

## Substituição de Contenção Ineficaz por Contenção em Solo Grampeado

Antônio Felipe de Miranda  
Engenheiro Civil, Solotrat Engenharia Geotécnica Eireli, São Paulo, Brasil, [felipe.miranda@solotrat.com.br](mailto:felipe.miranda@solotrat.com.br)

George Joaquim Teles de Souza  
Engenheiro Civil, Diretor, Solotrat Engenharia Geotécnica Eireli, São Paulo, Brasil, [georgeteles@solotrat.com.br](mailto:georgeteles@solotrat.com.br)

Sergio Mello  
Engenheiro Civil, diretor, APPOGEO Projetos de Infraestrutura Eireli, São Paulo, Brasil  
[sergiomello@appogeo.com.br](mailto:sergiomello@appogeo.com.br)

### RESUMO:

Contenções em aterro reforçado com geogrelhas, com grandes problemas de instabilidade foram substituídas / reforçadas por muro em solo grampeado na cidade de Belo Horizonte. Esse artigo abordará o método construtivo utilizado para a remoção da contenção existente concomitante com a construção da nova contenção, a fim de ilustrar a técnica construtiva, agilidade no processo produtivo e eficiência do solo grampeado para estabilização de encostas e não trará maiores detalhes sobre o detalhamento do projeto. O reforço foi executado de cima para baixo, removendo a face da contenção em aterro e executando a nova face em solo grampeado. Durante toda a obra priorizou-se o controle de injeção dos grampos para o acompanhamento das pressões injetadas. Foram instalados extensômetros para o acompanhamento da estabilidade

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo Grampeado, Drenagem, Contenção de talude

Containers in geogrid - Geogrid reinforced landfill, with instability problems were replaced / reinforced by soil nailing wall, in Belo Horizonte-MG. This article is about constructive method used to remove the existing containment and the construction of the new one, at the same time, in order to illustrate the constructive technique, agility in process and the efficiency of the soil nailing for slope stabilization. The reinforcement was made from top to bottom, removing the embankment face and running the soil nailing. The injection control of the soil nailing was prioritized to follow the injected pressures, and extensometers were installed to monitor stability of the soil. Project will not be detailed in thi paper.

**KEYWORDS:** Soil Nailing, Drainage, Slope Containment

## 1 Introdução

A ruptura de uma contenção em aterro reforçado com geogrelhas existente em um condomínio residencial localizado na cidade Belo Horizonte/MG, levou à interdição de parte do mesmo pela defesa civil. Fez-se necessário o estudo de um novo método que substituisse a contenção existente com rapidez de execução e qualidade técnica. Por ser um método seguro, de grande agilidade na execução e economicamente mais viável em relação à outros métodos, foi definido que a estabilidade do talude seria garantida através da técnica de solo grampeado. Através da Figura 01 é possível observar a ruptura do talude e o desaprumo do muro existente, mostrando a iminência de um novo escorregamento.



Figura 01: contensão em terra e rompida.

O método construtivo adotado foi o de remoção do muro avariado de cima para baixo e a construção concomitante de muro em solo grampeado, como pode ser observado através da Figura 02.



Figura 02: Remoção do muro em aterro e início do solo grampeado.

## 2 Metodologia

### 2.1 Estudo Geotécnico do solo e definição da nova contenção

Após a constatação e acompanhamento das movimentações ocorridas nas contenções em aterro, além

da perda de estabilidade do paramento e ruptura parcial do maciço e da contenção, foram realizadas diversas análises de estabilidade com a finalidade de identificar os pontos críticos.

Para a realização das análises de estabilidade supracitadas, fora realizada nova campanha de sondagens à percussão. Os resultados em termos de caracterização e resistência à penetração foram cruzados com a bibliografia de forma a estabelecer, por meio de correlações, os parâmetros geotécnicos. A locação de sondagens foi realizada considerando as situações críticas em termos de desnível, segurança e estabilidade, conforme apresentado pela Figura 03. Dessa forma, obtendo informações estratégicas, foi possível traçar um perfil geológico geotécnico do solo local, possibilitando a compreensão comportamental de cada região representativa das sondagens.



Figura 03: Locação dos pontos de sondagem.

A fim de refinar os parâmetros obtidos, realizou-se a modelagem da situação previamente ao dimensionamento dos reforços em solo grampeado, de forma que os parâmetros geotécnicos adotados fornecessem fatores de segurança compatíveis com as ocorrências constatadas.

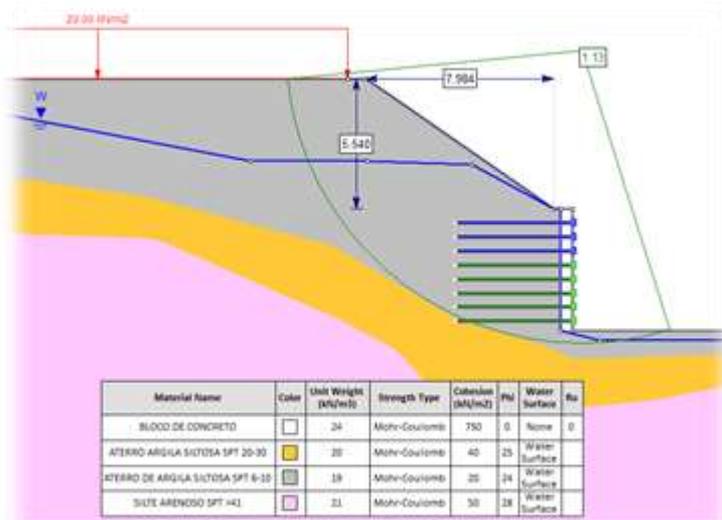


Figura 04: Interpretação de seção crítica – Situação anterior ao reforço – Condição de saturação.

Através da mesma modelagem, foi concebida solução de contenção que pudesse promover a estabilização prévia do maciço de forma a possibilitar uma condição de trabalho aos executores do reforço/

substituição de contenção, atingindo os fatores de segurança mínimos para situações provisórias. Posteriormente, a solução deveria prover a capacidade de desmonte progressivo e gradual da contenção existente para instalação da nova, de forma segura e eficaz. Com base em todas as condições supracitadas, fora selecionada a técnica de solo grampeado.

Dessa forma, para as regiões de desnível e estabilidade críticas, fora realizado o dimensionamento a partir das condições anteriormente descritas, de solo grampeado verde nos taludes à montante das contenções. Tais contenções objetivavam não só promover a estabilização local, como também atingir a condição de fator de segurança adequado ao trabalho da equipe de obra na região entre as torres e as contenções.

Nessa fase inicial, em decorrência da inexistência de drenagens profundas de base e do período de elevada pluviometria em que os procedimentos de estabilização foram realizados, considerou-se a mesma ocorrência de saturação do maciço. No trecho do solo grampeado verde foram inseridos drenos profundos que promoveriam o alívio das pressões na região do maciço. Considerou-se o fator de segurança mínimo de 1,30 – conforme ABNT NBR 11682/2009 – para avanço dos serviços no sentido do trecho à prumo da contenção.

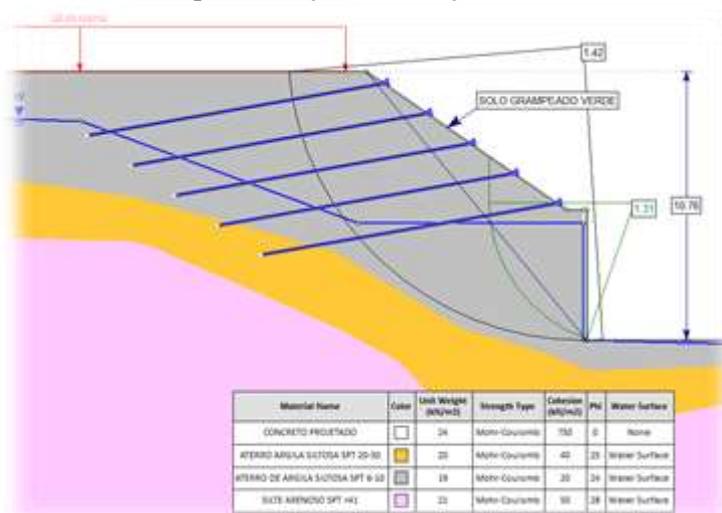


Figura 05: Interpretação de seção crítica – Etapa inicial de estabilização – Condição de saturação.

Tabela 2 — Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Tabela 3 — Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais \ Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10 %. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semiprobabilístico indicado no Anexo D.

NOTA 2 No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $c$ , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3 Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

Figura 06: Tabelas de fatores de segurança mínimos – ABNT NBR 11682/2009.

As análises de estabilidades globais e os cálculos dos elementos estruturais da contenção foram realizados com base na bibliografia nacional disponível, bem como premissas e fatores de segurança à resistência dos grampos e de sua adesão extraídos de manual técnico americano (Federal Highway Administration – FHWA – Soil Nail Walls). As interpretações dos fatores de segurança foram realizadas através de software de cálculo de cunhas de ruptura críticas. Importante frisar que por segurança, os modelos não consideraram a contribuição das geogrelhas presentes no maciço, que na prática, implicariam em fatores de segurança ainda maiores.

Os modelos de análise empregados foram Bishop Simplificado (1955), Spencer (1967) e Jambu (1973), através dos quais foi verificado o fator de segurança mais desfavorável. As sobrecargas e fatores de segurança estabelecidos são adequados às recomendações relativas à ABNT NBR11682/2009, conforme se pode identificar na interpretação de uma seção crítica a seguir representada pela Figura 07.

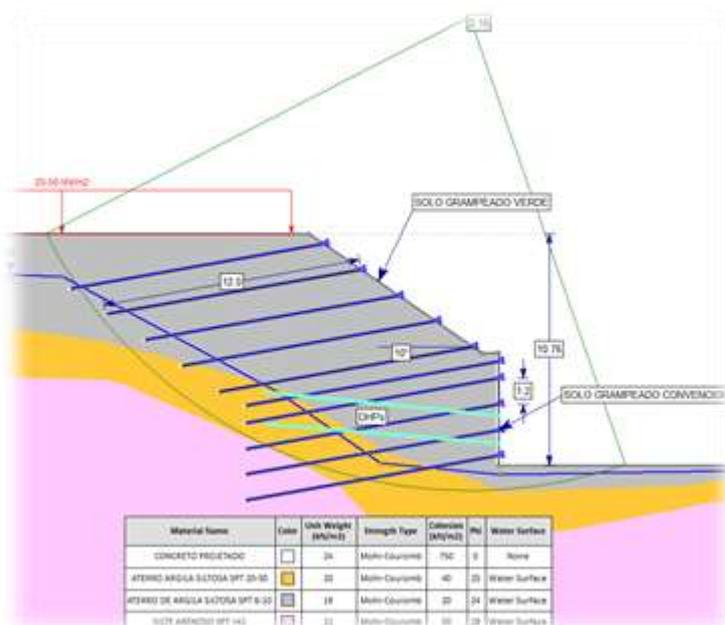


Figura 07: Interpretação de seção crítica – Etapa final de estabilização – Condição drenada.

Nas análises de estabilidade dos diversos modelos gerados para as contenções do empreendimento em questão foram atingidos fatores de segurança pós instalação de solo grampeado, acima de 1,80, de forma a atender os requisitos normativos vigentes .

Importante ressaltar que não ocorrem níveis d'água à baixa profundidade nas sondagens realizadas, entretanto, pela avaliação das ocorrências e da constatação de diversos vazios e intenso fluxo de água através do paramento da contenção existente, foi possível verificar a atuação de empuxo hidrostático na situação de saturação.

Tendo definidos todos os aspectos de dimensionamento, realizou-se o detalhamento do projeto, inserindo os devidos elementos que assegurassem o correto desempenho da contenção, tais como juntas verticais, elementos de drenagem superficiais, de paramento e profundos, sistema de ancoragem e etc. A Figura 08 trata da reprodução da vista criada no projeto relativo ao mesmo segmento da análise de estabilidade anteriormente representada.

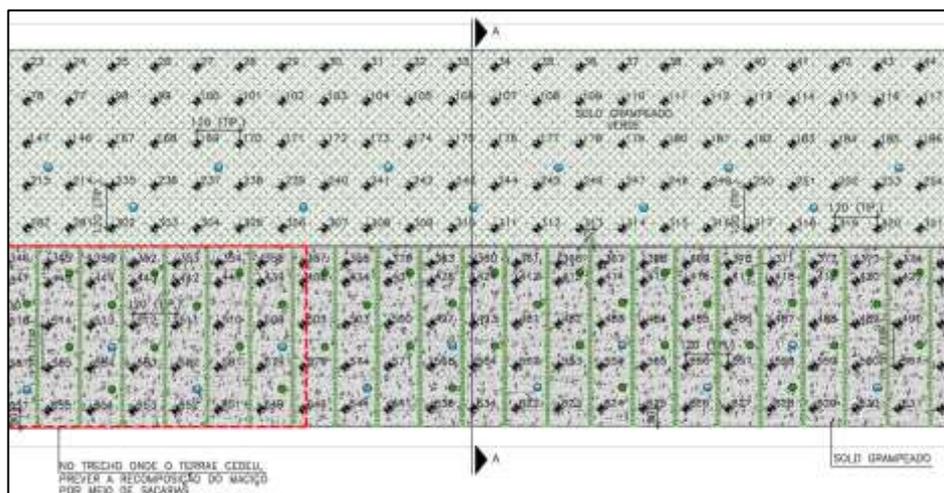


Figura 08: Reprodução de trecho da vista do projeto.

A Figura 09 reproduz o corte do projeto na seção crítica avaliada.

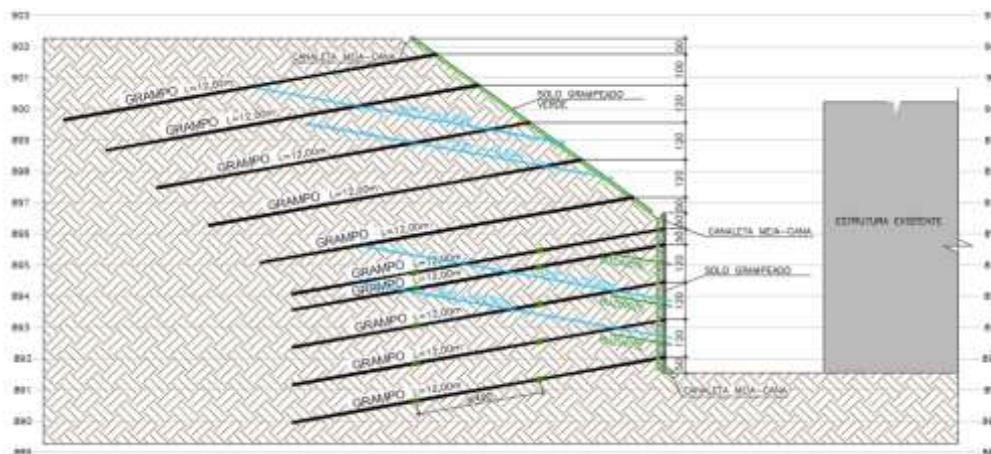


Figura 09: Reprodução do corte A:A do projeto.

## 2.2 Processos construtivos

### 2.2.1 Remoção da contenção existente

A construção do muro de reforço em solo grampeado foi executada de cima para baixo, com remoção da face em muro de aterro e a construção do muro em solo grampeado com o uso de andaimes leves. Esta remoção possibilitou o aumento do corredor existente entre o prédio e o muro com ganho de espaço para os condôminos. A execução em espaço exíguo é uma característica das contenções em Solo Grampeado. Através da Figura 07 é possível observar o espaço disponível entre o andaime e os prédios.



Figura 10: Corredor disponível para a obra.

A necessidade de retirada da face em blocos e do dreno de brita no costado do aterro, para que o solo grampeado fosse instalado diretamente na face do aterro em solo, gerou uma escavação que alargou o corredor existente entre os prédios e o talude.

### 2.2.2 Grampos sub-horizontais profundos

A perfuração para instalação dos grampos foi realizada através de perfuratriz manual elétrica, equipamento portátil, de fácil acesso para locais com pouco espaço disponível, e possui alta produtividade. Foram realizadas perfurações em solo, com diâmetro de 4” e comprimento de 12 metros. Em alguns pontos da obra ocorreu presença de rocha, não prevista nas sondagens. Para a perfuração em rocha foi utilizado cavalete de avanço manual e rotação hidráulica, equipado com martelo de fundo “*down the hole*”, que utiliza ar comprimido, conforme pode ser observado através da Figura 08.



Figura 11 – Cavalete de perfuração utilizando martelo de fundo.

Após a perfuração, é executada a bainha de preenchimento do furo com calda de cimento. Apenas após a execução da bainha o grampo é instalado. Para a melhoria dos parâmetros geotécnicos do solo são realizadas injeções de consolidação com calda de cimento através de mangueiras de polietileno instaladas junto ao grampo, de forma a garantir uma injeção setorizada. São elaborados boletins de injeção para os grampos contendo dados como pressão e volume de injeção e a data, de forma a promover o acompanhamento da qualidade de execução.

Após a conclusão da injeção dos grampos, é realizado a aplicação de concreto projetado para proteção superficial do maciço, que por questões logísticas e para maior produtividade em obra, é produzido *in loco*.

O concreto é produzido sem adição de água, sendo que a água é adicionada à mistura apenas no momento de aplicação através de uma mangueira acoplada junto ao mangote.

### 2.2.3 Sistemas de drenagem

Para essa obra de contenção, foram utilizados 4 métodos de drenagem para escoamento da água:

- DHP: Dreno sub-horizontal profundo: executado com tubos de PVC ranhurados para a captação de água, conforme ilustra a Figura 09.



Figura 12: Dreno ranhurado.

- Fita geodreno: Dreno linear composto por uma calha plástica drenante revestida por manta geotêxtil. Essa drenagem estende-se de forma contínua ao longo da direção vertical, da crista até o pé do talude, onde irá aflorar para descarregar na canaleta de drenagem.
- Barbacã
- Canaleta de drenagem no pé e na crista do talude

### 2.2.4 Ensaio de tração

Foram realizados ensaios de arrancamento dos grampos instalados afim de aferir os parâmetros de cálculo, conforme Figura 10.



Figura 13: Ensaio de arrancamento

O ensaio de tração / arrancamento é realizado para a determinação da resistência ao arrancamento do grampo, que varia de acordo com o tipo de solo.

### 2.2.5 Curva de carga x deslocamento dos ensaios

Através do ensaio de tração/arrancamento é gerado um gráfico contendo a curva de carga x deslocamento.



Figura 14 - Gráfico do ensaio de arrancamento de um dos grampos.

### 2.2.6 Medidas de deformação do solo grampeado

O controle das deformações do solo grampeado foi realizado através do controle de deformação horizontal da crista do talude, que é realizado através do uso de extensômetros múltiplos, que são construídos como se fossem um tirante composto por 3 fios de 8 mm, sendo cada fio ancorado em pontos diferentes no maciço e livres na cabeça para que sejam efetuadas leituras. O extensômetro é apresentado através da Figura 12.

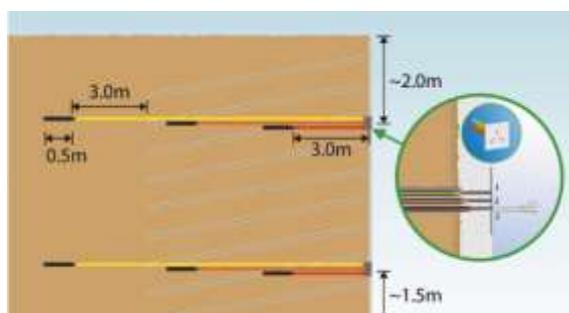


Figura 12: Extensômetros múltiplos.

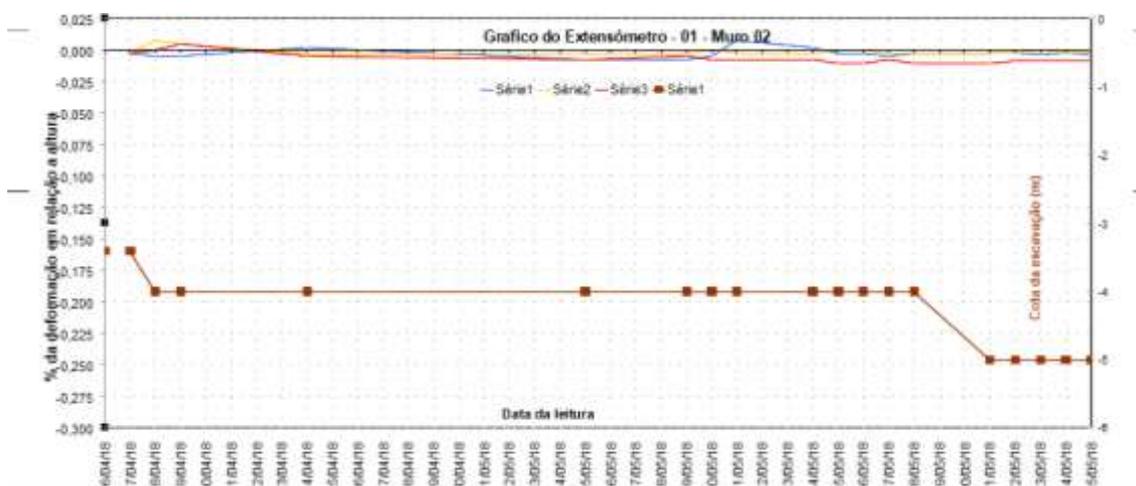


Figura 15 - Gráfico do extensômetro.

As leituras são realizadas através de medição por paquímetro entre a face do concreto e as barras do extensômetro, portanto medem a deformação horizontal da parede. Estas são realizadas diariamente e os resultados são plotados em um gráfico para avaliação, devido a variação de temperatura entre horários, o recomendado é que a medição dos extensômetros sejam realizadas sempre nos mesmos horários. Através da Figura 13 é possível visualizar um gráfico de deformações do extensômetro de número 01 que foi instalado no muro 02. Não temos registro de deformações verticais nas contenções e a montante delas.

### 2.2.7 Finalização da obra

A obra finalizada pode ser vista através da Figura 14. É possível verificar que além da garantia de estabilidade do solo grampeado, ele apresenta uma melhor estética junto aos prédios do condomínio.



Figura 16: Obra de solo grampeado finalizada.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, mesmo em face de todo o processo de avaliação global do condomínio, estudo geotécnico, criterioso dimensionamento e detalhamento de projeto, a estabilização do maciço apenas foi bem sucedida pela primorosa execução em paralelo ao assíduo acompanhamento dos profissionais envolvidos.

Tendo em vista os critérios a serem adotados para execução de uma contenção em solo grampeado, verifica-se que é um método totalmente eficiente para contenção de taludes, porém é necessário a execução dos serviços com o máximo de critério técnico verificando e executando cada etapa perfeitamente para que se tenha a garantia de estabilidade do maciço contido.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a todos os colaboradores da empresa Solotrat Engenharia Geotécnica, pelo empenho e estímulo demonstrado no dia a dia, e que sem eles, direta ou indiretamente, esse artigo não seria possível.

Agradecemos também à Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia-ABEF - pelo incentivo e grande ajuda com o fornecimento de material para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PITTA, Cairbar Azzi; SOUZA, George Joaquim Teles de; ZIRLIS, Alberto Casati; Alguns Detalhes da Prática de Solo Grampeado, 2013. p. 1 - 25
- SOLOTRAT ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Manual de Serviços Geotécnicos. 6ª Edição. São Paulo. Solotrat Engenharia Geotécnica, 2018. p. 5 - 21
- MELLO, Sérgio Ricardo P. de; PETRIGLIA, Thai Luca di Barsotti. Relatório de Direção Técnica. São Paulo. APPOGEO Projetos de Infraestrutura Eireli, 2018. p. 1 - 27.
- HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. O.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. Fundações – Teoria e Prática. São Paulo: Editora PINI, 2016. 802p.