



## Solo Grampeado Vertical: Projeto, Execução e Comportamento. Um Caso de Obra

Alexsander Silva Mucheti  
Engenheiro Civil, ZF & Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil, alex@zfsolos.com.br

Frederico Fernando Falconi  
Engenheiro Civil, ZF & Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil, fred@zfsolos.com.br

Danilo Martins Silva  
Engenheiro Civil, ZF & Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil, danilo@zfsolos.com.br

Celso Nogueira Corrêa  
Engenheira Civil, ZF & Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil, virginia@zfsolos.com.br

**RESUMO:** O objetivo do presente artigo é apresentar o projeto e o desempenho de uma contenção vertical em solo grampeado de até 10,20 m de altura na área urbana de Perus, São Paulo. Os grampos tinham comprimentos entre 6,0 e 10,0 m, com injeções setorizadas e paramento de concreto projetado com espessura de 10 cm. Os parâmetros geotécnicos foram estimados através de correlações com o  $N_{SPT}$  e experiência dos autores. O software Geostudio foi utilizado para o dimensionamento, o módulo Slope/W para as análises de estabilidade por métodos de equilíbrio limite e o módulo Sigma/W para a estimativa dos deslocamentos com análises tensão-deformação. A execução foi em nichos alternados para cada linha de grampos e com utilização de grampos subverticais como reforço de fundação da construção vizinha. Os deslocamentos estimados pela modelagem computacional foram compatíveis com o comportamento observado e consideravelmente menores se comparados com as propostas de estimativas da literatura. Foi verificada ainda, uma perfeita coerência com os resultados observados em obras de mesmas características estudadas por Mucheti e Albuquerque (2023) na Região Metropolitana de São Paulo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo grampeado, modelagem numérica, equilíbrio limite, análise tensão-deformação.

**ABSTRACT:** The aim of this paper is to present the the design, execution and the behavior of a vertical soil nailing wall up to 10.20 m high in an urban area of the city of Perus, São Paulo. The nails had lengths between 6.0 and 10.0 m, with sectorized injection phases and shotcrete facing with a thickness of 10 cm. The geotechnical parameters were estimated through literature correlations and the authors' experience. Geostudio software was used for dimensioning the soil nailing wall, the Slope/W module for stability analyzes and Sigma/W module for the estimation of displacements. The excavations were carried out in lines and in alternating niches and sub-vertical nails were also used to reinforce the foundation of the neighboring building. The displacements estimated by the computational modeling were consistent with the observed behavior and smaller if compared with the proposed estimates in the literature. There was also a match with the results observed in works of the same characteristics studied by Mucheti and Albuquerque (2023) in the Metropolitan Region of São Paulo.

**KEYWORDS:** Soil nailing, numerical modeling, limit equilibrium, stress-strain analysis.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.





## 1 Introdução

Na 1ª COBRAE em 1992, Dias (1992) publicou o artigo intitulado “Solo pregado – procedimento sugestão de norma”, sugerindo a necessidade de norma para regular o assunto, porém somente em 2021 foi publicada a primeira norma brasileira sobre solo grampeado, a NBR 16920-2 (ABNT, 2021) que indica os padrões mínimos exigidos na elaboração de projetos e nos procedimentos de execução.

No 20º COBRAMSEG foram publicados 19 artigos relacionados à utilização da técnica do solo grampeado, comprovando o interesse da comunidade geotécnica em sua utilização.

Antes da publicação da norma brasileira os profissionais se valiam de artigos publicados no Brasil e no exterior, mas principalmente nos manuais e normas internacionais, Clouterre (1991), Guidelines (2005), Ciria (2005), NF-P94-270 (2009), BS 8600-2 (2011), FHWA (2015) e Geoguide 7 (2017) que se destacam em projetos, execução, acompanhamento e comportamento de estruturas grampeadas.

Mucheti, Albuquerque e Falconi (2021) apresentaram três casos de rupturas ocorridas em estruturas de solo grampeado de face vertical por falhas de projeto e de execução. No entendimento dos autores, a existência de uma norma, na ocasião do projeto e execução destas obras, inibiria as falhas e possivelmente não teria ocorrido a ruptura.

A utilização da técnica do solo grampeado em solos tropicais brasileiros foi se aperfeiçoando ao longo do tempo o que permite obras de paramentos verticais menos deslocáveis se comparadas às executadas nas décadas passadas (Mucheti e Albuquerque, 2023).

Este trabalho tem o objetivo de apresentar as etapas de projeto, execução e desempenho de uma contenção vertical em solo grampeado em área urbana, à luz do emprego da atual norma brasileira e recomendações dos manuais internacionais.

## 2 Solo grampeado, metodologia e particularidades executivas aplicadas à obra

A NBR 16920-2 (ABNT, 2021) definiu o solo grampeado como uma técnica de estabilização, temporária ou permanente, de taludes naturais e escavações, por meio da introdução de reforços no maciço, normalmente aliada ao revestimento da face. Os elementos são capazes de resistir aos esforços e às deformações no interior do maciço e de apresentar adequada resistência à degradação.

Na obra deste trabalho a sequência executiva foi planejada e executada da seguinte forma:

- Execução dos grampos verticais com bainha e duas fases setorizadas de injeção;
- Escavação sob a construção vizinha em nichos alternados e execução de uma viga baldrame em concreto projetado sob a parede existente e sobre o grampo vertical (reforço de fundação);
- Em nichos alternados, execução dos grampos sub-horizontais com bainha e três fases setorizadas de injeção. A largura máxima do nicho de 2,60 m permitia a execução de dois grampos por vez.
- Instalação da drenagem de paramento (geocomposto em tiras), colocação da tela metálica e aplicação do concreto projetado. Para a escavação da linha de grampos subsequente era obrigatório que todos os grampos da linha superior já estivessem com todas as fases setorizadas de injeção realizadas.
- Os drenos sub-horizontais profundos eram instalados somente após o final das injeções dos grampos do mesmo nível.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



f) A cada duas linhas de grampos completadas era aplicado e feito o acabamento desempenado de argamassa.

Nas Figuras 1 (a) e (b) apresenta-se imagens da obra finalizada.



Figura 1(a) – Imagem da obra.



Figura 1(b) – Imagem da obra.

### 3 Materiais e métodos

#### 3.1 Características do projeto

A contenção em solo grampeado destinou-se a implantação de subsolos para garagens de um edifício residencial. As características principais do projeto são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais características do projeto.

Altura da contenção (H)	10,20 m
Malha de grampos ( $s_h \times s_v$ )	1,30 x 1,30 m
Inclinação dos grampos	10°
Diâmetro da perfuração do grampo	0,10 m
Número de injeções	Bainha + 3 injeções setorizadas
Diâmetro da barra de aço CA-50	20 mm
Comprimento dos grampos (L)	10,0 m (L/H=1,0); 8,0 (L/H=0,8) e 6,0 m (L/H=0,6)
Concreto projetado (espessura)	0,10 m
Armadura do paramento (tela metálica)	Tela padronizada tipo Q-196 (3,11 kg/m <sup>2</sup> )
Drenagem	DHPs, drenos de paramento em tiras e canaletas

O projeto foi elaborado de acordo com a NBR 16920-2 (ABNT, 2021).

Para o dimensionamento do solo grampeado foi utilizado o software Geostudio. As análises de estabilidade foram realizadas por métodos de equilíbrio limite no módulo Slope/W e, para as análises tensão-deformação por método dos elementos finitos no módulo Sigma/W do programa.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



Um detalhe nem sempre considerado no dimensionamento da contenção são as verificações de estabilidade e deslocamentos da face na ocasião das escavações para execução das sapatas e baldrame no fundo da contenção.

Apresenta-se na Figura 2 um corte esquemático da contenção.

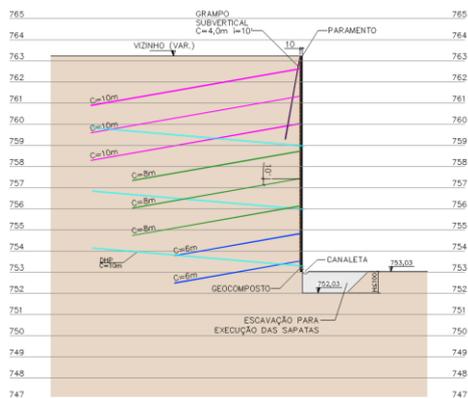


Figura 2 – Detalhe do solo grampeado.

### 3.2 Característica do solo local e parâmetros estimados para o projeto

Na Figura 3, apresenta-se a sondagem representativa utilizada para estimativa dos parâmetros de resistência e deformabilidade dos solos.

O horizonte da contenção foi dividido em duas camadas representativas, em função da característica do solo e resistência  $N_{SPT}$ .

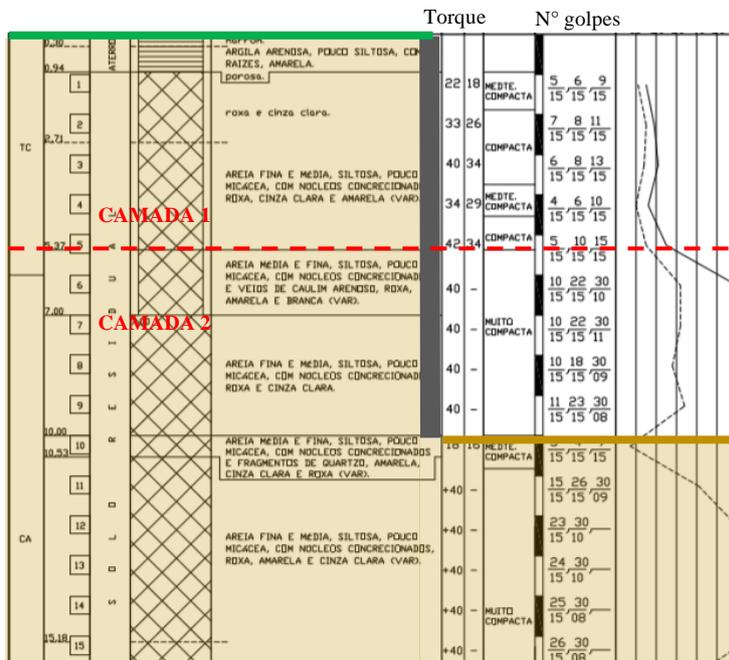


Figura 3 – Sondagem representativa e detalhe da escavação do solo grampeado.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



Os parâmetros de resistência e deformabilidade dos solos das camadas foram estimados com base em correlações do  $N_{SPT}$  disponíveis na literatura e experiência dos autores. Na tabela 2 indicam-se os parâmetros estimados e utilizados nas análises.

Tabela 2 – Parâmetros estimados para os solos.

Camadas (m)	Massa esp. (kN/m <sup>3</sup> )	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)	Módulo de deformabilidade (kPa)
1	19	30	12	60.000
2	20	40	28	120.000

Como fonte de consulta e estimativa preliminar foram verificadas as propostas indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Correlações do  $N_{SPT}$  na literatura.

Parâmetro	Autor	Equação ou tabela	
Ângulo de atrito	Godoy (1983)	$\phi' = 28^\circ + 0,4 \cdot N_{SPT\ 70}$	[1]
	Teixeira (1996)	$\phi' = \sqrt{20 \cdot N_{SPT\ 70} + 15^\circ}$	[2]
	Bowles (1996)	$\phi' = 0,36 \cdot N_{SPT\ 70} + 27^\circ$	[3]
	Schnaid (2009)	$\phi' = 18 \cdot (N_{SPT\ 70})^{0,234}$	[4]
Coesão	Mucheti e Albuquerque (2019)*	$c' = 0,56 \cdot N_{70} + 0,4$	[5]
Módulo de deformabilidade	Trofimenkov (1974)**	$E = 3 \cdot q_c$	[6]
	Schmertmann (1978)**	$E = 2,5 \cdot q_c$	[7]
	NC-03 (1980)	Tabela	
Parâmetro da resistência de interface solo-grampo ( $q_s$ )	Springer (2006)	$q_s = 45,12 \cdot \ln N_{SPT\ 70} - 14,99$	[8]
	Martins e Silva (2015)	$q_s = 31,25 + 4,69 \cdot N_{SPT\ 70}$	[9]
	Mucheti e Albuquerque (2021)	$q_s = 12,5 \cdot \ln N_{SPT\ 70} + 33,5$	[10]

Massa específica obtida das tabelas de Godoy (1972) e Joppert (1996).

\*Planilha eletrônica, (equação para areia silto argilosa).

\*\*Considerado  $q_c = k \cdot N_{SPT\ 70}$ ;  $k = 800\ kPa$ , Aoki e Velloso (1975) e Danziger e Velloso (1986).

O valor considerado da resistência de interface solo-grampo ( $q_s$ ) no projeto foi de 70 kPa para todas as linhas de grampos. Dois ensaios de arrancamento executados ao final da obra resultaram resistência ao arrancamento ( $q_s$ ) entre 95 e 116 kPa.

A sobrecarga utilizada no modelo foi de 10 kPa.

### 3.3 Análises de estabilidade

As análises de estabilidade foram realizadas pelo software Geostudio, módulo Slope/W. As estabilidades foram calculadas por quatro métodos de equilíbrio limite, sendo dois métodos considerados simplificados (Bishop e Janbu) e dois rigorosos (Morgenstern-Price e Spencer). Todas as análises cumpriram as verificações estabelecidas pela NBR 16920-2 (ABNT, 2021). Nas figuras 4(a) e (b) ilustram-se os Fatores de Segurança (FS) obtidos pelo método de Morgenstern-Price, para os demais métodos os resultados são apresentados na Tabela 4.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



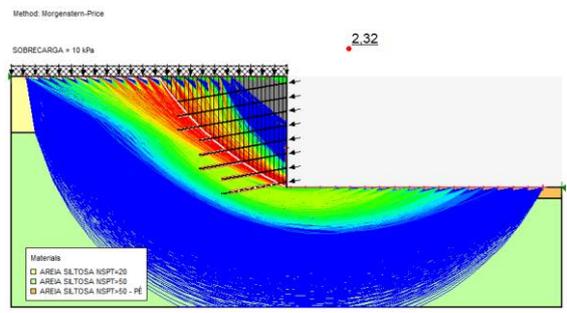


Figura 4(a) – Método de Morgenstern-Price, sem escavação da sapata.

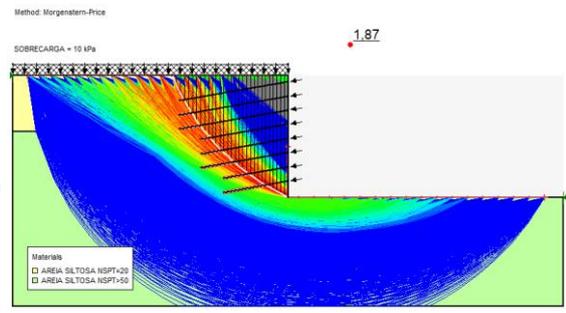


Figura 4(b) – Método de Morgenstern-Price, com escavação da sapata.

Tabela 4 – Análises de estabilidade, Fatores de Segurança (FS).

Método	FS Sem escavação	FS Com escavação	Redução do FS
Bishop	2,31	1,87	19%
Janbu	2,21	1,81	18%
Morgenstern-Price	2,32	1,87	19%
Spencer	2,31	1,87	19%

### 3.4 Análises tensão-deformação

A análise tensão-deformação para previsão dos deslocamentos, foi feita com o software Geostudio, modulo Sigma/W e contemplou todas as etapas construtivas da obra.

Nas figuras 5(a) e (b) apresenta-se a previsão do deslocamento da estrutura numa magnificação de 500 vezes da malha de elementos finitos, antes e depois da escavação da sapata.

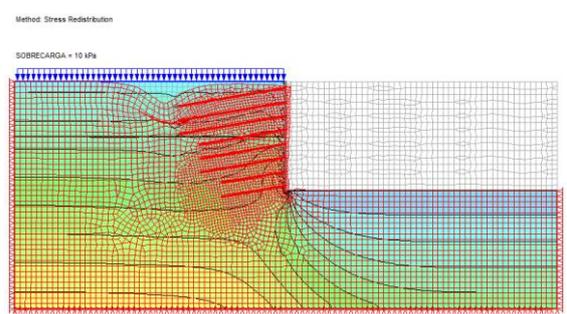


Figura 5(a) – Deslocamentos amplificados, sem escavação da sapata.

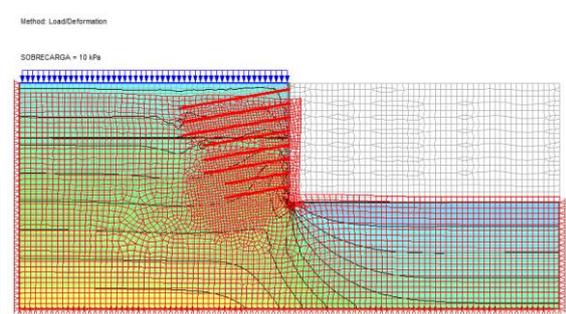


Figura 5(b) – Deslocamentos amplificados, com escavação da sapata.

Nas figuras 6(a) e (b) mostram-se as zonas de plastificação que ocorrem principalmente na parte superior, atrás dos três primeiros grampos (regiões em amarelo).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Method: Stress Redistribution

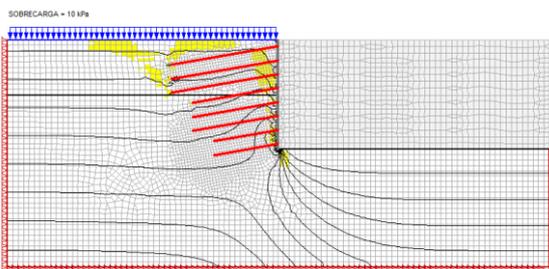


Figura 6(a) – Zonas de plastificação do solo, sem escavação da sapata.

Method: Load/Deformation

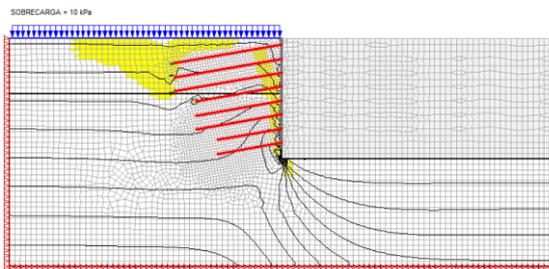


Figura 6(b) – Zonas de plastificação do solo, com escavação da sapata.

Nas figuras 7(a) e (b) mostra-se que a magnitude do deslocamento do paramento do solo grampeado acompanha a malha amplificada das Figuras 5(a) e (b). Os deslocamentos estimados para antes e depois da escavação da sapata passam de desprezíveis a 2,5 e 3,5 mm.

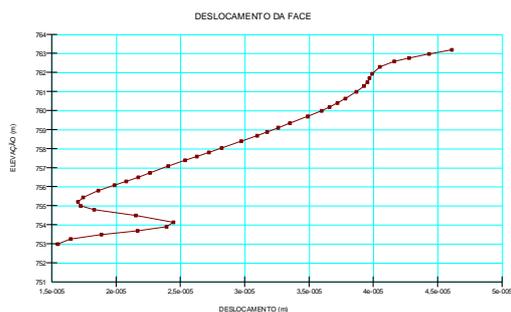


Figura 7(a) – Deslocamento do paramento, sem escavação da sapata.

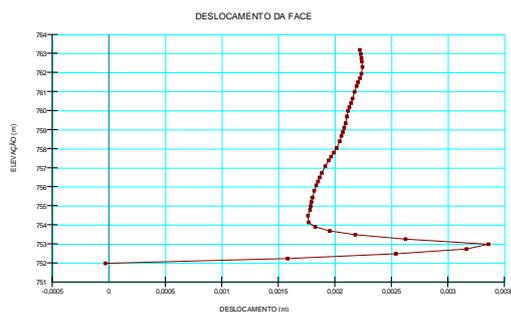


Figura 7(b) – Deslocamento do paramento, com escavação da sapata.

As estimativas das cargas máximas dos grampos para as duas condições são apresentadas nas Figuras 8(a) e (b). Observa-se que antes da escavação da sapata os grampos atingem  $T_{m\acute{a}x} = 67$  kN, sendo  $T_{0\ m\acute{a}x} = 37$  kN na cabeça do grampo e depois as cargas alcançam  $T_{m\acute{a}x} = 75$  kN e  $T_{0\ m\acute{a}x} = 54$  kN, respectivamente.

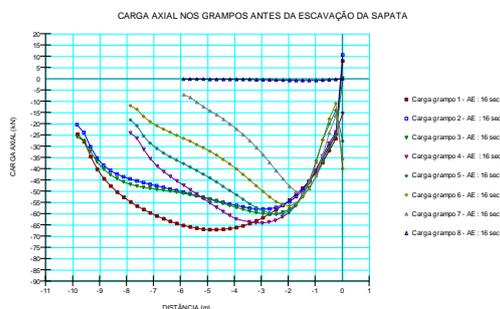


Figura 11(a) – Carga axial nos grampos, sem escavação da sapata.

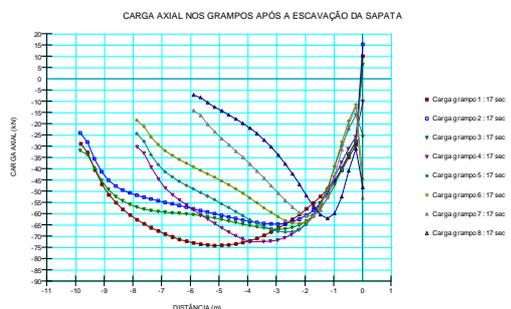


Figura 11(b) – Carga axial nos grampos, com escavação da sapata.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





A relação entre a carga máxima da cabeça dos grampos ( $T_{0m\acute{a}x}$ ) e carga máxima dos grampos ( $T_{m\acute{a}x}$ ) ficaram entre 0,55 e 0,72 e são coerentes com os valores indicados na literatura (Clouterre, 1991 e FHWA, 2015).

#### 4 Discussão e conclusões

As características iniciais do projeto foram amparadas pelas recomendações dos manuais Clouterre (1991) e FHWA (2015) quanto a determinação da malha e comprimento, levando-se em conta a relação L/H e a inclinação dos grampos. As demais características, como a espessura do paramento, os grampos verticais e as injeções setorizadas são práticas brasileiras e experiência dos autores.

O dimensionamento de uma contenção em solo grampeado em zonas urbanas deve levar em conta não apenas o FS, mas principalmente aos deslocamentos previstos pela estrutura resultando que em obras mais suscetíveis a deslocamentos é necessária uma malha reduzida e maior comprimento dos grampos.

A injeção setorizada trata o solo e melhora o comportamento do sistema, mas é imprescindível analisar as condições do entorno da obra, avaliando ações externas, tais como sobrecargas e possibilidade de infiltrações de água tratada e servida.

A experiência acumulada em obras realizadas são muito importantes na elaboração de um projeto, tendo em vista que quase sempre não se obtém ensaios de campo ou de laboratório para a melhor estimativa dos parâmetros de resistência e deformabilidade dos solos. Assim, recorre-se às correlações disponíveis na literatura e à experiência dos projetistas para se obter o desempenho desejado. Isto pode levar a uma estimativa muito conservadora ou arrojada, dependendo do caso (Mucheti e Albuquerque, 2023).

#### Pontos relevantes

1. A importância de verificar os fatores de segurança para a fase de escavação abaixo do final da contenção, pois há redução significativa nesta fase da obra tornando necessária a implantação de grampos mais longos na parte inferior da contenção.
2. A análise tensão deformação possibilita avaliar o deslocamento da obra e verificar as zonas de plastificação do solo o que pode indicar a possibilidade de manifestações patológicas como, por exemplo, fissuras no piso do vizinho nesta região.
3. A redução dos deslocamentos implica em um aumento do fator de segurança. Para se conseguir pequenos deslocamentos do paramento vertical é necessário uma malha mais densa e maior comprimento dos grampos, confirmado nos quatro métodos utilizados resultando em fatores de segurança mais elevados.
4. Os deslocamentos da face corroboram os resultados de obras relatadas por Mucheti e Albuquerque (2023) quando se analisa a influência da velocidade de execução nos deslocamentos.
5. As cargas máximas estimadas nos grampos ( $T_{m\acute{a}x}$ ) permitiram utilizar a correta bitola de aço do projeto e a relação entre a carga máxima da cabeça dos grampo ( $T_{0m\acute{a}x}$ ) e carga máxima dos grampos ( $T_{m\acute{a}x}$ ) entre 0,55 e 0,72, confirmam os valores indicados por Clouterre (1991) e FHWA (2015).

A melhoria na qualidade dos projetos e obras de solo grampeado se dará com a inclusão de mais ensaios na etapa de projeto, que na etapa de execução se cumpra o mínimo exigido pela

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.





NBR 16920-2 (ABNT, 2021) e que as obras sejam instrumentadas para confirmação das premissas de projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2021). *NBR 16920-2: Muros e taludes em solos reforçados – Parte 2: Solos grampados*. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 28p.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design*, 5<sup>th</sup> edn. McGraw-Hill Book Co. New York.
- BS 8600-2 (2011). *Code of practice for strengthened/reinforced soils: Part 2: Soil nail design* (ISBN: 978-0-580-58338-4). London.
- Ciria (2005). *Soil Nailing – Best Practice Guidance*. Ciria C637. London. ISBN 0-86017-637-1.
- Clouterre (1991). *Recommendations Clouterre - Soil Nailing Recommendations - 1991 for Designing, Calculating, Constructing and Inspecting Earth Support Systems Using Soil Nailing*. (English Translation) by Federal Highway Administration. Report n° FHWA-SA-93-026.
- Dias, P. H. V. (1992). *Solo pregado – procedimento sugestão de norma*, Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, ABMS. Anais... Vol. 1, Rio de Janeiro. pp: 75-80.
- FHWA (2015). *Soil Nail Walls Reference Manual*. (7<sup>a</sup>, Issue 132085). <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/nhi14007.pdf>
- Geoguide 7 (2017). *Guide to Soil Nail Design and Construction*. Accessed July 17, 2022. [https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content\\_117/eg7\\_20170918.pdf](https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content_117/eg7_20170918.pdf)
- KongGuidelines, N. (2005). *Nordic Guidelines for Reinforced Soils and Fills (Revision B)*. The Nordic Geotechnical Societies, Nordic Industrial Fund.
- Godoy, N. S. (1972). *Fundações, notas de aula, curso de graduação*. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP. 65p.
- Godoy, N. S. (1983). *Estimativa da capacidade de carga de estacas a partir de resultados de penetrômetro estático - Palestra*. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP.
- Joppert, I. (2007). *Fundações e contenções de edifícios - Qualidade total na gestão do projeto e execução*. São Paulo: Pini ISBN 978-85-7266-177-5, 2007. 221p.
- Martins, J. A. T.; SILVA, C. M. (2015). *Uma proposição para o dimensionamento do comprimento de ancoragens passivas (grampos)*. Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia – SEFE 8. ABMS - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Anais... São Paulo.
- Mucheti, A. S.; Albuquerque, P. J. R. (2019). *Planilha eletrônica para estimativa de parâmetros geotécnicos – Uso acadêmico*. Curso de Extensão – Obras de Terra I. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Campinas.
- Mucheti, A. S.; Albuquerque, P. J. R. (2020). *Análise experimental e numérica de estruturas de solo grampeado em áreas urbanas da região metropolitana de São Paulo*. Exame de qualificação de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Campinas.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



- Mucheti, A. S.; Albuquerque, P. J. R. (2023). *Influência da velocidade de execução nos deslocamentos de estruturas de solo grampeado de face vertical em áreas urbanas*. In: Solo Grampeado no Brasil: Histórico, aplicações práticas e avanços nas últimas décadas (2003-2023). Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), Núcleo Regional São Paulo (NRSP). São Paulo. pp 9-19. DOI:10.4322/978-65-992098-2-6.
- Mucheti, A. S.; Albuquerque, P. J. R.; e Falconi, F. F. (2021). Rupturas de solo grampeado reflexões do contexto anterior à norma Brasileira ABNT-NBR 16920/2021. In: VIII Conferência Brasileira sobre estabilidade de Encostas – COBRAE. ABMS - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Anais... Porto de Galinhas.
- NC-03 (1980). *Normas Técnicas Complementares*. Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô. Revisão 1980. Volume 11. São Paulo. 177p.
- NF-P94-270. (2009). *Norme Française - Calcul géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué*. In AFNOR. Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR). [www.afnor.org](http://www.afnor.org)
- Schmertmann, J.H. (1978). *Guidelines for cone penetration test: performance and design*. Washington: U.S. Department of Administration, Federal Highway Administration.
- Schnaid, F.; Odebrecht, E. (2012). *Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações*, 2ª ed. Ofitexto, São Paulo, ISBN: 978-85-7975-059-5.
- Solotrat (2018). *Manual de serviços geotécnicos Solotrat*. 6ª Edição. Abril de 2018. <https://www.solotrat.com.br/pdf/manual-completo.pdf>
- Springer, F. O. (2006). *Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaisse*. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC. Rio de Janeiro. 310p.
- Teixeira, A.H. (1996). *Projeto e execução de fundações*. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 3. SEFE 3. Anais...São Paulo, v.1, p. 33-50.
- Trofimenkov, J.G. (1974). *Penetration Test in URSS - State-of the Art Report*. In: European Symposium on Penetration Testing, Proceedings... Stockholm. National Swedish Building Research, v. 1, p. 147-154.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.

