

Ensaio de Arrancamento – Correlação Entre q_s , Tipo de Solo e Volume Injetado

Sheila Henn Moura

Tecnóloga, Solotrat Engenharia Geotécnica, São Paulo, Brasil, sheila@solotrat.com.br

George Joaquim Teles de Souza

Engenheiro Civil, Diretor, Solotrat Engenharia Geotécnica, São Paulo, Brasil, georgeteles@solotrat.com.br

Ricardo Brendolan

Engenheiro Civil, Diretor Comercial, Solotrat Engenharia Geotécnica, São Paulo, Brasil, ricardo@solotrat.com.br

RESUMO: Os ensaios de arrancamento em grampos injetados há muito tempo são utilizados para confirmar os parâmetros adotados em projetos de contenção em solo grampeado. Especialmente após a publicação da norma NBR 16920-2/2021, vêm sendo solicitados em maior quantidade. Com o objetivo de fornecer um banco de dados que possa ser utilizado como parâmetro para novos projetos, além de ratificar os parâmetros adotados nos projetos já executados, são apresentados neste trabalho resultados reais de ensaios de arrancamento realizados em diversas obras desde o ano 2006, até hoje, e sua correlação entre o q_s , o tipo de solo, e os volumes injetados.

PALAVRAS-CHAVE: Solo grampeado, Grampo injetado, Ensaio de Arrancamento.

ABSTRACT: Pullout tests on nails injected have been used for a long time to confirm the parameters adopted in containment projects in soil nails. And, especially after the publication of the NBR 16920-2/2021 standard, they have been requested in even larger quantities. In this paper we present real results of pullout tests carried out in several works, from 2006 to the present day, and its correlation between q_s , soil type, and injected volumes. With this we aim to provide a valuable database that can be used as parameters for new projects and can also ratify the parameters adopted in projects already executed.

KEYWORDS: Soil Nail, Injected Staple, Pullout Test.

1 INTRODUÇÃO

O ensaio de arrancamento em grampos injetados é utilizado há muito tempo, como ferramenta para ratificar os parâmetros adotados em projetos de Solo Grampeado. Trata-se do tracionamento de um grampo ancorado no terreno, com leituras de deslocamento da cabeça, carga a carga.

Antes da publicação da norma NBR 16920-2/2021, Muros e taludes em solos reforçados – Parte 2: Solos grampeados, cada projetista determinava uma forma diferente de execução do grampo destinado ao ensaio de arrancamento:

- Com ou sem trecho livre;
- No mesmo comprimento dos grampos de projeto ou mais curtos;
- Ensaio até a carga de escoamento do aço;

Para facilitar a análise, neste trabalho são comparados os dados por metro de grampo ancorado, uma vez que os comprimentos de grampo ensaiados não eram padronizados.

Os autores acreditam que a reinjeção dos grampos através de mangueiras setorizadas, além do preenchimento do furo (bainha), promove a melhoria do solo e aumenta a capacidade de carga dos grampos injetados. Sendo assim, todos os grampos analisados neste trabalho são providos de trecho ancorado com reinjeção setorizada, da mesma forma que são executados os grampos permanentes nas obras.

A Tabela 1 apresenta melhoria de resultados dos ensaios de arrancamento, de acordo com o acréscimo de reinjeções nos grampos, conforme trabalho publicado anteriormente (Souza; Pitta; Zirlis, 2005).

Tabela 1. Comparação de aumento de resistência ao arrancamento (Souza; Pitta; Zirlis, 2005)

Grupo nº	Tipo de Injeção	Ensaio de arrancamento			Aumento de carga comparado a bainha (%)
		Carga Total (kN)	Carga/m (kN/m)	Média (kN/m)	
7	Bainha	50,1	8,4	7,3	100
8	Bainha	37,6	6,3		
12	Bainha+1 Fase	100	16,7	13	178
10	Bainha+1 Fase	56,4	9,4		
9	Bainha+2 Fases	62,7	10,5	11,5	157
11	Bainha+2 Fases	75,2	12,5		

Os grampos destinados ao ensaio de arrancamento devem possuir:

- Trecho ancorado de no mínimo 3,0 m de comprimento;
- Trecho livre de pelo menos 1,0 m de comprimento;
- Trecho para protensão com 1,0 m de comprimento;

Os grampos podem ser ensaiados contra um apoio de concreto, madeira ou até mesmo contra o solo. O ideal e mais comum, é executar o ensaio contra o próprio paramento de concreto projetado mas, para isso, a área em volta do grampo correspondente a bainha não pode ser preenchida com concreto projetado, como mostra a Figura 1.



Figura 1. Detalhe do apoio/reação, para o ensaio de arrancamento

2 MONTAGEM DO CONJUNTO PARA ENSAIO DE ARRANCAMENTO

Para a realização dos ensaios de arrancamento analisados neste trabalho, foram necessários:

- Conjunto hidráulico composto por macaco-bomba-manômetro, com capacidade 10% maior que a carga última da armação do grampo;
- Mesa com grau igual ao ângulo grampo x apoio/reação;
- Base de reação composta por viga e pranchas de madeira;
- Deflectômetros com precisão de 0,01 mm, providos de base magnética;

- Placa de referência para leitura dos deslocamentos da cabeça dos grampos;
As Figuras 2 e 3 apresentam o esquema de montagem do conjunto para ensaio de arrancamento.

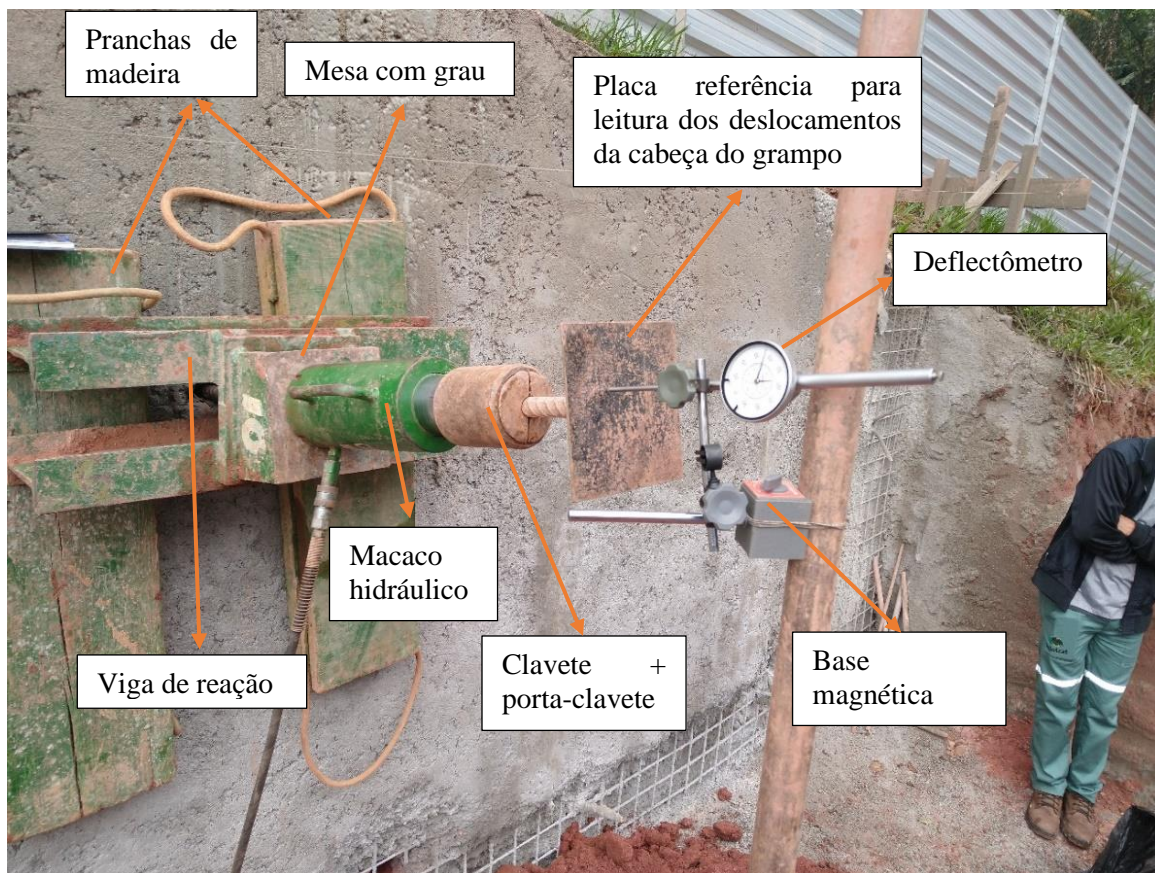


Figura 2. Esquema de montagem de conjunto para ensaio de arrancamento

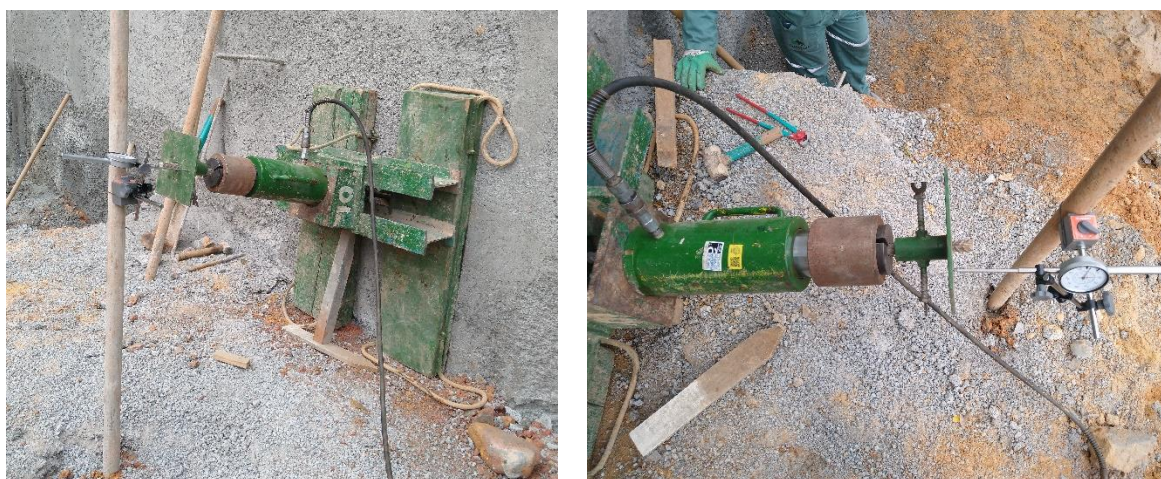


Figura 3. Exemplos de montagem de conjunto para ensaio de arrancamento

3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ARRANCAMENTO REALIZADOS

Os dados apresentados foram extraídos de ensaios de arrancamento realizados em diversas obras executadas pelos autores, principalmente nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, desde 2006, até este ano (2023).

Devido ao fato de não haver uma padronização nos ensaios solicitados pelos consultores antes da publicação da norma NBR 16920-2/2021, optou-se por apresentar os resultados por metro de grampo ancorado.

Os gráficos das Figuras 4 a 9 apresentam os valores de q_s (kPa) e volume injetado (litros/m), para cada grampo ensaiado.

O volume injetado (litros/m) é composto pela soma do volume correspondente ao preenchimento do furo (bainha), mais o volume aplicado nas reinjeções setorizadas, dividida pelo comprimento ancorado do grampo.

O valor de q_s é calculado de acordo com a equação 1:

$$q_s = T_{m\acute{a}x} / L_b \cdot \pi \cdot \phi_{perf} \quad (1)$$

Onde:

- q_s é a resistência da interface solo-grampo, expresso em quilopascals (kPa)
- $T_{m\acute{a}x}$ é a carga máxima que se manteve estabilizada durante o ensaio, expressa em quilonewtons (kN)
- L_b é o comprimento ancorado do grampo ensaiado, expresso em metros (m)
- ϕ_{perf} é o diâmetro da perfuração do grampo ensaiado, expresso em metros (m)

Na Figura 4 é possível observar que, para solos não arenosos, assim como apresentado na Figura 1, o valor de q_s obtido nos ensaios de arrancamento aumenta com o acréscimo dos volumes injetados. Os valores de q_s apresentam grande variação de 24 kPa até 242 kPa, assim como os volumes injetados de 7 litros até 68 litros por metro de grampo ancorado. A Figura 5 apresenta resultados de grampos executados em siltes, com valores de q_s variando entre 50 kPa e 213 kPa. É possível observar que os grampos onde os volumes injetados foram maiores, também obtiveram resultados mais elevados para o valor de q_s . Nota-se também que os volumes injetados são inversamente proporcionais ao número de golpes extraídos do relatório de sondagem, ou seja, para N_{spt} mais elevados, os volumes injetados são menores.

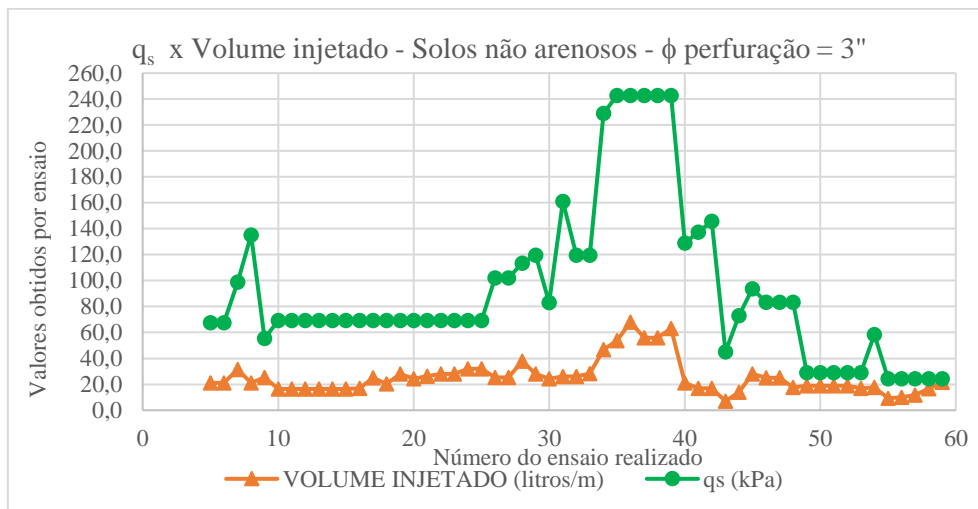


Figura 4. Correlação entre q_s e Volume injetado, para grampos executados em solos não arenosos, com perfuração $\phi=3''$

Observa-se nas Figuras 4, 5 e 6 que nos grampos executados em solos não arenosos, o valor de q_s obtido através dos ensaios de arrancamento é diretamente proporcional ao acréscimo dos volumes injetados nos grampos.

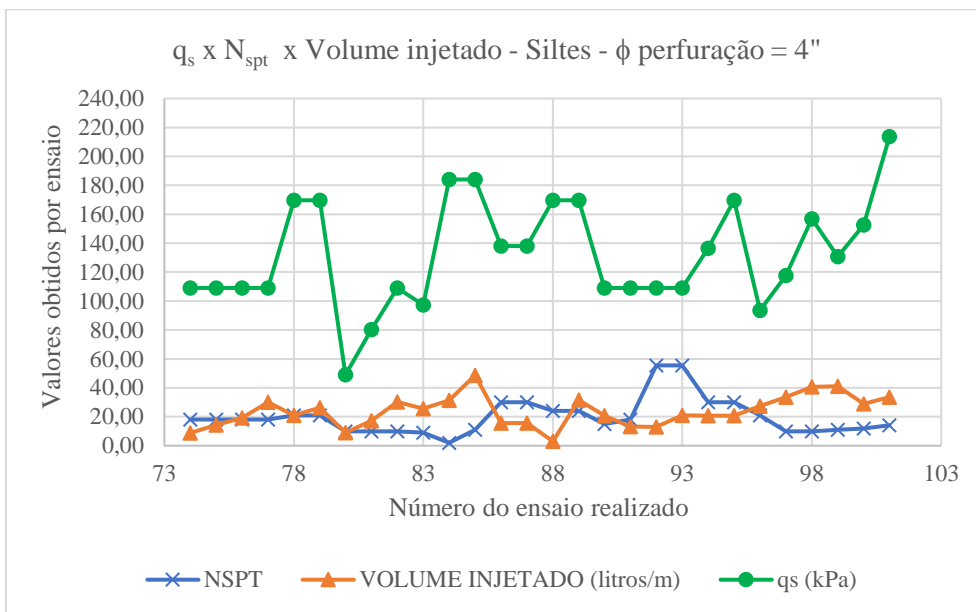


Figura 5. Correlação entre q_s , N_{spt} e volume injetado, para grampos executados em siltes, perfuração $\phi=4''$

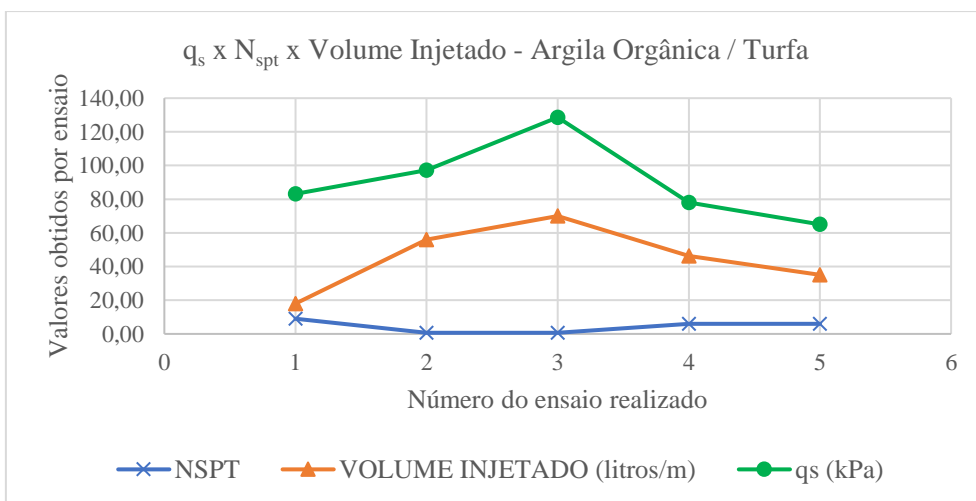


Figura 6. Correlação entre q_s , N_{spt} e Volume injetado, para grampos executados em argila orgânica / turfa

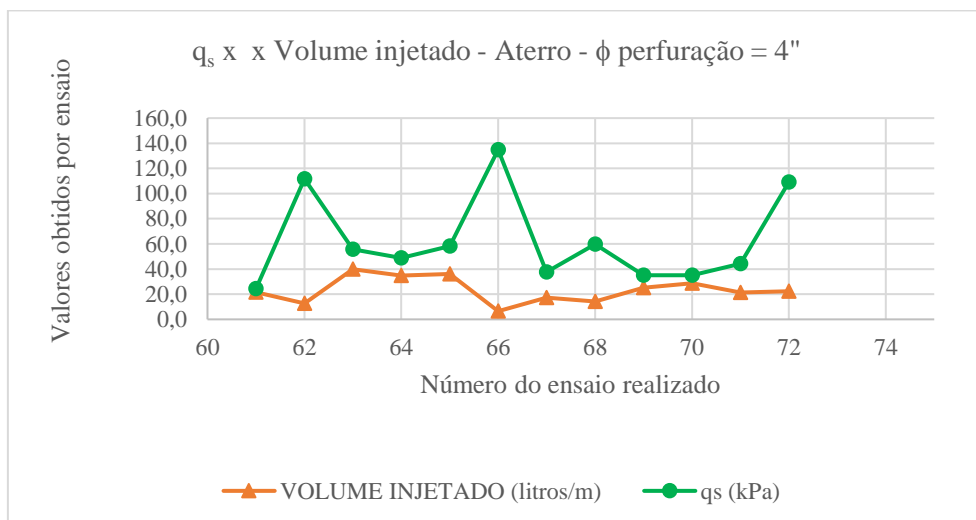


Figura 7. Correlação entre q_s e volume injetado, para grampos executados em aterro, perfuração $\phi=4''$

Já na Figura 7, para grampos executados em aterro, o valor de q_s é inversamente proporcional ao volume injetado, ou seja, os grampos com maiores volumes injetados apresentaram valores de q_s mais baixos que aqueles com menores volumes injetados. Mesmo para volumes injetados muito baixos, o q_s atingiu 109 e 135 kPa.

Devido os aterros apresentarem grande variação, não é recomendável adoção de valores elevados para q_s de projeto, nesse caso.

Pode-se afirmar que os valores de q_s têm aumentado com o passar do tempo, possivelmente devido à evolução na forma de preparo, montagem, instalação e injeção dos grampos. Os ensaios apresentados na Tabela 1 (2005), tem a maior carga igual a 13,0 kN/m, enquanto na Tabela 2, com dados de até 2022, a menor carga é igual a 11,0 kN/m, chegando até 57,2 kN/m.

Tabela 2. Correlação entre tipo de solo, N_{spt} , q_s e Carga/m para os tipos de solo acima apresentados

Volume Injetado (litros/m)	q_s (kPa)	Carga/m (kN)	N_{spt}	Tipo de solo	Ano
28,8	35,0	11,0	5	Aterro argilo siltoso	2020
13,8	37,7	11,8	2	Aterro argila plástica arenosa	2022
7,2	49,0	15,4	10	Silte areno argiloso micáceo	2022
27,0	58,2	18,3	3	Aterro argila arenosa mole	2020
17,6	58,3	13,7	13	Silte arenoso pouco argiloso medianamente compacto	2017
11,4	59,9	18,8	3,3	Aterro argila siltosa pouco arenosa	2022
14,0	67,6	15,9	9	Argila siltosa pouco arenosa rija	2011
16,8	69,4	16,3	7	Argila siltosa arenosa variegada	2020
18,3	83,1	19,6	2,4	Argila siltosa	2021
25,1	83,2	19,6	4	Silte argiloso pouco arenoso pouco micáceo	2012
20,5	93,7	29,4	21	Silte argiloso duro	2017
19,3	97,3	30,6	9	Silte arenoso fofo	2020
17,8	109,1	34,3	2	Aterro silte argilo arenoso micáceo	2022
24,2	109,1	34,1	10	Silte areno argiloso micáceo	2022
24,0	109,3	34,3	18	Silte areno argiloso com caulim, pouco micáceo, medianamente compacto a compacto	2022
28,3	119,6	28,2	5	Silte micáceo de baixa plasticidade pouco arenoso	2021
30,8	130,7	41,1	11	Silte argiloso pouco arenoso	2011
5,2	134,9	42,4	1,5	Aterro de argila plástica arenosa	2022
16,6	136,6	42,9	30	Silte argilo arenoso, rijo a duro	2022
21,0	169,6	53,3	21	Silte areno argiloso com fragmentos de rocha, compacto	2022
16,2	184,0	57,8	11	Silte arenoso fofo a medianamente compacto	2020
23,6	242,8	57,2	10	Silte argiloso pouco arenoso pouco a medianamente compacto	2014

Em argilas orgânicas, embora tenham poucos ensaios realizados, observa-se a melhora no valor de q_s , quanto maior o volume injetado.

As Tabelas 2 e 3 não possuem todos os dados apresentados nos gráficos, devido infelizmente não haver dados de sondagem para muitos dos ensaios realizados. Estão lançados nas tabelas apenas os dados mais representativos.

Tabela 3. Correlação entre tipo de solo, N_{spt} , q_s e Carga/m para argila orgânica / turfa

Volume Injetado (litros/m)	q_s (kPa)	Carga/m (kN)	N_{spt}	Tipo de solo	Ano
38,7	39,0	12,3	6,0	Argila preta contaminada	2019
35,0	65,0	20,4	6,0	Argila preta contaminada	2019
46,2	78,0	24,5	6,0	Argila preta contaminada	2020
42,0	97,3	30,6	0,7	Argila orgânica, turfa, preta, muito mole	2020
52,5	128,6	40,4	0,7	Argila orgânica, turfa, preta, muito mole	2020

Observando as Figuras 8 e 9 não é possível estabelecer relação entre os valores de N_{spt} , q_s e volume injetado. O comportamento do grampo é bem diferente quando executado em solos arenosos comparado aos grampos executados em solos argilosos e/ou siltosos, como apresentado nos gráficos e tabelas deste trabalho.

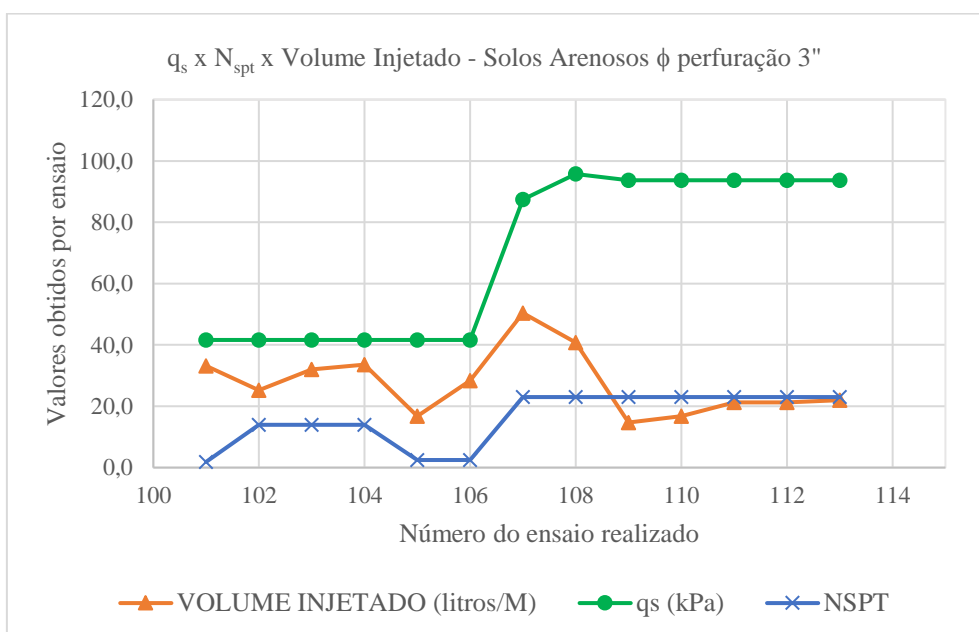


Figura 8. Correlação entre q_s , N_{spt} e Volume injetado, para grampos executados em solos arenosos, perfuração $\phi=3''$

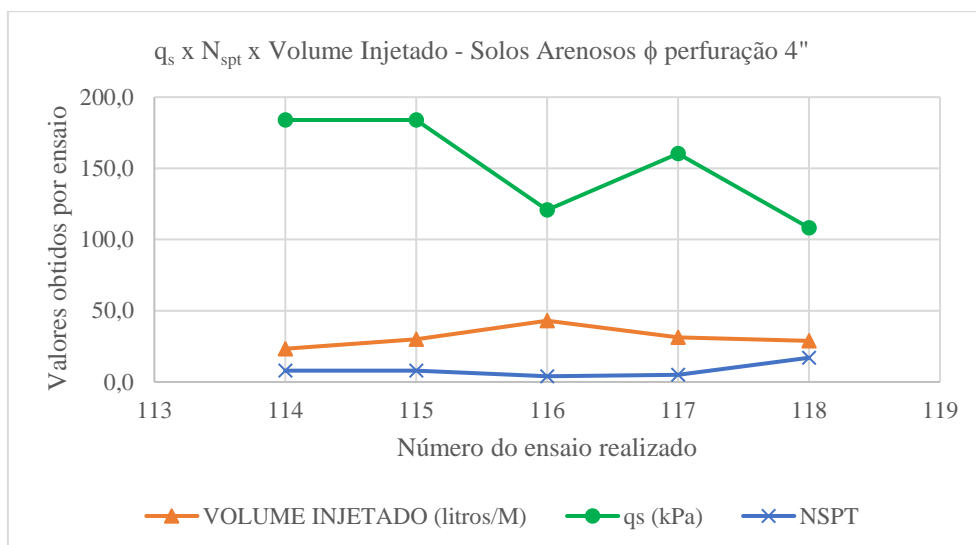


Figura 9. Correlação entre q_s , N_{spt} e volume injetado, para grampos executados em solos arenosos, perfuração $\phi=4$

Quando se trata de solos arenosos, o valor de q_s não tem relação direta com o volume injetado, nem com o valor de N_{spt} . Muito provavelmente devido ao fato de que a injeção com os cimentos comuns em terrenos arenosos é pouco eficiente. Fica, então, com a possibilidade de melhoria com uma bainha bem executada, aumentando a área lateral de atrito calda x solo arenoso.

Tabela 4. Correlação entre tipo de solo, N_{spt} , q_s e Carga/m para solos arenosos

Volume Injetado (litros/m)	q_s (kPa)	Carga/m (kN)	N_{spt}	Tipo de solo	Ano
32,0	41,6	9,8	14	Areia fina siltosa pouco argilosa com mica medianamente compacta	2014
28,4	41,6	9,8	2,5	Areia média a grossa pouco siltosa com minerais pesados com mica fofa	2014
21,5	120,7	37,9	4	Areia fina siltosa fofo a medianamente compacto	2020
10,4	160,5	50,4	5	Areia fina siltosa fofo a medianamente compacto	2020
18,0	184,0	57,8	8	Areia fina com sinais de alteração fofo a muito compacto	2020
23,0	108,2	34,0	17	Areia fina siltosa com fragmentos de rocha	2022

4 CONCLUSÃO

De acordo com os dados apresentados, não foi possível estabelecer uma relação direta e proporcional entre o valor de N_{spt} obtido através de sondagens a percussão, e o valor de q_s obtido através dos ensaios de arrancamento analisados neste trabalho. Provavelmente deve-se ao fato das sondagens serem anteriores a execução dos grampos.

Pode-se afirmar que em solos não arenosos as injeções melhoram as características geotécnicas do maciço, do grampo e conseqüentemente o valor de q_s . Da mesma maneira que é necessário injetar o bulbo de um tirante, em fases, para que a ancoragem seja eficiente.

Um outro fator que também influencia a avaliação dos dados é que nem todos os grampos foram levados ao arrancamento. Isso aconteceu devido o ensaio atingir a capacidade de carga do aço antes do arrancamento do grampo, e sendo assim, não se sabe qual a carga final que aquele grampo suportaria. Sugere-se para realização dos ensaios de arrancamento, a utilização de aço com diâmetro maior que os grampos definitivos de projeto, e comprimento ancorado de até 4,0m.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16920-2. *Muros e taludes em solos reforçados Parte 2: Solos grampeados*. Rio de Janeiro.
- Solotrat Engenharia Geotécnica. (2023) Manual de Serviços Geotécnicos Solotrat. São Paulo. 7ª Edição. p. 5-21.
- Souza, G.J.T.; Pitta, C.A.; Zirlis, A.C. (2005) *Solo grampeado - Aspectos executivos do chumbador*. In: IV COBRAE – Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Salvador. Anais ABMS. p. 835-844.
- Brendolan, R.; Moura, S.H.; Souza, G.J.T. (2023) Solo grampeado no Brasil: Histórico, aplicações práticas e avanços nas últimas décadas (2003 – 2023), ABMS. p. 31 - 46.