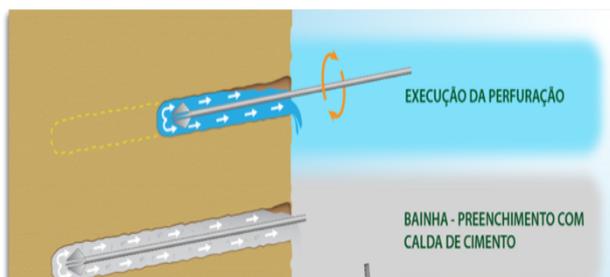


Figura 1. Perfuração e injeção do furo, nesse exemplo considerando a água como fluido de perfuração e a calda de cimento como ligante (modificado – Zirlis et al., 2015)

Na injeção convencional, em que não há pressão de injeção, o entorno do maciço não retorna ao estado de tensões pré-perfuração e a aderência da interface do grampo ao solo, apesar de oferecer resistência ao arrancamento, é menor do que possível se as propriedades do maciço estivessem intactas, por exemplo, sem desconfinamento e com as mesmas propriedades geotécnicas antes da perfuração.

Assim propôs-se uma técnica que ao menos restaure as tensões iniciais em torno do maciço antes da perfuração. Essa alternativa foi concebida como uma opção mais viável do que a solução para aumentar o número de grampos em uma contenção de solo grampeado, uma solução ainda usada para compensar a menor resistência ao arrancamento disponível.

Para alcançar o objetivo de usar o menor número de grampos e evitar o retrabalho, pensou-se em um

sistema no qual houvesse possibilidade de injeção pressurizada.

Su et al. (2008) relataram descobertas de que a resistência ao arrancamento de grampos dificilmente depende das tensões *in situ*, no solo grampeado com injeção convencional, uma hipótese confirmada por Yin & Zhou (2009) que também encontraram uma dependência da resistência ao arrancamento à pressão de injeção. Yin et al. (2009), Hossain & Yin (2011), Seo et al. (2012), Hong et al. (2013) e Wang et al. (2017) também observaram um aumento na resistência ao arrancamento devido à pressão de injeção, para casos pressurizados de injeção em estágio único. No entanto, o método de execução de grampos concebido nos artigos acima mencionados não compensa os efeitos devido à exsudação do ligante, exigindo aditivos específicos para abordar os efeitos de retração dos ligantes, deletérios devido à dilatação reduzida no arrancamento (Moosavi et al., 2005).

Além disso, alguns solos não permitem a introdução efetiva de obturadores simples, método empregado nos estudos de Seo et al. (2012) e Hong et al. (2013), nem o uso de obturação dos furos junto à face da contenção, método usado por Yin et al. (2009) e Houssain & Yin (2011) 1).

Assim, a concepção da reinjeção setorizada adveio da necessidade de uma metodologia que poderia ser utilizada independentemente do tipo de maciço, inspirada na execução da injeção *tube-à-manchette* (TAM).

3 Desenvolvimento da Reinjeção Setorizada

Camberfort (1968), ao estudar a técnica TAM, observou a possibilidade de reinjeção por "*clacagem*", alterando o maciço para não apenas recondicionar o entorno do furo para as tensões *in situ*, mas também para aumentar a tensão principal menor (σ_3) para um estado superior aos níveis existentes. Como a técnica foi encontrada para densificar o solo ao redor do furo, o ângulo de dilatação do solo teria tendências de aumentar (Roscoe, 1970). A injeção TAM também está associada a ganhos na resistência ao cisalhamento em solos e é uma técnica de reinjeção muito eficaz em tirantes (Kim et al., 2012).

Recentemente, um grampo inovador foi apresentado por Cheng et al. (2013), que estudou a injeção TAM associada a grampos de fibra de vidro e relatou a melhora não só do ângulo de dilatação, como relatado por Seo et al. (2012), mas também da resistência ao cisalhamento da argila mole que havia sido injetada, devido à consolidação.

Embora a injeção TAM possa obter uma melhoria eficaz na resistência ao cisalhamento dos solos e na resistência ao arrancamento de grampos, este ainda é um método demorado e de uso intensivo de mão-de-obra, reduzindo a viabilidade do uso em contenções de solo grampeado, que, geralmente, apresentam uma alta densidade de grampos por metro quadrado.

Por isso, à época da concepção da técnica, foi desenvolvida uma metodologia análoga à injeção TAM, mas que resultaria em uma execução mais rápida, resultando em menos retrabalho e uso de mão-de-obra, com equipamentos menos sofisticados, com melhora semelhante na resistência ao arrancamento dos grampos e na resistência ao cisalhamento do maciço circundante. A Figura 2 mostra os detalhes esquemáticos e reais dos grampos, antes da inserção no furo da armação. A Figura 3 ilustra os passos da reinjeção setorizada.

A Figura 4 ilustra grampos de ensaio em argilas moles normalmente consolidadas executados para avaliar qualitativamente a técnica em termos de diâmetro médio e rugosidade superficial, uma vez que maior diâmetro e superfícies mais ásperas resultam numa resistência ao arrancamento mais alta.

Como visto na Figura 2, a técnica consiste na associação de tubos plásticos flexíveis (geralmente de polietileno) inseridos no furo, ao longo dos grampos. Os tubos são selados nas extremidades, sendo frágeis em certos pontos ao longo de seu comprimento em lugares, locais em que a calda deve ser reinjetada.

Esses pontos frágeis, comumente referidos como válvulas, são aqueles onde buracos ou rasgos na mangueira são feitos, protegidos apenas por uma fita de goma, ou similar, para isolar o interior dos tubos durante a inserção dos grampos no furo e evitar que a calda de cimento injetada na bainha entre nesses tubos de reinjeção.

Os tubos, como visto na Figura 2, compreendem todo o comprimento do furo, a fim de reinjetar uniformemente os grampos e evitar quaisquer pontos que possam prejudicar a resistência ao arrancamento devido aos efeitos deletérios da exsudação da calda de cimento e o desconfinamento do furo.

Após 12 a 24h de feita a injeção por gravidade, a reinjeção setorizada é realizada. Isso é feito por meio

de um obturador simples inserido na extremidade superior de cada tubo, com a calda de cimento reinjetada quebrando as válvulas nos pontos onde há menor confinamento, i.e., maior injetabilidade. Como a reinjeção é realizada na extremidade superior dos tubos, o uso de um obturador duplo é evitado, economizando tempo e custos de mão-de-obra.

Embora a Figura 2 mostre um grampo instalado com três tubos, o número destes depende do comprimento dos grampos. Nos trabalhos experimentais, como o visto na Figura 4, verificou-se que cada setor com válvulas, em termos de rugosidade superficial, poderia satisfatoriamente reinjetar o solo, ou seja, com rugosidade superficial muito maior do que um grampo perfeitamente cilíndrico, em até 3,0 m. Rasgos feitos em trechos acima de 3,0 m resultaram em menor rugosidade superficial. Por exemplo, considerando essas observações, um grampo com 9,0 m teria pelo menos três tubos instaladas ao longo da barra de reforço, cada um com 3,0 m de região fragilizada com válvulas, conforme visto na Figura 3.

Para volumes similares de calda de cimento injetada, em que o volume total de injeção é composto pelo volume de injeção injetado através de injeção por gravidade adicionado ao volume injetado através da reinjeção setorizada, o diâmetro médio era aproximadamente o mesmo, mas com superfície muito mais rugosa quando a reinjeção setorizada foi utilizada. Os resultados promissores quanto à rugosidade dos grampos e o confinamento superior provido devido a altas pressões de injeção motivaram a execução de grampos por meio da técnica de reinjeção setorizada, a fim validar quantitativamente a técnica em ensaios de arrancamento.



Figura 2. Detalhe dos tubos perdidos deixados para a reinjeção, juntos à armação do grampo e aos centralizadores

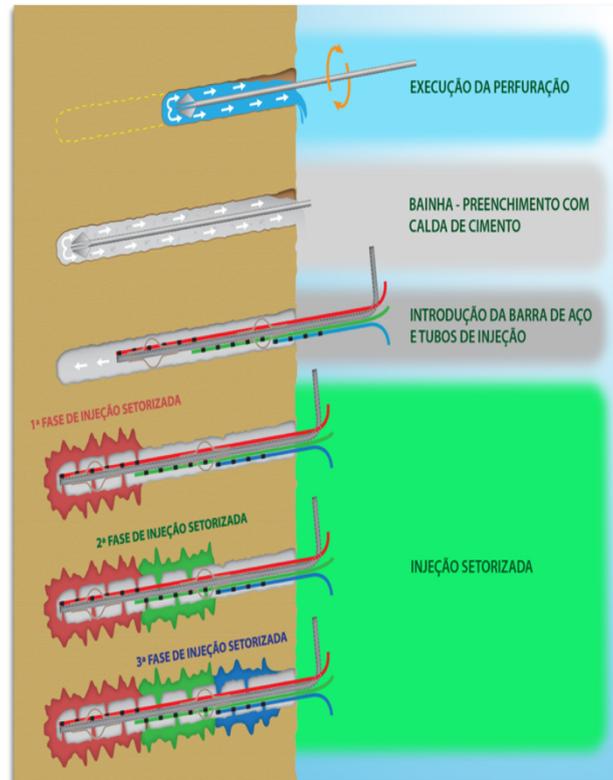


Figura 3. Metodologia de reinjeção, enfatizando a maior rugosidade superficial gerada



Figura 4. Exumação de grampos que foram injetados pela técnica de reinjeção setorizada, em que a maior rugosidade da superfície pode ser vista. (Zirlis et al., 2015)

3.1 Ensaios de arrancamento em argilas

Para estes ensaios, foram utilizadas seis barras de aço de escoamento de 240 kN e 22,25 mm, com comprimento de 3 metros. O comprimento livre era de 1,0 m, necessário porque ao aplicar a carga de tração na barra, a superfície do talude e o solo são submetidos a cargas de compressão, podendo resultar em resultados imprecisos. Os furos foram perfurados com uma perfuratriz manual e a injeção de calda de cimento, feita de baixo para cima do furo, previamente agitada em um misturador de alta turbulência, possuía fator água-cimento

de 0,5. O comprimento livre foi envolto por graxa grafitada e um tubo protetor, minimizando o atrito no trecho livre. O esquema dos ensaios de arrancamento pode ser visto nas Figuras 5 e 6.

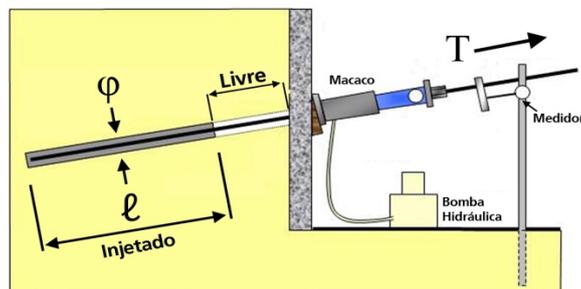


Figura 5. Esquema de ensaio de arrancamento. Comprimento livre de 1,0 m e comprimento injetado de 2,0 m



Figura 6. Montagem do ensaio de arrancamento. Os grampos tinham comprimento total de 3,0 m e comprimento livre de 1,0 m. Utilizou-se uma estrutura de suporte junto à face do talude

Três dos grampos foram executados utilizando a injeção por gravidade. Os outros três grampos foram executados utilizando reinjeção setorizada, com um tubo de polietileno com pontos frágeis a cada 0,5 m na extensão da injeção de 2,0 m.

Os LVDTs foram instalados na estrutura de suporte para medir os deslocamentos. Em cada etapa de carregamento, os critérios de estabilização foram respeitados, com leituras sendo realizadas nos seguintes intervalos de tempo: 0 min; 1 min; 2 min; 4 min; 8 min; 15 min; 30 min e 60 min. Foi adotado um critério que considerou que caso houvesse 1 mm de deslocamento, mas menos de 1% de aumento na carga medida, o grampo havia atingido a carga máxima de ensaio. A Tabela 1 resume os resultados dos testes, em que N é o número de golpes do teste SPT.

Tabela 1. Tipo de solo, N, e q_s de cada trabalho

Grupo	Tipo de solo	Tipo de injeção	N	q_s (kPa)
1	Argila	I.G.	2	62
2	Argila	I.G.	2	73
3	Argila	I.G.	2	67
4	Argila	R. S.	2	114
5	Argila	R. S.	2	120
6	Argila	R. S.	2	122

I.G – Injeção por gravidade

R.S. – Reinjeção setorizada

Ao observar a reinjeção setorizada da Tabela 1 pode-se observar a eficácia da técnica, ao menos na argila, com uma melhoria média de 176% na resistência ao arrancamento. A Figura 7 mostra as curvas de carga-deslocamento dos grampos injetados por gravidade e a Figura 8 dos grampos executados via reinjeção setorizada. As curvas carga-deslocamento dos grampos executados com a reinjeção setorizada eram visivelmente mais lineares do que as curvas de carga-deslocamento dos grampos injetados por gravidade, sugerindo melhor previsibilidade dos grampos executados por meio da reinjeção setorizada.

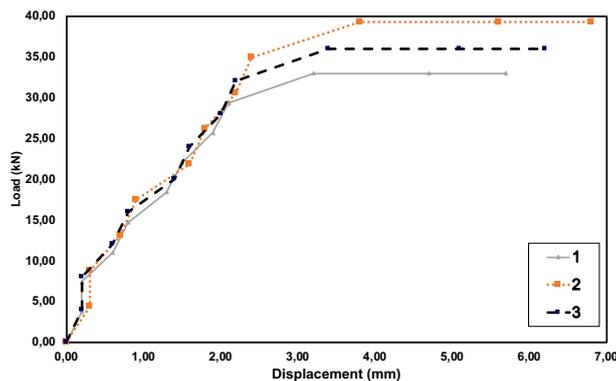


Figura 7. Curvas de carga-deslocamento de grampos injetados por gravidade

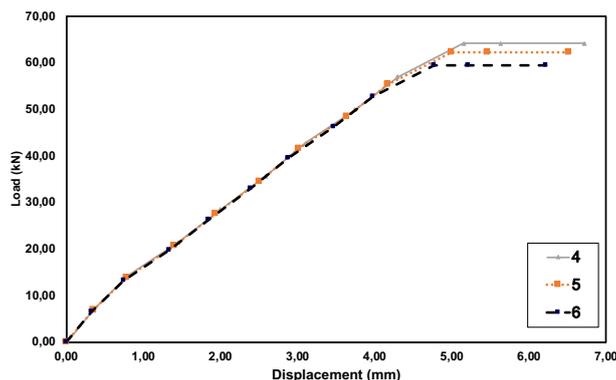


Figura 8. Curvas de carga-deslocamento de grampos executados pela técnica de reinjeção setorizada

Motivados por esses resultados, foram realizadas contenções reais de solo grampeado utilizando a reinjeção setorizada, em diferentes solos. Durante esses trabalhos tentou-se verificar por ensaios de arrancamento a suposição de que a melhoria na argila seria repetida em outros tipos de solos.

4 Ensaios de arrancamento em obras com grampos executados por meio da reinjeção setorizada

A partir dos experimentos bem-sucedidos de reinjeção setorizada em argila e com a evidência que a injeção pressurizada obtém melhor resistência ao arrancamento em solos onde a sucção não é excessiva, contenções em solo foram construídas utilizando a técnica de reinjeção setorizada em sete obras diferentes no Brasil. Cada obra tinha um solo característico.

Essas obras, apresentavam, cada uma, acima de 1500 grampos. Estes grampos foram testados de maneira idêntica ao visto nas obras experimentais em argila, com 1 m de comprimento livre, mas com 3,0 m de comprimento ancorado.

Os ensaios foram realizados em 1,0% dos grampos de cada obra, resultando em cerca de 15 ensaios por obra executada com a metodologia de reinjeção pressurizada. Uma fotografia de uma dessas obras pode ser vista na Figura 9.



Figura 9. Vista de uma das contenções em solo grampeado utilizando a técnica de reinjeção pressurizada – altura de contenção de 17,7 m

Ensaio de campo foram feitos no início de cada trabalho, em grampos cujas elevações estavam a uma profundidade máxima de 4,0 m. Os resultados foram computados relacionando a resistência ao arrancamento ao número de golpes N do teste SPT, o ensaio de campo mais utilizado no Brasil. A Tabela 2 mostra, para cada obra, o tipo de solo, o N, a média da resistência ao arrancamento q_s (μq_s) e o desvio padrão de q_s (σq_s).

Embora não seja a ideal, a relação feita entre N e q_s foi utilizada por Ortigao & Palmeira (1997), é uma útil estimativa, amplamente utilizada no Brasil para estimar a resistência ao arrancamento de grampos e projetar contenções em solo grampeado de maneira econômica. A Figura 10 resume os resultados obtidos nos ensaios de campo, mostrando a relação obtida, vista na Equação 1, ao mesmo tempo em que mostra a relação obtida por Ortigao & Palmeira (1997) para obras de controle de alta qualidade realizadas com injeção por gravidade, vista na Equação 2.

Tabela 2. Tipo de solo, N, μq_s e σq_s de cada trabalho

Obra	Tipo de solo	N	μq_s (kPa)	σq_s (kPa)
1	Argila porosa	10	126	8,4
2	Silte argiloso	8	243	21,2
3	Aterro e solo residual	8	130	2,9
4	Silte Arenoso	9	277	18,9
5	Silte argiloso	15	212	23,0
6	Areia argilosa	20	284	32,9
7	Saprólito	30	376	42,5

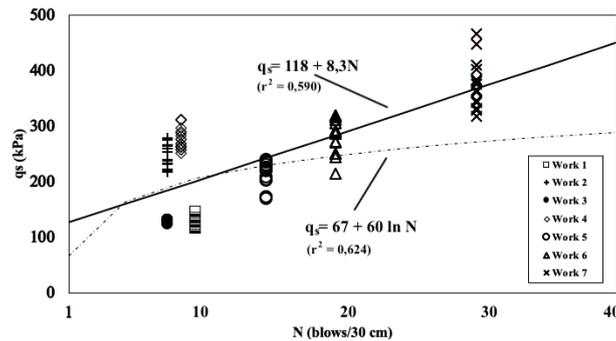


Figura 10. Gráfico N (número de golpes / 30 cm) vs q_s (kPa). Cada obra tem 15 resultados no gráfico. A linha contínua representa os resultados deste artigo e a linha tracejada os obtidos por Ortigao & Palmeira (1997)

$$q_s = 118 + 8,3. N \quad (1)$$

$$q_s = 67 + 60. \ln N \quad (2)$$

Enfatiza-se que a obra 1 e a obra 3 foram executadas em solos problemáticos. A obra 3 foi realizada em um aterro não consolidado em que a resistência esperada era de 75 kPa, 58% inferior aos resultados que foram obtidos em campo. Ortigao & Palmeira (1997) também coletaram dados de argila porosa, característica da obra 3 e estes resultados apresentaram resistência de arrancamento 53% inferior às obtidas nos ensaios da obra 1. Dessa forma, desconsiderando os resultados da obra 1 e da obra 3, obtém-se a correlação vista na Figura 11 e apresentada na Equação 3.

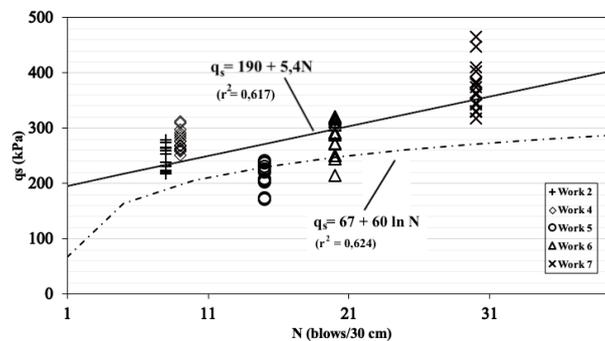


Figura 11. Gráfico N (número de golpes / 30 cm) vs q_s (kPa). A linha contínua representa a correlação das Obras 2, 4, 5, 6 e 7 resultados e a linha tracejada a relação obtida por Ortigao & Palmeira (1997)

$$q_s = 190,24 + 5,38. N \quad (3)$$

5 Discussão

Os principais resultados deste estudo demonstram que a técnica de reinjeção setorizada alcança maior resistência ao arrancamento do que as resistências obtidas em grampos executados por injeção gravitacional. Essa tendência foi encontrada para todos os tipos de solo testados, confirmando estudos de Yin et al. (2009), Hossain & Yin (2011), Seo et al. (2012), Hong et al. (2013) e Wang et al. (2017) para injeções pressurizadas.

Apesar da dispersão significativa, ficou evidente que a reinjeção setorizada consegue maior resistência ao arrancamento do que os resultados encontrados por Ortigao & Palmeira (1997) para grampos injetados por gravidade.

De acordo com os resultados, a ação da injeção pressurizada, para argilas normalmente consolidadas, argilas não consolidadas, areias, silte e pedregulhos, resultou em maior resistência na interface dos grampos e,

consequentemente, um q_s mais alto.

Notavelmente, para o silte arenoso de São Paulo, houve um aumento de mais de 400% na resistência ao arrancamento. Para a argila porosa, que apresentou o menor aumento na resistência de arrancamento dos grampos, houve aumento de 58%, quando comparado aos resultados ilustrados por Ortigao & Palmeira (1997).

Os resultados em silte foram os mais surpreendentes, devido ao aumento considerável de q_s , mesmo para menores N. Presume-se que esse comportamento dos maciços compostos principalmente de silte se deve ao maior confinamento gerado ao redor do grampo, à maior rugosidade gerada pela injeção pressurizada e ao menor espaçamento entre grampos das contenções em siltes, até 1,3 m, possivelmente compensando a menor coesão de solos predominantemente siltosos.

6 Conclusões

Depois de observar as principais influências deletérias à resistência ao arrancamento em grampos injetados por gravidade e o possível aumento da dilatância devido à injeção pressurizada uma técnica alternativa de execução de grampos, chamada de reinjeção setorizada, foi concebida.

A técnica visa, por meio de tubos colocados ao longo de toda a extensão dos grampos, realizar reinjeções pressurizadas em pontos fracos desses tubos perdidos, chamados válvulas.

Neste artigo, a técnica de reinjeção setorizada foi testada qualitativamente, quantitativamente e também validada por meio de ensaios de arrancamento em 7 obras. Verificou-se que a técnica apresentou melhores resultados devido a vários fatores. A melhora da resistência ao cisalhamento do maciço ao redor do grampo além da manutenção e aumento do confinamento proporcionado pela tensão principal menor e o aumento da dilatância devido à reinjeção setorizada. Além disso, devido a maiores volumes de injeção do que o volume teórico dos furos, houve uma expansão da área de injeção e, consequentemente, uma maior resistência ao arrancamento. Mesmo assim, sugere-se que novos estudos possam quantificar separadamente a influência de cada um desses fatores e também estimar a diferença entre grampos ensaiados isoladamente e grampos ensaiados em grupo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos diversos empreiteiros e projetistas que permitiram o uso dos dados neste artigo. Reconhecemos também a importância pioneira e fundamental de Cairbar Azzi Pitta, *in memoriam*, no desenvolvimento e melhoria da técnica de reinjeção setorizada apresentada neste artigo. Também agradecemos ao apoio de Max Valério Rodrigues Barbosa, da Solotrat, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camberfort, H. (1968). Soil Injection (in Spanish). Ediciones Omega, Barcelona, ES, 532 p.
- Cheng, Y. M., Au, S. K., Pearson, A. M., & Li, N. (2013). An innovative Geonail System for soft ground stabilization. *Soils and foundations*, 53(2), 282-298.
- Hong, C. Y., Yin, J. H., Pei, H. F., & Zhou, W. H. (2013). Experimental study on the pullout resistance of pressure-grouted soil nails in the field. *Canadian geotechnical journal*, 50(7), p. 693-704.
- Hossain, M. A., & Yin, J. H. (2011). Influence of grouting pressure on the behavior of an unsaturated soil-cement interface. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 138(2), p.193-202.
- Kim, T. S., Sim, B. K., Kim, J. S., Lee, S. W., & Lee, I. M. (2012). Effect of pressurized grouting on anchor behavior in residual soils In *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground* (pp. 547-554). CRC Press.
- Moosavi, M., Jafari, A., & Khosravi, A. (2005). Bond of cement grouted reinforcing bars under constant radial pressure. *Cement and Concrete Composites*, 27(1), pp. 103-109.



- Ortigão J A R & Palmeira E M (1997) Optimised design for soil nail walls. Proc. 3rd Intern Conf. On Ground Improvement Geosystems. London, Telford pp 368-374
- Roscoe, K. H. (1970). The influence of strains in soil mechanics. *Geotechnique*, 20(2), 129-170.
- Seo, H. J., Jeong, K. H., Choi, H., & Lee, I. M. (2012). Pullout resistance increase of soil nailing induced by pressurized grouting. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(5), pp. 604-613.
- Su, L. J., Chan, T. C., Yin, J. H., Shiu, Y. K., & Chiu, S. L. (2008). Influence of overburden pressure on soil-nail pullout resistance in a compacted fill. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 134(9), 1339-1347.
- Wang, Q., Xinyu, Y., Shanyong, W., Sloan, S.W., Sheng, D. (2017). Experimental investigation of compaction grouted soil nails. *Canadian Geotechnical Journal*. e-First Article : p. 1-11.
- Yin, J. H., Su, L. J., Cheung, R. W. M., Shiu, Y. K., & Tang, C. (2009). The influence of grouting pressure on the pullout resistance of soil nails in compacted completely decomposed granite fill. *Geotechnique*, 59(2), pp. 103-113.
- Yin, J. H., & Zhou, W. H. (2009). Influence of grouting pressure and overburden stress on the interface resistance of a soil nail. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(9), 1198-1208.
- Zhang, L. L., Zhang, L. M., & Tang, W. H. (2009). Uncertainties of field pullout resistance of soil nails. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 135(7), 966-972.
- Zirlis, A. C., Souza, G. J. T., Pitta, C.A. (2015). *Manual de Serviços Geotécnicos*. Solotrat, São Paulo, SP, 93 p.