

Resistência ao arrancamento de grampos executados em solo mobilizado e solo residual no Município de Duque de Caxias-RJ

João Pedro Campos Pinto
DYWIDAG, Rio de Janeiro, Brasil, jpcpgeotecnia@gmail.com

Caio Duque Estrada Amendola
Progen, Rio de Janeiro, Brasil, caiodeamendola@gmail.com

Tiago Proto da Silva
FGEO Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, tiagoproto@fgeo.com.br

RESUMO: O desempenho de grampos está diretamente relacionado à resistência ao cisalhamento desenvolvido na interface solo-elemento, conhecido como adesão (q_s). As correlações empíricas que confrontam os valores de q_s com índices de resistência a penetração (N_{SPT}) são frequentemente utilizados para concepção inicial de projetos, sendo fundamental a execução de ensaios de arrancamento para interpretação do real desempenho barra-solo e, conseqüente, aperfeiçoamento das estimativas iniciais de valores de adesão. O presente trabalho tem por objetivo comparar os valores de q_s estimados a partir de resultados de ensaios de arrancamento em solo mobilizado e em solo residual, executados em sete grampos em uma obra no município de Duque de Caxias-RJ, com resultados usualmente observados na literatura técnica e correlações empíricas propostas. Mediante as cargas de ruptura obtidas em campo, foram estimados os valores de adesão. Os resultados dos ensaios de arrancamento realizados nos grampos apresentam coerência com as referências observadas na literatura técnica. Destaca-se que a determinação da resistência ao arrancamento por meio de ensaios de campo é fundamental para projetos de estruturas grampeadas, pelo fato deste parâmetro ser imprescindível na concepção da estrutura de contenção.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de Arrancamento, Adesão, Grampos, Colúvio, Solo Residual.

ABSTRACT: The performance of nails is directly related to the shear strength developed at the soil-element interface, known as adhesion (q_s). Empirical correlations that compare q_s values with penetration resistance index (N_{SPT}) present themselves as relevant tools to initial design of retaining structures, and it is essential to execute pullout tests to interpret the real soil-reinforcement performance, improving the initial estimations. This article aims to compare the q_s values obtained from pullout tests, performed in seven nails at a construction site in the city of Duque de Caxias-RJ, with results usually observed in the technical literature. Based on the failure loads obtained in the field, the adhesion values were estimated. The results of the pullout tests performed on the nails are consistent with the references observed in the technical literature. Determining the pullout resistance through field tests is fundamental for retaining structures projects, as this is the main parameter to define nail lengths.

KEYWORDS: Pull-out test, Adhesion, Nails, Colluvium, Residual Soil.

1 INTRODUÇÃO

Os ensaios de campo possuem grande relevância na validação de premissas assumidas em projeto e no controle de qualidade em obras geotécnicas, além de permitir a adequada aferição do comportamento dos elementos executados.

A eficiência de grampos está diretamente relacionada à resistência ao cisalhamento desenvolvida pela inserção destes no terreno e ao comportamento na interface solo-reforço, também conhecido como adesão (q_s). Diversos fatores podem influenciar os valores de q_s , dentre eles o tipo de perfuração, processo de injeção e

reinjeção, limpeza do furo, característica do material de preenchimento, uso de aditivos, tipo de ancoragem e características do solo.

As correlações empíricas são usualmente empregadas para fins de projeto, sendo relevantes instrumentos na concepção inicial, devendo constantemente serem confrontadas com resultados *in loco* de ensaios de arrancamento, de modo a aperfeiçoar as estimativas iniciais de valores de adesão (q_s).

O presente trabalho tem por objetivo a estimativa da resistência ao cisalhamento no contato solo-reforço, por meio de ensaios de arrancamento executados em sete grampos em uma obra no município de Duque de Caxias-RJ. Tais resultados foram posteriormente comparados com dados disponíveis na literatura técnica.

2 RESULTADOS TÍPICOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NO CONTATO SOLO-REFORÇO PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Os ensaios de arrancamento são os mais utilizados para a determinação do parâmetro de resistência ao cisalhamento no contato solo-reforço, usualmente denominado de q_s . Entretanto, em geral, os valores de q_s utilizados para fins de projeto são inicialmente estimados por correlações empíricas disponíveis na literatura (baseado na experiência do projetista) para verificação, por meio de ensaios de arrancamento, na fase de obras posteriormente.

A Figura 1 apresenta o compilado de algumas correlações empíricas plotadas em função do número de golpes do ensaio de simples reconhecimento com SPT, disponíveis na literatura brasileira, bem como os resultados de ensaios de arrancamento realizados em três tirantes e em duas microestacas, em uma obra na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro, modificado do trabalho de Amendola, Pinto e Viana (2022).

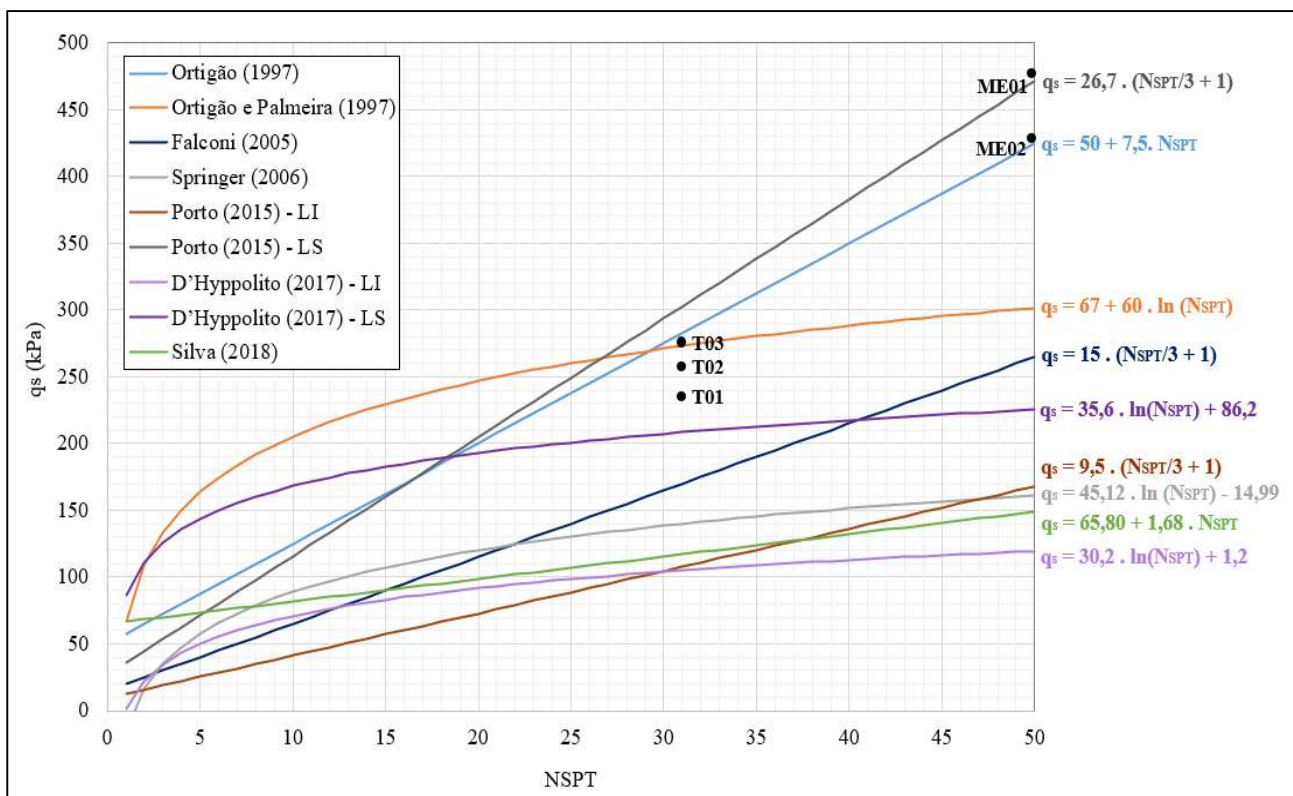


Figura 1. Comparativo entre os resultados de ensaios de arrancamento em três tirantes e duas microestacas com as curvas geradas a partir de correlações empíricas em função do número de golpes do ensaio SPT disponíveis na literatura técnica brasileira (modificado de AMENDOLA, PINTO E VIANA, 2022).

Complementarmente, a literatura nacional tem reportado resultados de ensaios de arrancamento em diversos locais do Brasil, principalmente na região Sudeste do país. A Tabela 1 mostra um compilado com alguns dos resultados disponíveis para o Rio de Janeiro, destacando a referência bibliográfica, a quantidade de ensaios realizados, a adesão, o N_{SPT} médio, o tipo de solo e o local de estudo.

Tabela 1. Alguns resultados de ensaios de arrancamento em grampos no Rio de Janeiro.

Referência	Nº de ensaios	q_s (kPa)	N_{SPT}	Tipo de solo	Local
Ortigão et al. (1992)	3	250kPa (1 injeção)	11	Residual silte arenoso	Morro da Formiga, Tijuca
Feijó e Erhlich (2001)	4	145 e 295kPa (L=3m) 185 e 205kPa (L=6m)	3 a 8	Residual de biotita-gnaiss, maduro, cor amarelada	Morro da Covanca, Jacarepaguá
Feijó e Erhlich (2001)	6	108, 148 e 248kPa (L=3m) 95, 120 e 190kPa (L=6m)	8 a 20	Residual de gnaiss leptinitico, silte arenoso, cor avermelhada	Morro Dona Marta, Laranjeiras
Pinto e Silveira (2001)	3	257 e 280kPa	ND	Residual de gnaiss	Linha Amarela
Soares e Gomes (2003)	5	262 a 374kPa (L = 3m, 1 injeção)	ND	Saprólito de gnaiss	BR-101, Angra dos Reis
Silva (2005)	8	166 a 280kPa (2 injeções)	13 a 35	Residual de gnaiss, argila arenosa	Morro do Palácio, Niterói
Springer (2006)	25	94 a 162kPa (1 injeção) 159 a 217kPa (2 injeções)	9 a 35	Residual de gnaiss	Morro do Palácio, Niterói
Passini et al. (2012)	6	493 a 534kPa (1 injeção)	45	Residual jovem de gnaiss e rocha alterada	ND

NOTA: q_s = resistência ao cisalhamento no contato solo-reforço; L = comprimento do trecho injetado; N_{SPT} = índice de resistência de penetração do solo; ND = não disponível.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo refere-se a um talude localizado no Município de Duque de Caxias, Estado do Rio de Janeiro. A área compreende um desnível aproximado de 60m, onde ocorreu, preteritamente, movimento de massa, do tipo subsidência, devido à exploração de minerais. Tal processo geológico-geotécnico originou a mobilização de uma grande massa de solo residual, estabilizado, ao longo do tempo, em decorrência da interrupção das atividades de mineração.

De acordo com CPRM e UERJ (2012), como ilustrado na Figura 2, o substrato da área está locado na unidade Gnaiss sienítico do Canaã, inserto no Complexo Rio Negro, abrangendo parte das rochas mais remotas da região da Baía de Guanabara. A região caracteriza-se, ainda, pela presença de gnaisses migmatíticos ou foliados, de predominância sienítica, com nefelina e sodalita. Vale destacar que a mineralogia das rochas encontradas apresenta significativamente menos quartzo que os demais gnaisses graníticos típicos do Estado do Rio de Janeiro.

As sondagens representativas à área em estudo apontam para a presença de siltes arenoargilosos, de origem residual, com cerca de 18m de espessura e resistência a penetração (N_{SPT}) variando entre 10 e 32 golpes. Acrescenta-se que a região mais a jusante do talude apresenta solo mobilizado, proveniente dos mesmos siltes arenoargilosos residuais destacados anteriormente, com até 8m de espessura, e N_{SPT} variável entre 5 e 9 golpes.

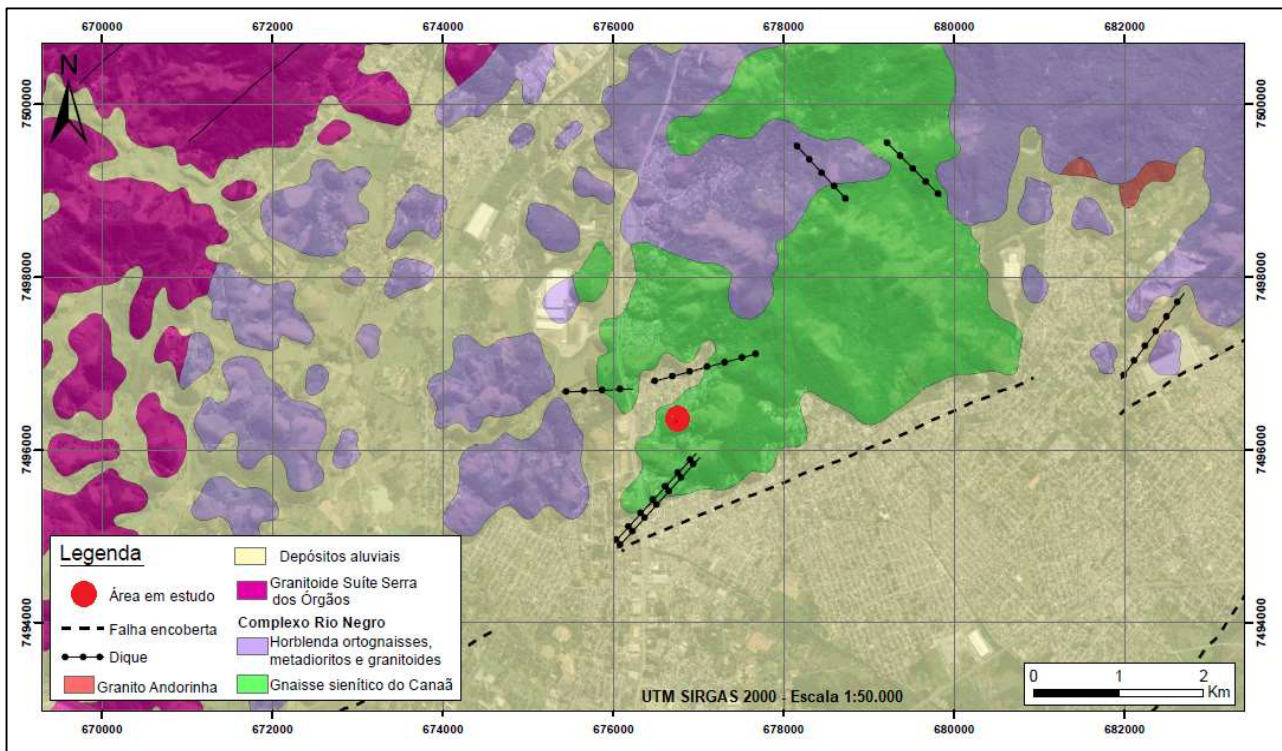


Figura 2. Mapa geológico simplificado da região (Fonte: adaptado de CPRM e UERJ, 2012).

4 METODOLOGIA

Os ensaios de arrancamento são caracterizados pela aplicação de cargas de tração ao componente estrutural executado no terreno, através da utilização de macacos hidráulicos. Os esforços aplicados são confrontados com os respectivos deslocamentos da “cabeça” dos elementos, concebendo uma curva carga *versus* deslocamento.

No presente estudo foram realizados ensaios em sete grampos, até a ocorrência do arrancamento nos substratos. Os grampos ensaiados apresentavam 3m de trecho ancorado e 1m de trecho livre, sendo realizado uma única fase injeção. Cabe destacar que, dos sete grampos avaliados, dois foram executados em solo residual. Os demais foram implantados em solo mobilizado. A Figura 3 exibe a execução dos ensaios em campo.



(a) Conjunto de ensaio.



(b) Execução de ensaio de arrancamento.

Figura 3. Imagens de campo (Fonte: Acervo FGEO Engenharia)

A resistência ao arrancamento (q_s) correspondente foi calculada pela equação (1).

$$q_s = \frac{T_n}{\pi \cdot \phi_{\text{furo}} \cdot L_a} \quad (1)$$

sendo:

- T_n é a força de tração máxima;
- ϕ_{furo} é o diâmetro do furo;
- L_a é o comprimento do trecho injetado.

De posse dos resultados, comparou-se graficamente os valores obtidos com associações empíricas entre q_s e o número de golpes do ensaio SPT (N_{SPT}), tal como outras referências de ensaios de arrancamento observadas tipicamente na literatura brasileira.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 mostra os dados gerais dos sete ensaios de arrancamento realizados nos grampos, ao passo que a Figura 4 representa as respectivas curvas carga *versus* deslocamento obtidas nos ensaios, ao passo que

Tabela 2. Dados gerais dos ensaios de arrancamento.

Nomenclatura	Barra utilizada	Característica do solo	Comprimento do trecho injetado (m)	Diâmetro do furo (m)	Carga de ruptura (kN)
Grampo 01	GEWI plus 19mm	Residual	3,00	0,075	119
Grampo 02	GEWI plus 19mm	Residual	3,00	0,075	158
Grampo 03	GEWI plus 19mm	Mobilizado	3,00	0,075	85
Grampo 04	GEWI plus 19mm	Mobilizado	3,00	0,075	72
Grampo 05	GEWI plus 19mm	Mobilizado	3,00	0,075	63
Grampo 06	GEWI plus 19mm	Mobilizado	3,00	0,075	67
Grampo 07	GEWI plus 19mm	Mobilizado	3,00	0,075	80

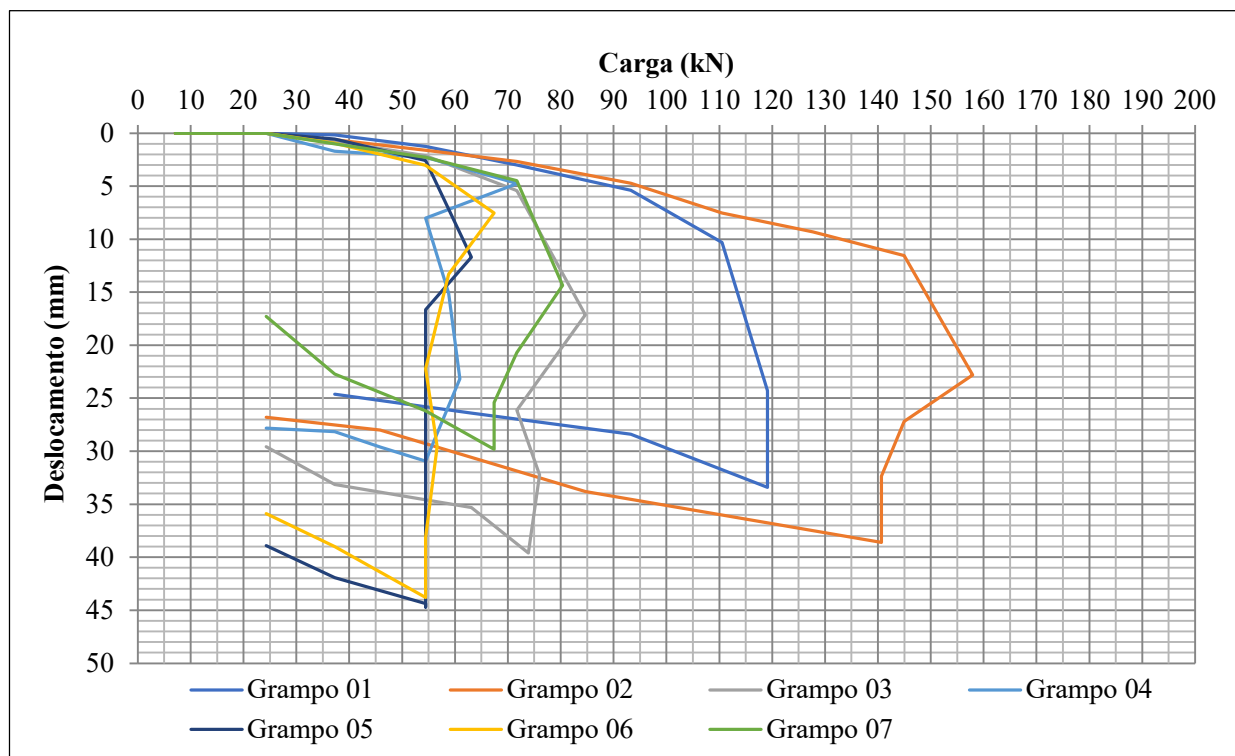


Figura 4. Curvas carga *versus* deslocamento obtidas nos ensaios de arrancamento.

Com os resultados obtidos a partir dos ensaios de arrancamento, estimou-se os valores de adesão (q_s) para cada grampo, conforme exibido na Tabela 3. As cargas de ruptura variaram entre 63 e 85kN, para os grampos executados em solo mobilizado, com os respectivos q_s calculados iguais a 89 a 120kPa, com média de 105kPa. Já para os grampos implantados em solo residual, as cargas de ruptura variaram entre 119 e 158kN, sendo os q_s calculados entre 169 e 223kPa, com média de 196kPa.

É válido destacar a coerência entre os valores apresentados na Tabela 1, para ensaios de arrancamento realizados no Rio de Janeiro, e as estimativas de adesão para os grampos do presente trabalho, mesmo quando considerados os grampos implantados em solo mobilizado.

Tabela 3. Resultados para a carga de ruptura e as estimativas de resistência ao arrancamento.

Nomenclatura	N_{SPT}	Comprimento do trecho injetado (m)	Diâmetro do furo (m)	Carga de ruptura (kN)	q_s (kPa)
Grampo 01	12	3,00	0,075	119	169
Grampo 02	17	3,00	0,075	158	223
Grampo 03	8	3,00	0,075	85	120
Grampo 04	7	3,00	0,075	72	101
Grampo 05	5	3,00	0,075	63	89
Grampo 06	5	3,00	0,075	67	95
Grampo 07	8	3,00	0,075	80	114

A Figura 5 mostra um comparativo entre os resultados deste trabalho e as curvas geradas a partir de correlações empíricas em função do número de golpes do ensaio SPT, cujas equações estão dispostas na Figura 1. Observa-se que os resultados dos Grampos 03 a 07, todos executados em solo mobilizado, ficaram próximos da correlação de Ortigão (1997). Ademais, o Grampo 01 ficou bem próximo do limite superior da correlação proposta por D’Hyppolito (2017), enquanto o Grampo 02 mais se aproximou da correlação proposta por Ortigão e Palmeira (1997). Ressalta-se que estes dois últimos citados são grampos executados em solo residual.

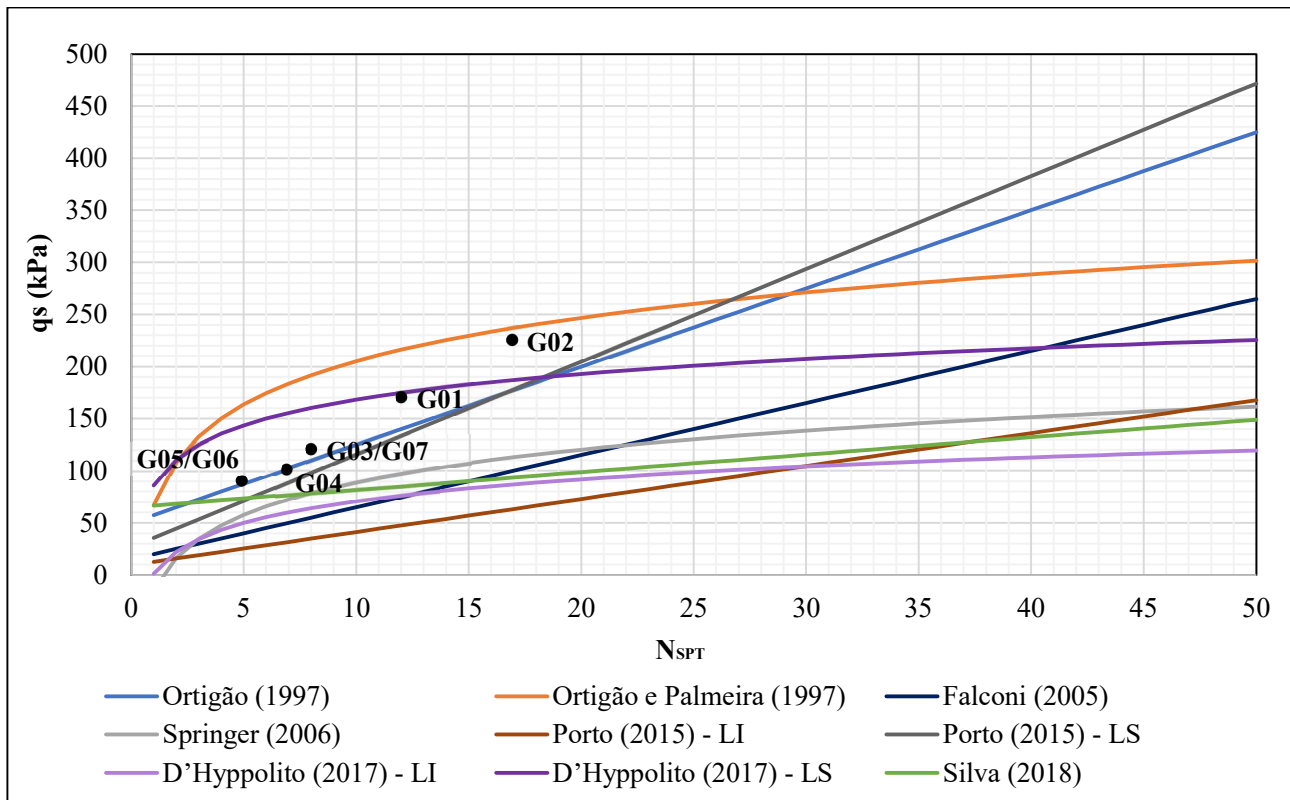


Figura 5. Comparativo entre os resultados do presente trabalho e as curvas geradas a partir de correlações empíricas em função do número de golpes do ensaio SPT.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos ensaios de arrancamento obtidos para os grampos deste trabalho apresentaram coerência com as referências reportados na literatura técnica para o estado do Rio de Janeiro.

Para os grampos executados em solo mobilizado, os valores de resistência ao cisalhamento no contato solo-reforço variaram entre 80 e 120kPa, com média de 105kPa. Já para os grampos implantados em solo residual, os q_s calculados variaram entre 169 e 223kPa, com média de 196kPa.

Ao comparar com as correlações empíricas em função do número de golpes do ensaio SPT, observa-se que os resultados de q_s dos grampos executados em solo mobilizado (Grampos 03 a 07) ficaram próximos da correlação de Ortigão (1997), enquanto os grampos executados em solo residual (Grampos 01 e 02) ficaram mais próximos das correlações propostas por Ortigão e Palmeira (1997) e D'Hyppolito (2017).

Por fim, é importante dizer que os ensaios de arrancamento constituem uma ferramenta imprescindível para a determinação da resistência ao cisalhamento no contato solo-reforço, principalmente em projetos com grampos, tirantes e microestacas atuando à tração, pelo fato destes tipos de projetos serem baseados essencialmente neste parâmetro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa FGEO Engenharia, responsável técnica pela execução dos ensaios de arrancamento, pela autorização para publicação dos resultados aqui apresentados. Também agradecem à empresa DYWIDAG pelo apoio no desenvolvimento do presente artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amendola, C. D. E., Pinto, J. P. C., Viana, A. F. (2022) Resistência ao arrancamento de tirantes e microestacas em solo residual e gnaiss da Suite Rio de Janeiro. In: VIII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE, Recife, *Anais...* ABMS.
- Serviço Geológico do Brasil - CPRM; Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ (2012) *Geologia e Recursos Minerais da Folha Baía de Guanabara SF-23 Z-B-IV*. Programa Geologia do Brasil, Belo Horizonte.
- D'Hyppolito, L. C. B. S. (2017) *Relações Empíricas para Estimativa de Resistência ao Arrancamento de Acoragens*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Falconi, F. (2005) *Capacidade Geotécnica de Acoragens reinjetáveis*. In: IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE, Salvador, *Anais...* ABMS.
- Feijó, R. L.; Ehrlich, M. (2001) Resultados de ensaios de arrancamento em grampos injetados em dois pontos do município do Rio de Janeiro. In: III Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE, Rio de Janeiro, *Anais...* ABMS. p. 517-524.
- Ortigão, J. A. R.; Dávila, C. J. R.; Silva, S. P.; Maia, H. S. (1992) Solo Grampeado no Morro da Formiga. In: I Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE, Rio de Janeiro, *Anais...* ABMS, 758p.
- Ortigão, J. A. R. (1997) Ensaio de arrancamento para projetos de solo grampeado. Nota técnica, *Solos e Rochas*, ABMS. Vol. 20:1, p: 39-43.
- Ortigão, J. A. R.; Palmeira, E. M. (1997) Optimised Design for Soil Nailed Walls. In: III International Conference on Ground Improvement Geosystems, London, *Proceedings*, p. 368-374.
- Passini, L. B., Nunes, A. L. L. S., Sayão, A. S. F. J. (2012). Resistência ao Arrancamento de Grampos Convencionais e de Argamassa com Fibras de Polipropileno sem Barra. In: XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG, Porto de Galinhas, *Anais...* ABMS. v.1.
- Pinto, C. P.; Silveira, J. (2001) Projeto e Execução de Contensões na Linha Amarela-RJ. In: III Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE, Rio de Janeiro, *Anais...* ABMS. p. 531-538.

- Porto, T. B. (2015) *Proposta de metodologia via web para previsão e controle de ancoragens em solos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.
- Silva, T. P. (2005) Resistência ao arrancamento de grampos em solo residual de gnaíse. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Silva, R. R. C. (2018) Determinação da adesão em solo grampeado a partir de correlações com ensaios SPT. *Revista Tecnologia*, v. 39, n. 2, p. 1-12.
- Soares, J. E. S., Gomes, R. C. (2003) Um caso de obra de solo grampeado na encosta da BR-101 em Angra dos Reis, RJ. In: *Workshop Solo Grampeado - Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento*, São Paulo, ABMS-SINDUSCON-SP.
- Springer, F. O. (2006) *Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaíse*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.