

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Aumento da Resistência Utilizando Injeção de Reforço de Calda de Cimento em Solos Grampeados

Camila Patrícia Jeronymo Pinto

Estudante de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil,
camilapaatricia@gmail.com

Rafaela Thaís de Andrade Silva

Engenheira Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, trafaelaandrade@gmail.com

Wilson Cartaxo Soares

Engenheiro Civil D. Sc., COPESOLO Estacas e Fundações LTDA, João Pessoa, Brasil,
soares.wilson@gmail.com

RESUMO: O solo grampeado é uma técnica de estabilização do maciço de solo, utilizada em solos que apresentem coesão efetiva mínima de 10 kPa. Ele visa aumentar o fator de segurança através da inserção de grampos envoltos por uma injeção de bainha com pasta de cimento, podendo ser utilizadas reinjeções, acrescido a uma rede de drenagem e concreto na superfície do talude. O artigo avalia os resultados de resistência ao cisalhamento na interface solo-grampo (q_s) obtidos através de dois ensaios de arrancamento, um em grampo com injeção simples ou única e outro, com reinjeção ou injeção de reforço. Os dois grampos analisados foram inseridos em uma camada de silte argiloarenosa, espaçados entre si em 1,35 m, horizontalmente, em um talude vertical que varia de 6,40 a 7,49 m. Os resultados mostram que há um aumento considerável de q_s nos grampos que passaram pela reinjeção, sendo de 52 kPa e 73,3 kPa, para o caso de injeção simples e reinjeção, respectivamente, representando aproximadamente um aumento de 40%. Isso é devido ao fato que ao reinjetar a calda de cimento, o atrito na interface solo-cimento aumenta. Os dados obtidos foram confrontados com a literatura e são coerentes, visto que os valores se assemelham.

PALAVRAS-CHAVE: Solo grampeado, Estabilização de taludes, Ensaio de arrancamento, Injeção de calda, Resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo.

ABSTRACT: The Stapled soil is a technique for stabilizing the soil mass, used in soils that present a minimum effective cohesion of 10 kPa. It aims to increase the safety factor through the insertion of staples wrapped in an injection of sheath with cement paste, and reinjections can be used, added to a grainage network and concrete on the slope surface. The article evaluates the results of shear strength at the soil-cement interface (q_s) obtained through two pullout tests, one in staple with simple or single injection and the other with reinjection or reinforcement injection. The two clamps analyzed are inserted in a layer of clayey silt, spaced 1,35 m apart horizontally, on a vertical slope that varies from 6,40 to 7,49 m. The results show that there is a considerable increase in q_s in the staples that underwent reinjection, being 52 kPa and 73,3 kPa, for the case of simple injection and reinjection, respectively, representing approximately an increase of 40%. This is due to the fact that when reinjecting the cement slurry, the friction at the soil-cement interface increases. The data obtained were compared to the literature and are consistent, as the values are similar.

KEYWORDS: Stapled soil, Slope stabilization, Pullout test, Grout injection, Shear strength in soil-clamp contact.

1 Introdução

O aumento contínuo da taxa de ocupação do solo nos centros urbanos, faz com que subsolos sejam progressivamente mais utilizados demandando, assim, soluções mais elaboradas da engenharia. Diante disso, existem diversas formas para estabilizar o talude gerado pelo corte desses novos níveis, as técnicas visam



aumentar o fator de segurança do mesmo. Dentre elas destaca-se o solo grampeado, um método que vem sendo largamente difundido no meio geotécnico.

O solo grampeado é uma técnica de contenção de taludes realizada em solos coesivos, com coesão mínima de 10 kPa (SPRINGER, 2006). Trata-se da injeção de uma bainha com calda de cimento, com posterior introdução de grampos, acrescido a um paramento de concreto na superfície do maciço e uma rede de drenagem, sendo o processo de construção executado descensionalmente. Pode haver ou não a injeção de reforço de calda, com a finalidade de aumentar a resistência no contato solo-grampo. É usualmente calculado através do método do equilíbrio-limite, estipulando um fator de segurança. Uma forma de controlar o desempenho do solo grampeado é através da realização de ensaios de arrancamento.

Esse método vem sendo amplamente utilizada em taludes verticais da formação Barreiras, para construção de subsolos na cidade de João Pessoa - PB, obtendo resultados satisfatórios. Este artigo avalia a influência das fases de injeção no desempenho do grampo executado, em uma camada de silte argiloarenoso, quanto ao aumento da resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo (q_s) quando ocorre a reinjeção da calda de cimento.

2 Área de estudo

A geologia local da cidade de João Pessoa é a Formação Barreiras, uma unidade geológica composta por sedimentos arenoargilosos, clásticos fluviais e mal consolidados (BEZERRA, 2018). Segundo Barbosa (2015), 136,57 km² do território da cidade de João Pessoa se localiza sobre a Formação Barreiras, o que corresponde a 67% do município.

Bezerra (2018) analisou 70 boletins de sondagens SPT realizados em João Pessoa e dividiu a Formação Barreiras em nove perfis típicos do município no qual a caracterização mais recorrente mostra a intercalação de solos argilosos e arenosos com lateritas e pedregulhos. Além disso, foi também apresentado que os níveis de água são muito profundos, e assim, não alcançados pelas sondagens.

O estudo em questão é em uma obra localizada no bairro de Miramar, na cidade de João Pessoa-PB. A obra é uma edificação residencial, com subsolo, se fazendo necessária uma escavação e uma estrutura para conter o talude vertical que foi gerado ao redor de todo o terreno. A solução utilizada para três taludes foi o solo grampeado e para um talude, uma cortina de estaca.

O talude vertical estudado varia de 6,40 a 7,49 m, a partir da terceira linha da contenção, os grampos foram igualmente espaçados, em 1,35 m horizontalmente e verticalmente. Na quarta linha de grampos, também espaçados em 1,35 m na horizontal, dois ensaios de arrancamento foram realizados. A perfuração para instalação do grampo teve diâmetro de 100 mm. Os grampos utilizados no ensaio são de aço, do tipo CA-50, bitola de 20 mm, comprimento de 6 m.

A sondagem SPT mais próxima aos ensaios foi a utilizada para obter o NSPT na profundidade do grampo e para caracterizar o solo que o mesmo foi inserido. O perfil geotécnico da sondagem está mostrado na Figura 1. A camada que o grampo se encontra é um silte argiloarenoso, cor variegada com consistência mole a média, sem nível de água, entre a profundidade de 1,90 e 5,30 m, com NSPT igual a 6 na profundidade dos grampos utilizados nos ensaios de arrancamento.



Figura 1. Perfil geotécnico obtido a partir da sondagem SPT.

3 Execução do solo grampeado

A primeira etapa para a instalação dos grampos é a perfuração no terreno com circulação de água para desagregar e expulsar o material. Após isso, é injetada a bainha com pasta de cimento, fator água/cimento de 0,5 para em seguida ser instalado o grampo, se isso é feito apenas uma vez, a injeção é simples (Figura 2a). Em alguns grampos pode ser realizada uma etapa de reinjeção de bainha, a injeção de reforço, através de um tubo pré-instalado durante a fase da primeira injeção (Figura 2b). A finalização do processo consiste em realizar uma parede de concreto moldada *in loco* com fibras sintéticas e drenos. O procedimento executivo é feito na descendente e os grampos do projeto estão igualmente espaçados, a partir da terceira linha, em 1,35 m horizontalmente e verticalmente (Figura 4).

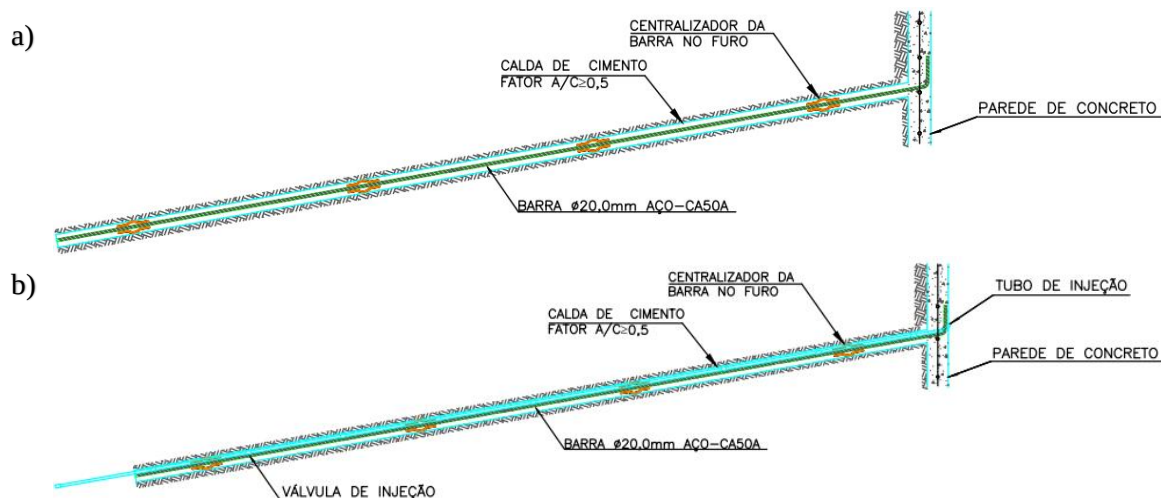


Figura 2. Instalação de grampos a) com injeção simples e b) com injeção de reforço (autores, 2021).

Os ensaios de arrancamento foram realizados em dois grampos localizados na quarta linha da Parede 2 (Figura 3). Um ensaio de arrancamento foi feito em um grampo com injeção simples de bainha e o outro com injeção de reforço (Figura 4).



Figura 5. Execução do ensaio de arrancamento (autores, 2021).

$$F_{\text{máx}} = 0,9 \cdot f_{yk} \cdot A_s \quad (1)$$

Onde $F_{\text{máx}}$ é a carga máxima do ensaio, f_{yk} é a tensão de escoamento do aço e A_s é a área da seção transversal útil da barra. Para o aço do tipo CA-50, a tensão de escoamento é de 500 MPa.

A Equação 1 resultou em uma carga de tração máxima de 144,1 kN. A previsão foi de aplicar essa carga em 10 estágios recebendo incrementos de cargas equivalentes a cada estágio (Tabela 1). A carga do estágio 0 ou inicial, 16,0 kN, a partir da Equação 2. Essa carga inicial foi baseada na norma de tirantes, a NBR 5629:2006, e está formulada na Equação 2.

$$F_0 = 0,1 \cdot f_{yk} \cdot A_s \quad (2)$$

Tabela 1. Previsão de cargas nos estágios de carregamento (autores, 2021).

Estágio	0	1	2	3	4	5
Carga F_n (kN)	16,0	28,8	41,6	54,4	67,2	80,0
Estágio	6	7	8	9	10	
Carga F_n (kN)	92,9	105,7	118,5	131,3	144,1	

Com o valor da carga de tração aplicada, diâmetro do furo e comprimento do grampo, foi encontrada a resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo através da Equação 3.

$$q_s = F_n / (\pi \cdot D_{\text{furo}} \cdot L) \quad (3)$$

Onde q_s é a resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo, F_n é a carga aplicada em cada estágio, D_{furo} o diâmetro da perfuração de 100 mm e L , o comprimento do grampo de 6 m.

5 Resultados e Análises

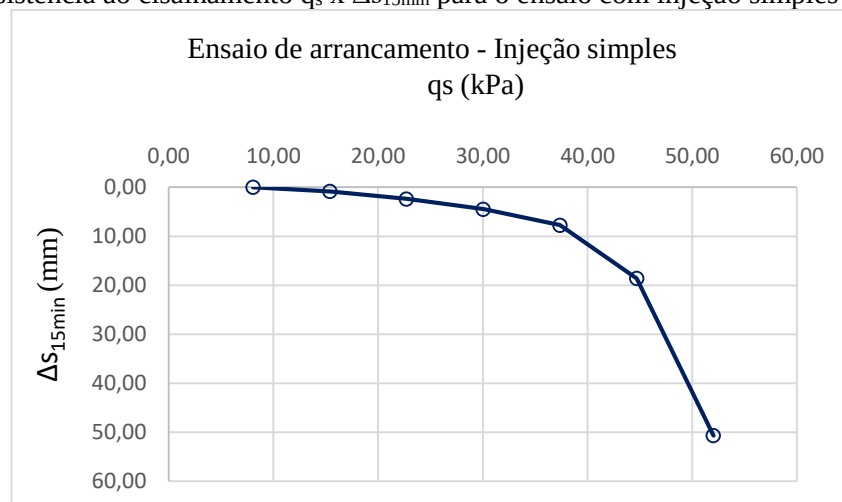
O ensaio sem a injeção de reforço, apenas com injeção simples, atingiu o sexto estágio referente à carga de 92,9 kN. Nesse estágio foi observado o rompimento do conjunto grampo/solo, a carga aplicada não se estabilizou indicando a ruptura. O ensaio então foi finalizado como mostrado na Tabela 2. A resistência ao cisalhamento atingida nesse ensaio foi de 52,0 kPa. O Gráfico 1 mostra a relação $q_s \times \Delta s_{15\text{min}}$ e através dele é possível ver como foi a evolução do ensaio.



Tabela 2. Resultados para o ensaio de arrancamento com injeção simples (autores, 2021).

Estágio	Carga F_n (kN)	q_s (kPa)	Δs_0 (mm)	Δs_{15min} (mm)
0	16,0	8,1	0,00	0,00
1	28,8	15,4	0,63	0,85
2	41,6	22,7	0,97	2,36
3	54,4	30,0	3,68	4,45
4	67,2	37,4	6,19	7,72
5	80,0	44,7	9,71	18,61
6	92,9	52,0	22,9	50,68
7	105,7	59,4		
8	118,5	66,7		
9	131,3	73,3		
10	144,1	65,2		

Gráfico 1. Resistência ao cisalhamento q_s x Δs_{15min} para o ensaio com injeção simples (autores, 2021).



O ensaio com a injeção de reforço, atingiu entre o nono e décimo estágio referente à carga entre 131,3 e 144,1 kN. O teste chegou ao nono estágio onde foi medido o deslocamento inicial e final. Ao tentar aplicar a carga referente ao estágio 10, o conjunto grampo/solo se rompeu. O ensaio então foi finalizado, como mostrado na Tabela 3. A resistência ao cisalhamento atingida nesse ensaio foi de 73,3 kPa. O Gráfico 2 mostra a relação de q_s x Δs_{15min} .

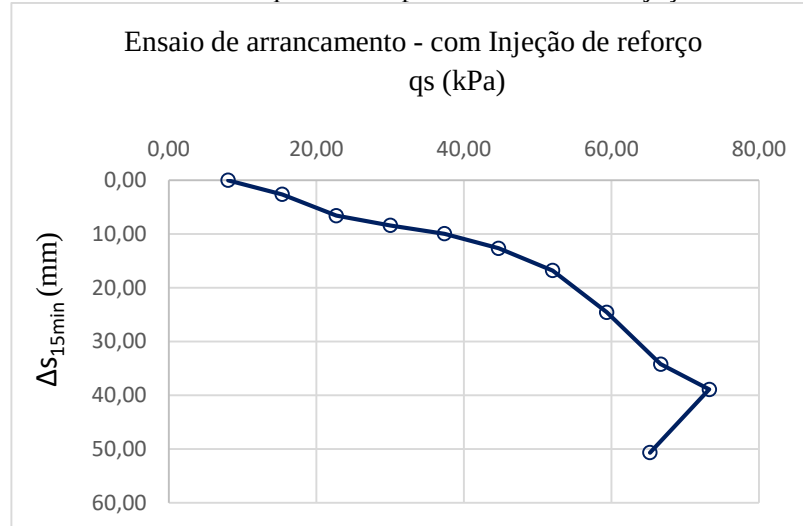
Tabela 3. Resultados para o ensaio de arrancamento com injeção de reforço (autores, 2021).

Estágio	Carga F_n (kN)	q_s (kPa)	Δs_0 (mm)	Δs_{15min} (mm)
0	16,0	8,1	0,01	0,01
1	28,8	15,4	1,12	2,63
2	41,6	22,7	4,89	6,61
3	54,4	30,0	7,88	8,4
4	67,2	37,4	9,32	9,97
5	80,0	44,7	11,37	12,67
6	92,9	52,0	14,57	16,81
7	105,7	59,4	20,38	24,58
8	118,5	66,7	25,2	34,23
9	131,3	73,3	38,91	38,91



Estágio	Carga F_n (kN)	q_s (kPa)	Δs_0 (mm)	Δs_{15min} (mm)
10	144,1	65,2	50,67	50,67

Gráfico 2. Resistência ao cisalhamento q_s x Δs_{15min} para o ensaio com injeção de reforço (autores, 2021).



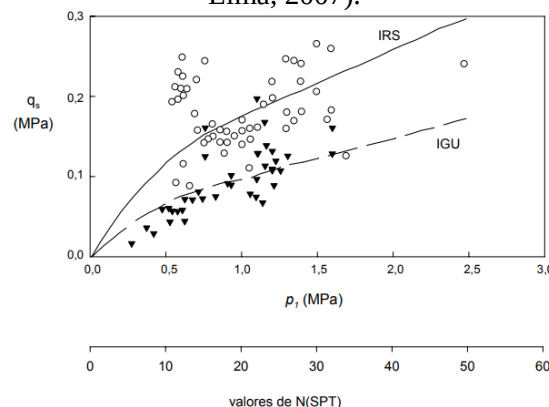
Ao fazer a comparação entre o resultado de q_s obtido no ensaio de arrancamento sem e com injeção de reforço, 52,0 e 73,3 kPa, respectivamente, observa-se um aumento de resistência de, aproximadamente, 40%. Isso porque ao colocar a injeção de reforço, o atrito na interface solo-cimento aumenta.

Lazarte et. al. (2003, *apud* Lima, 2007) mostram que para solos coesivos, como o silte argiloarenoso, com método construtivo de perfuração a trado, os valores de resistência ao cisalhamento (q_s) variam entre 60 e 140 kPa.

O valor de q_s encontrado para o grampo com injeção simples, 52 kPa, está próximo ao intervalo proposto por esses autores. A tabela considera valores em ensaios realizados com perfuração a trado enquanto o procedimento utilizado no estudo em questão foi com circulação de água, podendo ter ocasionado esse resultado um pouco fora da faixa indicada. Os valores indicados pelos autores não especificam sobre as fases de injeção, porém o valor de q_s obtido no ensaio com injeção de reforço, 73,3 kPa, está dentro da faixa de valores proposta.

Bustamante e Doix (1985, *apud* Lima, 2007) fizeram um estudo que relaciona a resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo (q_s) com a pressão limite (p_1) obtida através do ensaio com o pessiômetro Ménard. O gráfico proposto pelos autores também faz a correlação da pressão limite com os valores de NSPT. Bustamante e Doix (1985 *apud* Lima, 2007) encontraram resultados para ensaios de arrancamento em ancoragens com apenas uma injeção, ou injeção global unitária (IGU), e com múltiplas injeções ou injeção repetitiva e seletiva (IRS), mostrados no Gráfico 3.

Gráfico 3. Correlações empíricas para q_s em ancoragens em argilas e siltes (Bustamante e Doix, 1985 *apud* Lima, 2007).





O Gráfico 3 mostrar grande dispersão de resultados provavelmente por procedimentos diferentes de ensaios (LIMA, 2007). Considerando as curvas traçadas, para o NSPT igual a 6, definido para os grampos em estudo, os valores de q_s equivalem, aproximadamente, ao valor de 47 kPa para injeção simples e 82 kPa para injeção com reforço.

O resultado do ensaio no grampo com injeção simples (IGU), q_s de 52 kPa, é maior que o proposto pelos autores, enquanto o com a injeção de reforço (IRS), q_s de 73,3 kPa, é um pouco menor do que a média apresentada no gráfico, proposto por Bustamante e Doix (1985, *apud* Lima, 2007).

É importante ressaltar que as correlações devem ser vistas como aproximação inicial sendo essencial a experiência local (Ortigão e Sayão, 2000 *apud* Lima, 2007).

6 Conclusão

A análise do solo grampeado com grampos de 6 metros executados com injeção simples e com injeção de reforço mostram que esta última aumentou a resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo, devido ao aumento do atrito na interface desses elementos. No primeiro ensaio, apenas com injeção simples, a resistência aferida foi de 52 kPa, já com reinjeção foi de 73,3 kPa, mostrando um aumento de 40%. Os resultados se assemelham aos dados da literatura, visto que para Lazarte et. al. (2003) os valores devem estar entre 60 e 140 kPa e para Bustamante e Doix (1985) 42 e 82 kPa, seriam os valores indicados sem e com reforço, respectivamente.

Pela coerência dos resultados do estudo em questão, este mostra-se como uma boa referência preliminar a ser considerado na concepção de um projeto de solo grampeado. Para análises posteriores, é recomendado realizar mais investigações em diversas camadas de solo para que sejam obtidos mais dados amostrais aumentando assim, valores de referência para projetos e estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 5629. *Tirantes ancorados no terreno – Projeto e execução*. Rio de Janeiro.
- Barbosa, T. S. (2015) *Geomorfologia urbana e mapeamento geomorfológico do município de João Pessoa – PB, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, 116p.
- Bezerra, M. B. B. (2018) *Caracterização da formação barreiras da cidade de João Pessoa com base em sondagens SPT e estudo geotécnico de uma encosta com alto risco de deslizamento*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de concentração: Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Pernambuco, 169p.
- Bustamante, M.; Doix, B. (1985) *Une méthode pour le calcul des tyrants et des micropieux injectés*. Bulletin des Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées, nº 140.
- Lazarte, C. A.; Elias, V. R.; Espinoza, D.; Sabatini, P. J. (eds.) (2003) *Soil nail walls. Geotechnical Engineering Circular no. 7, Technical Manual*. Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, 2003. USA. 239p.
- Lima, A. P. (2007) *Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de concentração: Geotecnia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro/PUC-Rio, 431p.
- Ortigão, J. A. R.; Sayão, A. S. F. J. (eds.). *Manual técnico de encostas*. GeoRio, 2a edição. 2000, v. IV, 184p.
- Springer, F. O. (2006) *Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Geotecnia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro/PUC-Rio, p.32, 306p.
- Yassuda, C. T.; Dias, P. H. V. (1996) Obras complementares: Tirantes. In: Hachich, W. C.; Falconi, F. F.; Saes, J; et al. *Fundações Teoria e Prática*. São Paulo: Pini. p. 632.