*XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*
*XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens*
*24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF*
**DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/60**

# Efeito da Consideração da Carga na Face no Dimensionamento de Estruturas de Solo Grampeado

Carolina Cury Saramago
Engenheira Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil, carolinasaramago@id.uff.br

Robson Palhas Saramago
Professor Associado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil, robsonsaramago@id.uff.br

Antonio Alves do Couto Junior
Engenheiro Civil, Terrae Projetos e Consultoria Ltda, Niterói, Brasil, antoniocoutojr2@gmail.com

Cássio da Silva Pacheco
Engenheiro Civil, Terrae Projetos e Consultoria Ltda, Niterói, Brasil, cassio.s.pacheco@gmail.com

RESUMO: Os programas computacionais mais utilizados atualmente, baseados no método de equilíbrio limite para análise de estabilidade de estruturas de solo grampeado, permitem a consideração, em geral, da carga na face da contenção variando de 100% (carga máxima do grampo atuando na face) até zero (sem carga na face). O trabalho apresenta uma discussão conceitual e numérica da consideração desta carga na face e seus efeitos no dimensionamento da estrutura de solo grampeado a partir da utilização do programa Slide 2 da empresa Rocscience, considerando diferentes cargas atuando junto à face. Aborda resultado de instrumentação de grampo com células de carga em obra realizada em Niterói – RJ, com altura máxima de 37m, e mostra a importância da consideração da referida carga no dimensionamento da estrutura de solo grampeado. Apresenta-se o comportamento das cargas junto à face durante a implantação da obra e após a obra finalizada, além da necessidade de verificação estrutural à punção do paramento. A instrumentação dos grampos valida as hipóteses adotadas no projeto e serve de referência para projetos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: Solo grampeado; Estrutura de contenção; Carga na face; Estabilidade de taludes

ABSTRACT: Most computational programs used for stability analysis of soil-nailed structures, based on the limit equilibrium method, allow the facing load to vary from 100% to zero. This study discusses the effects of the facing load on the design of soil-nailed structures using the Slide2 software (Rocscience) and presents load-cell instrumentation results from a 37 m high soil-nailed structure in Niterói, RJ, highlighting the behavior of facing loads during construction and in the service condition.

KEYWORDS: Soil nailing; Retaining structures; Face load; Slope stability

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a NBR 16920-2 (2021), solo grampeado é uma técnica de estabilização, temporária ou permanente, de taludes naturais e escavações, por meio da introdução de reforços no maciço (grampos), geralmente associados a revestimento da face. Os grampos são capazes de resistir aos esforços solicitantes.

Ao utilizar programas baseados em método de equilíbrio limite para realizar as análises de estabilidade, o projetista define o quanto da carga admissível dos grampos pode atuar junto à face do solo grampeado. Tal valor pode ser considerado como 100% (carga máxima do grampo atuando na face) até zero (sem carga na face). O objetivo do estudo é avaliar a influência da variação da carga na face no cálculo dos fatores mínimos de segurança e nas superfícies potenciais de ruptura.

Assim, utilizou-se como estudo de caso um solo grampeado real, com o qual foram elaboradas análises de estabilidade com diferentes considerações de carga junto à face. Também foi realizado o dimensionamento estrutural (punção) do paramento, para cada consideração de carga atuante na face.

A obra estudada possui diversas instrumentações, incluindo *strain gauges* em grampos desta contenção, auxiliando na compreensão do funcionamento real da estrutura.

## 2 ESTUDO DE CASO

Utilizou-se como estudo de caso uma obra real, localizada no Município de Niterói - RJ. O solo grampeado em questão foi executado para permitir a implantação de um empreendimento residencial.

Esta contenção possui altura máxima de 37 m e foi realizada em quatro trechos, separados por patamares. A seguir, a Figura 1 apresenta um modelo tridimensional correspondente ao levantamento topográfico anterior à obra; a Figura 2 corresponde à obra finalizada; A Figura 3 mostra uma imagem com a vista frontal do solo grampeado estudado; e a Figura 4 diz respeito à seção transversal de análise. O solo grampeado estudado está marcado em vermelho e o grampo em verde corresponde ao reforço instrumentado analisado neste trabalho.

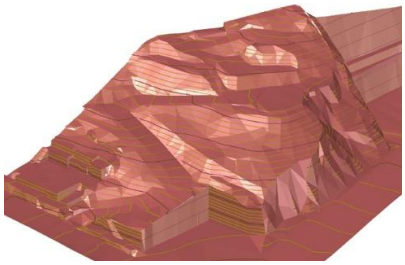


Figura 1. Modelo tridimensional da topografia



Figura 2. Obra finalizada

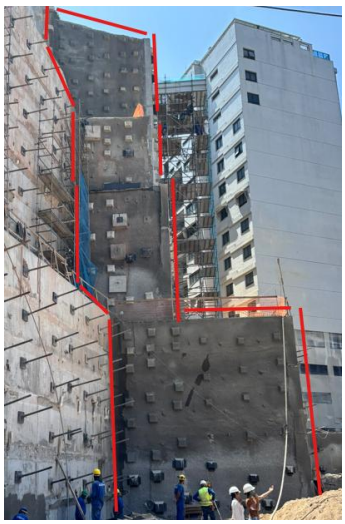


Figura 3. Vista frontal do solo grampeado

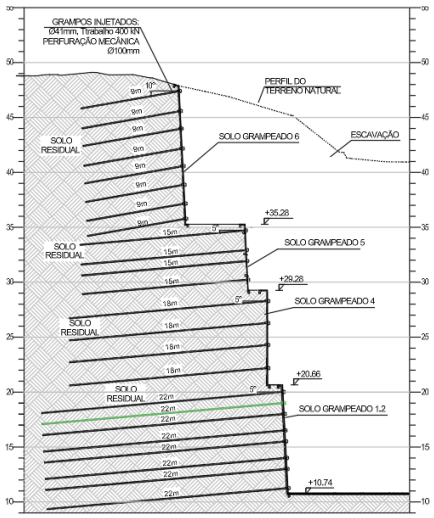
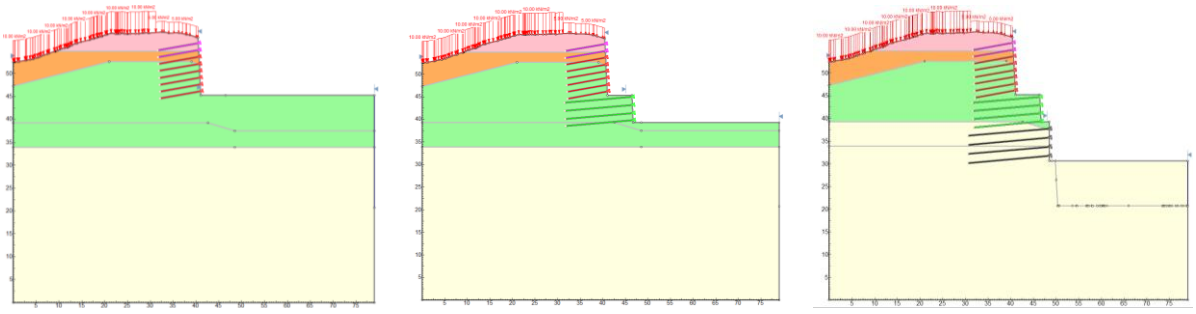



Figura 4. Seção transversal de análise

## 3 DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO

A fim de garantir o preconizado pela norma NBR 16920-2 (2021) quanto ao nível de segurança desejado contra perda de vidas humanas e contra danos ambientais e materiais, durante e após a execução do solo grampeado, foram elaborados quatro cenários para análise de estabilidade. Três correspondem a etapas de execução da contenção, feita pelo método descendente, enquanto a quarta etapa representa o solo grampeado finalizado, equivalente ao pós-obra. Utilizou-se o programa Slide2, da empresa Rocscience, e o método de análise de estabilidade utilizado foi o de Spencer.

Para cada etapa de escavação, utilizou-se a consideração de 0%, 50% e 100% da carga de trabalho do grampo (400 kN) disponível para atuar na face da contenção, totalizando 12 cenários. A sobrecarga considerada na crista corresponde à 5 kPa (próximo à face) e 10 kPa, devido às condições de contorno à montante do solo grampeado. A estatigrafia do terreno, os parâmetros de resistência das camadas do solo e os demais parâmetros envolvidos nas análises de estabilidade foram mantidos, alterando apenas a consideração da carga na face. Na sequência, estão apresentadas as seções transversais das Etapas 1, 2 e 3 (Figura 5).



(a) Etapa 1 (b) Etapa 2 (c) Etapa 3

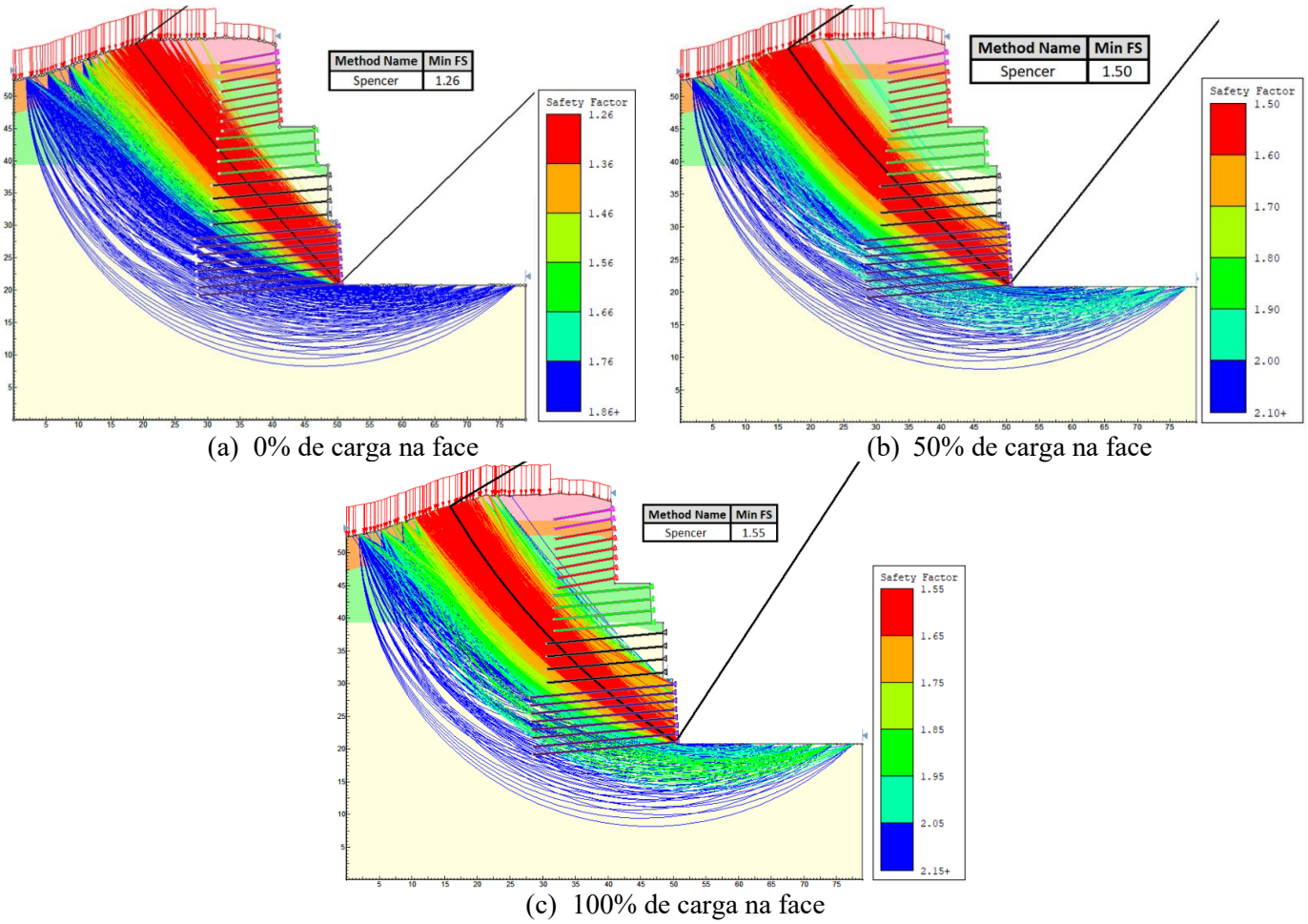
Figura 5. Perfis das três primeiras etapas de escavação

Os parâmetros geotécnicos adotados nas análises de estabilidade estão apresentados na Figura 6.

| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m3) | Strength Type | Cohesion (kPa) | Phi (°) |
|---|---|---|---|---|---|
| SR Maduro (Argila Arenosa Nspt<15) | | 17 | Mohr-Coulomb | 5 | 28 |
| SR Maduro (Argila Arenosa Nspt>15) | | 18 | Mohr-Coulomb | 10 | 30 |
| SR Maduro (Silte Argilo-Arenoso) | | 18 | Mohr-Coulomb | 12 | 32 |
| SR Jovem (Silte Arenoso) | | 20 | Mohr-Coulomb | 27 | 37 |

Figura 6 - Parâmetros geotécnicos adotados

Quanto à quarta etapa, correspondente à contenção finalizada, na Figura 7 estão apresentadas as análises de estabilidade elaboradas com as respectivas legendas.




(a) 0% de carga na face (b) 50% de carga na face

(c) 100% de carga na face

Figura 7. Análises de estabilidade da quarta etapa – pós-obra

Os resultados das análises de estabilidade foram analisados e montou-se um compilado com cada superfície potencial de ruptura crítica (Figura 8) e com os fatores de segurança obtidos para cada etapa (Tabela 1). Destaca-se que, para as duas primeiras etapas de escavação, a superfície crítica obtida foi a mesma para 50% e 100% de carga atuando na face. Os cenários com 0% de carga chegando à face fornecem superfícies mais próximas ao paramento.

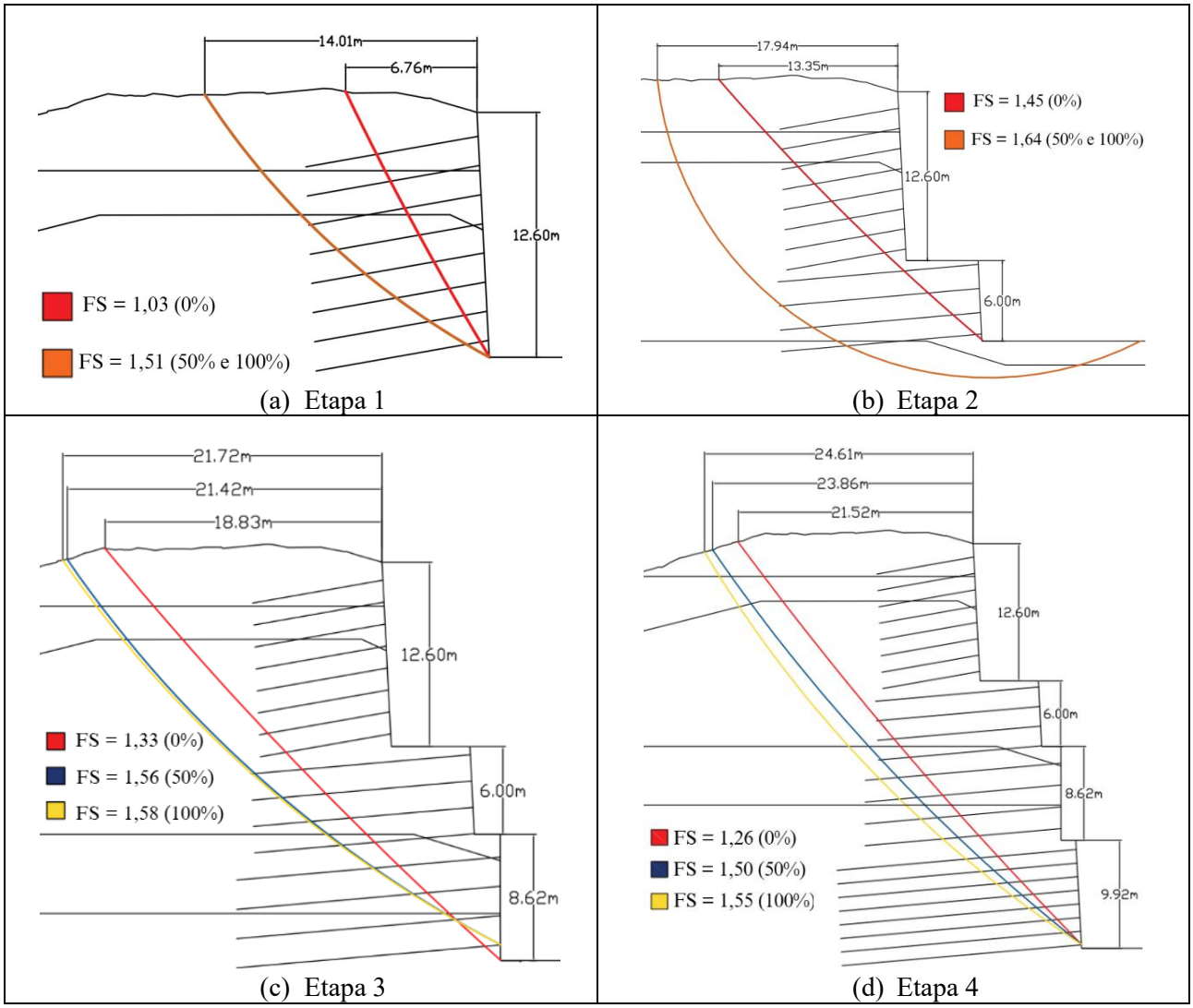



Figura 8. Comparação entre superfícies potenciais de ruptura ao longo das diferentes estapas

Tabela 1. Fatores de segurança para cada cenário

| Carga considerada na face | Etapa 1 | Etapa 2 | Etapa 3 | Etapa 4 |
|---|---|---|---|---|
| 0% | 1,03 | 1,45 | 1,33 | 1,26 |
| 50% | 1,51 | 1,64 | 1,56 | 1,50 |
| 100% | 1,51 | 1,64 | 1,58 | 1,55 |

Os valores obtidos para 50% e 100% da carga de trabalho dos grampos atuando na face da estrutura não tiveram efeito expressivo, visto que a variação está na casa decimal.

Ao comparar as considerações de 100% e 0% de carga atuando na face, percebe-se uma diminuição considerável no fator de segurança, para as quatro etapas apresentadas. Os valores correspondem a uma redução de 12% a 32%. Na primeira etapa a redução é bastante expressiva, pois a análise de estabilidade passa de satisfatória para o nível segurança desejado contra perda de vidas humanas e contra danos ambientais e materiais, no caso deste projeto de 1,5, para 1, valor teórico que representa a iminência de ruptura do talude.

## 4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Quanto ao dimensionamento estrutural da face em concreto projetado, a consideração da carga que atua no paramento é elemento fundamental para a definição da armadura. O paramento precisa ser armado estruturalmente, apresentando resistência à punção compatível com os esforços atribuídos à face.

Neste sentido, posiciona-se uma armadura de fissuração ao longo de toda a face do solo grampeado e é preciso verificar se há necessidade de armadura de reforço em área determinada ao redor dos grampos, chamada de armadura de fretagem, para evitar o mecanismo de ruptura por puncionamento. Esta verificação foi realizada de acordo com a NBR 6118 (2023), adaptada à situação de pilar de centro e laje, com a placa de ancoragem do grampo sendo análoga ao pilar.

Para fornecer uma comparação entre a área de aço necessária para cada caso, englobando armaduras de fissuração e fretagem, os demais parametros foram fixados. A resistência característica do concreto à compressão (fck) foi adotado como 35 MPa. A espessura do concreto projetado é de 12 cm e a placa de ancoragem adotada é a indicada pelo fabricante para o grampo utilizado, correspondente as dimensões de 20x20 cm.

A seguir, a Tabela 2 apresenta o resultado do dimensionamento estrutural do paramento, de acordo com cada consideração de carga chegando à face da contenção. Os resultados obtidos para área de aço e taxa de aço consideram a mesma seção e já incluem a armadura de fissuração e a de fretagem. Para o cenário sem carga atuando junto à face, a armadura mínima é suficiente e não há necessidade de armadura de fretagem.

Tabela 2. Resultado dimensionamento estrutural

| Carga atuando na face | Área de aço ($cm^2$) | Taxa de aço |
|---|---|---|
| 0% | 0,90 | 0,0005 |
| 50% | 15,26 | 0,0086 |
| 100% | 116,92 | 0,0658 |

Evidencia-se que a face possui função estrutural, contribuindo para a estabilidade, nos cenários de 50% e 100% de carga atuando junto à face. Percebe-se que alterar da consideração de 50% para 100% de carga atuando junto à face representa que a área de aço da segunda é 7,6 vezes maior do que a da primeira, evidenciando um aumento não linear da armadura ao variar apenas a carga na face.

Para o cenário de 100% da carga atuando na face, a área de aço necessária ultrapassa os valores padrão para tela soldada nervurada, forma prática de comprar este tipo de malha. Observa-se uma elevada quantidade de aço para uma espessura delgada de concreto projetado, tornando tal dimensionamento inviável. Os outros parâmetros envolvidos no dimensionamento, como dimensões da placa de ancoragem, valor do fck e espessura do concreto projetado, poderiam ser modificados a fim de otimizar o cálculo. Porém, para este estudo, o objetivo é manter os mesmos parâmetros e variar apenas a carga.

## 5 INSTRUMENTAÇÃO

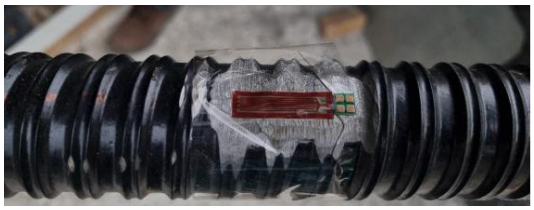
"Instrumentar uma obra é instalar aparelhos que medem grandezas importantes para a estabilidade, em locais cuidadosamente escolhidos, enquanto monitorar é acompanhar a leitura deles durante certo tempo e comparar com valores determinados anteriormente" (Geo-Rio, 2013). A instrumentação disponibiliza dados que auxiliam no entendimento do comportamento da carga na face, já que se trata de um solo grampeado real. Assim, é possível comparar a carga medida com a estimada em projeto.

A obra estudada possui, dentre outros tipos de instrumentação, extensômetros elétricos de resistência posicionados ao longo de alguns grampos. Estes sensores, conhecidos como *strain gauges*, medem os esforços de tração mobilizados ao longo do comprimento dos grampos instrumentados, relacionando variações de dimensão com variações equivalentes da resistência elétrica.

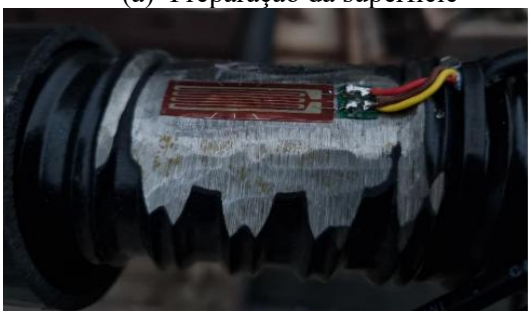
Os grampos instrumentados recebem os sensores previamente à sua instalação. Com relação ao procedimento de instrumentação, é preciso preparar a superfície do grampo, instalar os sensores nos pontos definidos, realizar as conexões elétricas, o isolamento elétrico e o mecânico, para posteriormente instalar o grampo na contenção. A seguir, a Figura 9 apresenta tal procedimento.



(a) Preparação da superfície



(b) Instalação do sensor



(c) Conexões elétricas



(d) Isolamento elétrico e mecânico

Figura 9. Procedimento de instrumentação

A seguir, a Figura 10 apresenta o gráfico Carga x Distância do ponto à face para um dos grampos instrumentados, destacado em verde na seção transversal (Figura 4). Percebe-se que este grampo possui quatro sensores, posicionados a 1, 3, 5 e 10 m da face da contenção. Apesar de não existir instrumentação especificamente na face, os dados disponibilizados pelos sensores fornecem uma estimativa da carga próxima à face e informações sobre o comportamento do grampo, quanto à mobilização de carga no reforço ao longo do tempo. São apresentadas quatro datas de leitura da referida instrumentação.

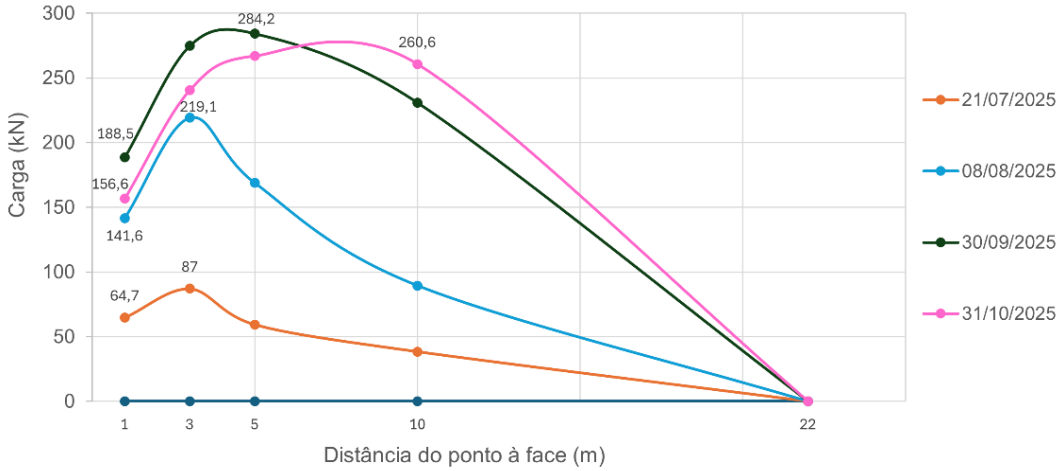



Figura 10. Gráfico Carga x Distância

O gráfico apresenta o valor da carga no sensor mais próximo à face, posicionado a 1 m de distância, bem como no ponto de leitura com carga máxima mobilizada, para cada uma das quatro datas de leitura.

O maior valor obtido próximo à face foi de 188,5 kN. Ressalta-se que, segundo Lima (2007), o manual técnico da FHWA (Lazarte et al, 2003) fornece uma equação para estimar a força de tração na cabeça do grampo ($T_0$), atuante na face da contenção na condição de serviço. A expressão está apresentada a seguir (Equação 1), na qual $T_{máx-s}$ refere-se à força de tração máxima obtida no grampo, por análise de estabilidade global com método de equilíbrio limite, e $s_{máx}$ diz respeito ao espaçamento máximo entre grampos, comparando vertical e horizontal.

$$T_0 = T_{máx-s} \cdot [0{,}6 + 0{,}2\,(s_{máx} - 1)] \quad (1)$$

Para o grampo apresentado, o valor estimado para a carga na face corresponde a 260 kN. Assim, até o momento, a carga medida está menor do que a estimada por esta equação.

A maior carga mobilizada medida ($T_{máx}$) ocorreu no terceiro sensor, na terceira leitura, de 284,2 kN. Nota-se que a carga mobilizada foi aumentando ao longo dos três primeiros meses de monitoramento e diminuiu na última leitura. A partir das fotos registradas nas visitas semanais à obra, foi possível selecionar imagens do solo grampeado (quarta etapa de escavação) ao longo da sua execução, em datas compatíveis com as leituras da instrumentação, como apresentadas a seguir da Figura 11 até a Figura 16. O grampo correspondente ao gráfico mostrado está destacado em vermelho.

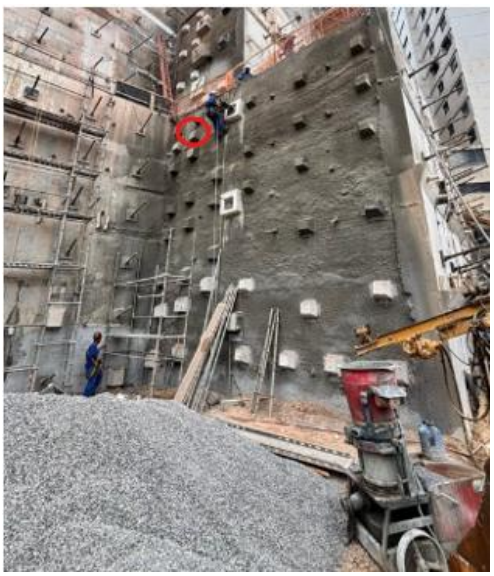

Figura 11. 08/07/2025 - início da escavação


Figura 12. 18/07/2025 - grampo executado


Figura 13. 08/08/2025 – durante a escavação


Figura 14. 29/09/2025 - durante a escavação


Figura 15. 23/10/2025 - durante a escavação


Figura 16. 05/11/2025 – fim da escavação

A Figura 15 mostra a linha de grampos provisórios, prevista para permitir a execução de fundação na obra. Já na Figura 16, a escavação é recomposta e posicionada uma pilha de brita a jusante, configurando uma sobrecarga no pé da contenção. Este cenário justifica a diminuição de carga apresentada pela instrumentação, visto que os grampos são reforços que não são pré-tensionados. Assim, a mobilização de carga é alterada conforme as condições de campo.

A partir dos dados obtidos na instrumentação, foram calculadas as porcentagens que a carga mais próxima à face, medida no sensor a 1 m do paramento, representa em relação à maior carga mobilizada ao longo do grampo ($T_{máx}$), para cada leitura, e em relação à carga de trabalho do reforço (400 kN).

O sensor mais próximo do paramento forneceu valores de 60% a 74% da carga máxima mobilizada nos sensores, em cada leitura realizada. Destaca-se que os dados sobre carga mobilizada são restritos aos pontos com sensores. Sendo assim, as curvas geradas são interpolações entre os valores obtidos em cada sensor e não necessariamente representam a mobilização real de carga em outros trechos do grampo, porém fornecem uma referência do comportamento de carga no grampo.

Os valores obtidos no sensor próximo à face variaram de 16% a 47% da carga de trabalho do grampo, considerando do início ao término da execução do solo grampeado.

## 6 CONCLUSÃO

A magnitude da carga disponível para ser mobilizada pelos grampos que atua na face do solo grampeado influencia no dimensionamento geotécnico da contenção, visto que altera o formato e a localização das superfícies potenciais de ruptura, além do valor do fator de segurança obtido.

Possível encaminhamento na elaboração de projeto poderia ser o do dimensionar primeiro um cenário com 100% da carga atuando junto à face, definindo a densidade inicial dos grampos, a fim de garantir a estabilidade global na interface da zona ativa com a zona resistente. Após esta etapa, elaborar o dimensionamento com carga menor junto à face (a esperada para atuar nas condições de trabalho, pela estimativa teórica e experiência com outras obras instrumentadas) e verificar a densidade de grampos complementares necessária para evitar possíveis instabilidades na zona ativa do solo grampeado.

Quanto ao dimensionamento estrutural, fica evidente o comportamento não linear do dimensionamento, ao variar apenas a magnitude da carga atuando na face. Desta forma, tal informação é fundamental para o dimensionamento estrutural do paramento. Também modifica elementos envolvidos, como existência ou não de armadura de fretagem, dimensões da placa de ancoragem, especificação do concreto, entre outros.

Percebe-se a importância da implementação de programa de instrumentação e monitoramento para melhor avaliação do comportamento das contenções, sendo uma forma eficaz de garantir obras econômicas e seguras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2023). NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto.* Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16920-2. *Muros e taludes em solos reforçados – Parte 2: Solos grampeados.* Rio de Janeiro.

Geo-Rio - Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (2014) - Manual Técnico de Encostas - Volume I. Rio de Janeiro.

Lima, A. P. (2007) *Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaisse.* Dissertação de Doutorado em Geotecnia. PUC. RJ.