

APLICAÇÃO DE GEOENRIJECIMENTO NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS MOLES EM ELDORADO DO SUL/RS

Eng, Msc. Joaquim Correia Rodrigues

Engegraut

joaquim@engegraut.com.br

Eng. Marciano Lang Fraga

MLF Engenharia

marciano@mlfgeotecnia.com.br

Eng. Matheus Campos Pompermayer

MLF Engenharia

matheus@mlfgeotecnia.com.br

RESUMO. *Este trabalho apresenta um caso de obra, onde foi aplicado melhoramento de solos, com o processo de geoenrijecimento, para homogeneização de camadas de solo mole e aumento da capacidade suporte. Este procedimento, mostra ser a técnica correta, para tratamento de solos moles, além de ser economicamente viável, em relação às soluções alternativas de estaqueamento, troca de solo, sobreaterro ou reforço de solos. Através do emprego de monitoramento geotécnico, comprovou-se o aumento significativo da rigidez e da resistência não drenada das camadas de solos moles, de acordo com requisitos pré-estabelecidos.*

PALAVRAS-CHAVE: *Geoenrijecimento, Solos Moles, Melhoramento de Solos.*

1. INTRODUÇÃO

A existência de solos com baixa resistência e grande compressibilidade, conhecidos popularmente como “solos moles”, é situação recorrente em obras de engenharia. Muitas vezes, tal ocorrência no perfil geotécnico do terreno, onde será implantado uma obra, implica no desenvolvimento de projetos especiais, mais caros e até mesmo inviabilizando o empreendimento. O problema mais comum, causado por estas situações, são

as inerentes deformações da camada de solos moles, ocasionando recalques no futuro empreendimento.

Estes são os motivos pelos quais, o melhoramento do solo, com geoenrijecimento, é a técnica específica para modificar as características do solo mole, adequando-o aos parâmetros de cada projeto, ao invés de se utilizar técnicas alternativas, baseadas em formação de colunas, pouco eficientes, porque o solo mole permanece ao redor, gerando recalques futuros.

Neste trabalho, são apresentados resultados de um caso prático de melhoramento de solos, com Geoenrijecimento, para estabilização e obtenção dos parâmetros geotécnicos desejados, em camadas de solos moles, com aproximadamente 6,00 metros de profundidade, em um terreno destinado à construção de um centro de distribuição, na cidade de Eldorado do Sul/RS. Para a implantação deste pavilhão, foi necessário, ainda, execução de aterro com 2,50 metros de altura. Este aterro, aliado à carga do projeto, causaria deformações (recalques) inadmissíveis no piso, devido ao adensamento das camadas compressíveis.

2. O MELHORAMENTO DO SOLO COM GEOENRIJECIMENTO

A técnica de melhoramento efetivo do solo, com Geoenrijecimento, tem como premissa reduzir o excesso de poropressão, nas camadas de solo mole e, conseqüentemente, promover o aumento da resistência efetiva, acelerando a consolidação destas camadas, diferentemente das técnicas de coluna de brita e DSM, que caracterizam-se por não atacar a causa do problema, ou seja, a consolidação da argila mole utilizando apenas, colunas de modo a transferir as futuras cargas para camadas profundas resistentes, deixando o solo mole ao redor. O geoenrijecimento, é realizado com a cravação de fitas drenantes (geodrenos) no interior do solo (Figura 1), por onde ocorrerá a drenagem da água existente no terreno, necessária ao processo de consolidação. A seguir, através de malha intercalada aos geodrenos, são cravados, até a camada do solo resistente, tubos por onde é bombeado, de baixo para cima, para cada metro de profundidade, volumes de “geogROUT”, especialmente ajustados para o solo mole em questão, com areias, siltes e aglomerantes da própria região, além de aditivos, formando-se bulbos (Figura 2 e Figura 3), via expansão de cavidades, de modo a comprimir radialmente o solo mole, ao mesmo tempo em que mede-se, através de curvas pressiométricas, a conseqüente pressão e o volume do bombeamento, induzindo-se os recalques imediato, primário e secundário nas camadas de solo mole.

A neutralização dos recalques imediato e primário é assegurada com o acompanhamento do máximo excesso de poropressão e sua total dissipação, através de piezômetros, previamente instalados. A confirmação do recalque secundário é comprovada através das tensões de fluência, na curva pressiométrica de

acompanhamento do serviço. Os bulbos de compressão e adensamento da argila, realizados via expansão de cavidades, confirmam a ordem das tensões e deformações (recalques) impostas. Uma vez alcançado o volume ou a pressão necessária, previamente programadas, em cada bulbo de compressão, interrompe-se o geoenrijecimento naquela cota, suspendendo-se o tubo de bombeamento, repetindo-se o procedimento até chegar-se à superfície do terreno. Toda a mecânica executiva, é acompanhada com monitoramento do excesso e dissipação da poropressão causada que, com as curvas pressiométricas pressão-volume, indicam o grau de consolidação e rigidez impostos.

A tensão efetiva do solo mole, tende a aumentar de maneira proporcional à dissipação da poropressão aumentando-se, substancialmente, a resistência efetiva e a rigidez do solo mole, ao longo de toda a profundidade.

Para cada projeto, associa-se uma resistência à compressão do “geogROUT”, formador dos bulbos a serem bombeados, podendo variar de 500 a 1500KPa de resistência à compressão. Com os parâmetros previamente analisados, como volume dos bulbos e a pressão imposta, obtêm-se, de um modo geral, resistências para o solo, entre bulbos, da ordem de 100 a 500 KPa, em períodos de 30 dias, promovendo-se a homogeneização do solo, adequando-o às necessidades do projeto.



Figura 1. cravação dos geodrenos



Figura 3. O equipamento de formação dos bulbos

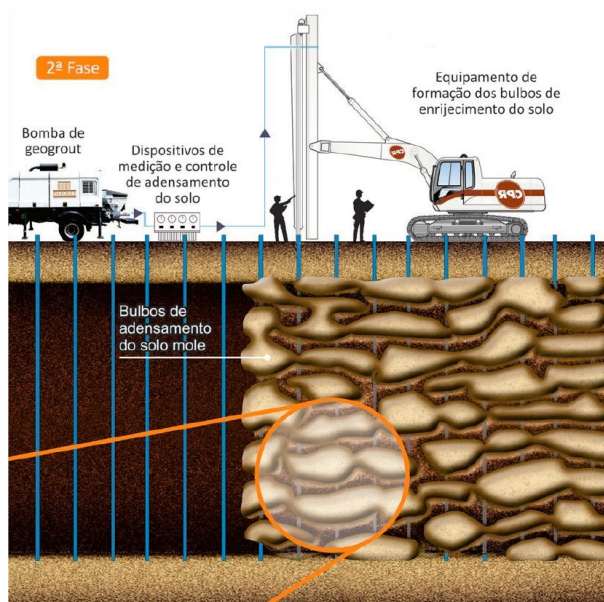


Figura 2. Ilustração esquemática da formação dos bulbos

3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

De acordo com sondagens, previamente realizadas no terreno, local do projeto, existem camadas intercaladas de argila mole e areia, com a ocorrência de baixo números de golpes N_{spt} (de 2 a 5), até 6,00 metros de profundidade. Verificou-se a ocorrência de nível d'água, a cerca de 1,50m de profundidade. A seguir (Figura 4), apresenta-se uma sondagem SPT (conforme NBR 6484:2020) típica no local do empreendimento.

SONDAGEM		COTA (m)	PESO: 66 kg	REVESTIMENTO: 0 63.5mm = 2.12"					
SP 01		6,00 m	ALTURA DE QUEDA: 75 cm	AMOSTRADOR { • INTERNO 34.9mm = 1.38" • EXTERNO 50.0mm = 2"					
COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	NÚMERO DE GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR					PROFUNDIDADE (m)	AMOSTRAS	CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS
		GRÁFICO							
		1	2	3	4	5			
13	15	1	1	1	1	1	1	0,60	Aterro de areia, cor marrom.
10	14	2	2	2	2	2	2	1,75	Areia de granulação média à grossa, pouco argilosa, cor preto, medianamente compacta.
2	2	3	3	3	3	3	3	3,00	Argila de cor preta, consistência muito mole à mole.
3	4	4	4	4	4	4	4	3,80	Argila pouco arenosa, cor cinza, consistência mole à rija.
4	4	5	5	5	5	5	5	5,00	Areia de granulação fina à média, pouco argilosa, cor cinza e amarelo, medianamente compacta à compacta.
8	11	6	6	6	6	6	6	6,00	
12	16	7	7	7	7	7	7	7,00	
17	25	8	8	8	8	8	8	8,00	
13	20	9	9	9	9	9	9	9,00	
14	18	10	10	10	10	10	10	10,00	
17	21	11	11	11	11	11	11	11,00	
13	18	12	12	12	12	12	12	12,00	
17	21	13	13	13	13	13	13	13,00	
14	18	14	14	14	14	14	14	14,00	
17	21	15	15	15	15	15	15	15,00	
14	18	16	16	16	16	16	16	16,00	

Figura 4. boletim de sondagem(típico)

4. A ELEVAÇÃO DO GREIDE

Para a realização da ampliação industrial, através da construção de pavilhão, com aproximadamente 7.000,00 m², tornou-se necessário elevar o greide do local, com a execução de aterro que, em determinados pontos, chegou-se a 2,50 metros de altura, compactando-o em camadas.

A Figura 5 e a Figura 6, a seguir, apresentam a planta do projeto de aterro, onde é possível observar o contorno da projeção do pavilhão, no seu interior, e detalhe do projeto de contenção do aterro, com muros de gabião, necessário devido a sua altura.

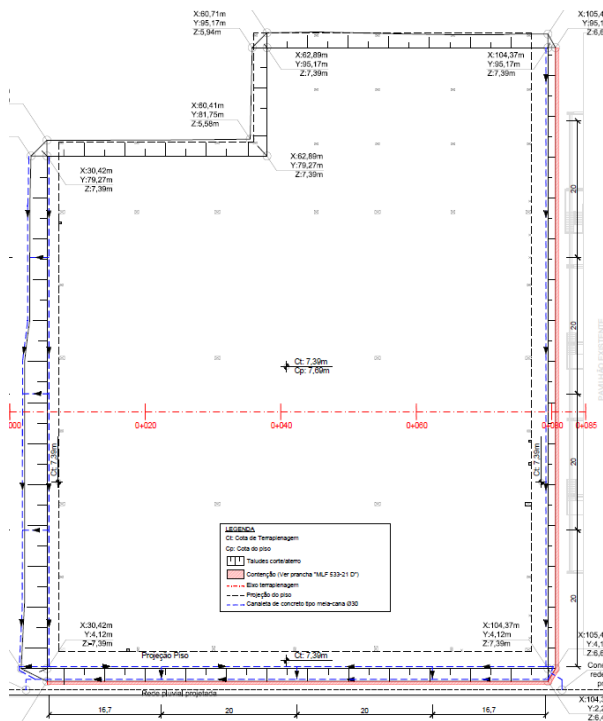


Figura 5. Planta baixa do projeto de terraplenagem

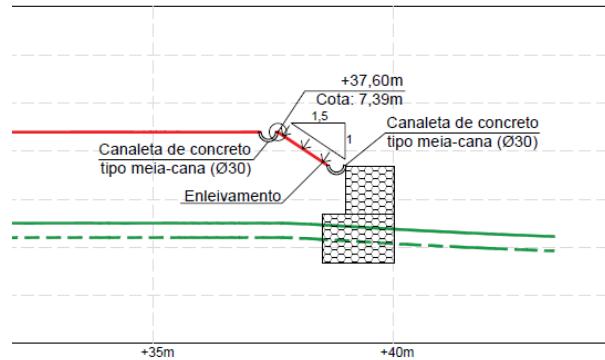


Figura 6. Corte do projeto de terraplenagem com muro de contenção em gabião

5. EXECUÇÃO DO GEOENRIJECIMENTO NO SOLO DO PROJETO

Antes do início dos serviços, do melhoramento do solo, é necessário dosar os parâmetros da qualidade do geogROUT através de sua consistência (*slump test*) e resistência, com moldagem de corpos de prova, seguindo-se seu rompimento. A Figura 8 e a Figura 9 apresentam, respectivamente, a execução do *slump test*, realizado na obra e os resultados obtidos, através de gráfico. A Figura 10 apresenta uma foto dos corpos de provas de geogROUT moldados na obra. Para a resistência à compressão do geogROUT obteve-se valores que variaram de 2000 até 3700 KPa.

O início dos serviços caracterizou-se pela cravação dos geodrenos, seguindo-se do processo de formação dos bulbos com geogROUT, via expansão de cavidades, o que gera o efeito compressivo radial, induzindo a consolidação do solo mole. Durante a cravação dos geodrenos, observou-se a existência de camada de lixo, a cerca de 1,00m de profundidade, que impediu o desenvolvimento dos trabalhos, tornando-se necessário proceder sua remoção, com a utilização de

retroscavadeira, conforme ilustrado na Figura 7.



Figura 7. remoção da camada de lixo



Figura 8. slump test realizado com o geogROUT

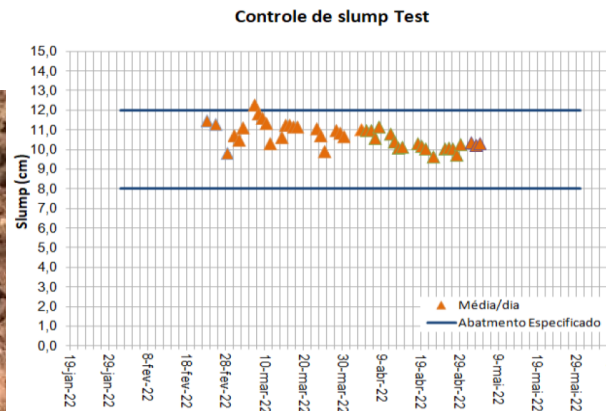


Figura 9. Resultados do slump test, realizados na obra



Figura 10. Moldagem dos corpos de prova

Após estes procedimentos, iniciou-se a cravação dos geodrenos e a formação dos bulbos de geogROUT no solo de fundação, melhorando-o e adequando-o com parâmetros de resistência e rigidez às necessidades do projeto.

5.1 Monitoramento geotécnico

De forma a certificar a eficiência do melhoramento do solo de fundação, com geoenrijecimento, elaborou-se projeto de monitoramento geotécnico, por meio de ensaios específicos, comparando valores da

resistência, rigidez e poropressão do solo mole, antes e após os serviços.

Nesta obra, o monitoramento certificativo geotécnico foi elaborado com os seguintes ensaios:

- Ensaios Tomográficos do solo por imagem;
- Ensaios Pressiométricos;
- Ensaios Piezométricos.

Executou-se ensaios pressiométricos e tomográficos, com objetivo de analisar a condição inicial do solo de fundação, obtendo-se sua rigidez e resistência comparando-se, posteriormente, os dois métodos e seus valores. A análise piezométrica, analisou a importante variação da poropressão, durante todas as etapas da intervenção no solo de fundação. A Figura 11 apresenta a locação dos ensaios realizados no terreno.

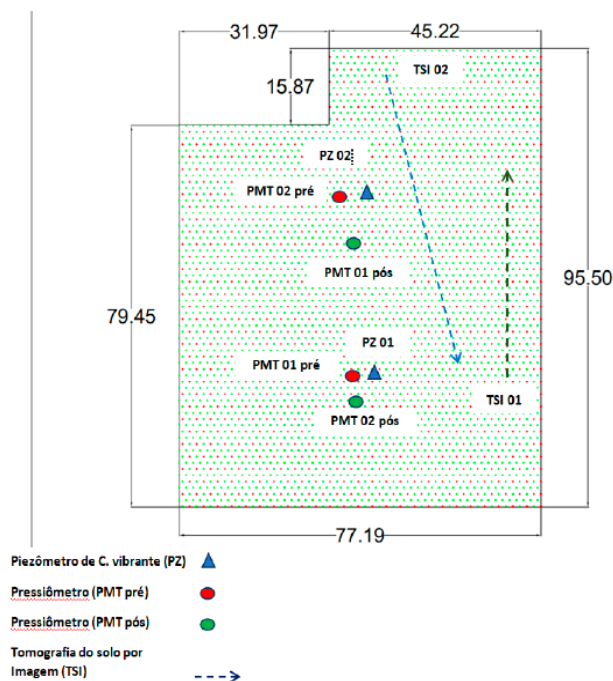


Figura 11. Planta do monitoramento geotécnico, com o posicionamento dos ensaios no terreno

5.2 Tomografia do solo por imagem

Trata-se de sondagem certificativa, do melhoramento do solo, caracterizando-se por ser não invasiva e não destrutiva, com capacidade de avaliar grandes volumes de solo de maneira rápida e segura (KEAREY et al., 2009). Baseia-se em ondas superficiais, que se propagam no solo por meio de diferentes frequências. Cada camada, é identificada, com base no comportamento elástico do solo, à pequenas deformações, relacionando-a a velocidade de fase e correlações, característico deste tipo de sondagem, com o seu módulo cisalhante (G_0) (ABGE, 2018).

Foram realizados ensaios tomográficos, utilizando a TSI, antes e depois do melhoramento do solo, de modo a analisar-se as características da rigidez e de resistência do solo, por meio da conversão geotécnica da velocidade da onda, para rigidez do solo com o Módulo de cisalhamento (G_0) e para sua resistência não drenada (S_u). A diferença de coloração, nas imagens apresentadas nas Figura 12 e Figura 13, evidenciam o aumento dos parâmetros analisados. A Figura 14 apresenta uma foto do ensaio de tomografia sendo executado na obra.

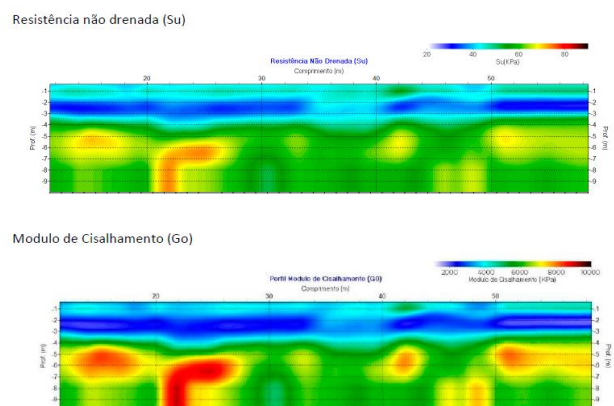


Figura 12. Parâmetros S_u e G_0 antes do melhoramento do solo mole.

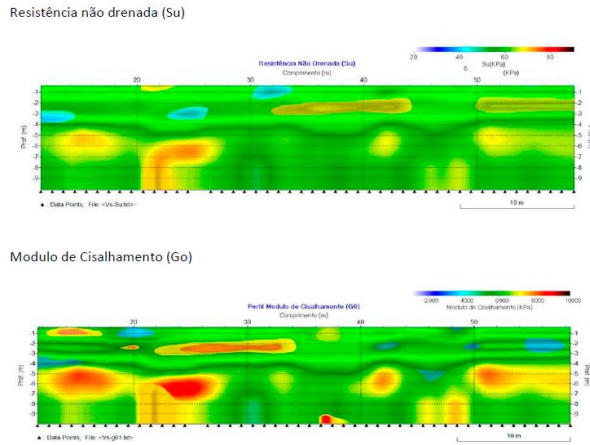


Figura 13. Su e G₀ do solo após do melhoramento



Figura 14. Execução da tomografia do solo por imagem, visualizando-se a linha de 24 geofones.

5.3 Análise Pressiométrica (PMT)

Para executar o ensaio PMT, utilizou-se o pressiómetro da Roctest, modelo TEXAM. O equipamento consiste de sonda pressiométrica, painel de controle e um pistão hidráulico. A sonda utilizada é do tipo monocelular, hidraulicamente inflável, protegida por escamas de aço, com comprimento suficiente para considerar desprezíveis efeitos de extremidade. A pressão é aplicada, forçando-se a entrada d'água na sonda, por meio de pistão hidráulico, acionado manualmente. O aumento de volume, é dado pela leitura da distância,

percorrida pelo pistão ou, então, pela contagem e registro das voltas efetuadas pelo parafuso do aparelho. A pressão é controlada pelo manômetro de pressão. A inércia da membrana é muito baixa (<35 kPa), o que torna o pressiómetro específico para ser utilizado em solos moles.

A Figura 15, apresenta ilustração da seqüência executiva do ensaio pressiométrico.

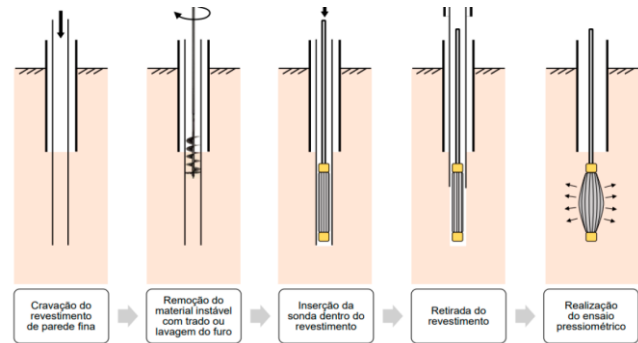


Figura 15. seqüência executiva do ensaio pressiométrico

Foram executados ensaios pressiométricos, em profundidades variáveis, para cada furo, entre 1,50 e 3,50 metros, com furos previamente abertos em perfuração manual a trado. Os ensaios foram realizados, primeiro expandindo e depois contraindo a sonda, em incrementos constantes de volume (80 cm³), ao longo de um ciclo chegando até 1600 cm³. Apresenta-se, na Tabela 1 e Tabela 2, os resultados de cada ensaio, respectivamente, antes e após o processo de geoenrijecimento.

Tabela 1. resultados dos ensaios anteriores ao processo de melhoramento do solo

Ensaio	Prof. (m)	PL (kPa)	Gp (kPa)	Su (kPa)	Consistência
PMT01	1,50	201	2114	35	Mole
PMT01	3,00	315	4499	49	Mole
PMT02	2,00	226	2400	38	Mole
PMT02	3,50	342	4729	53	Mole

PL = pressão limite líquida; Gp = módulo
 pressiométrico; Su = resistência anão drenada

Tabela 2. resultado dos ensaios posteriores ao
 processo de melhoramento do solo

Ensaio	Prof. (m)	PL (kPa)	Gp (kPa)	Su (kPa)	Consist ência
PMT01	1,50	310	5544	47	Média
PMT01	3,00	475	13435	64	Média
PMT02	2,00	365	8367	53	Média
PMT02	3,50	428	12079	59	Média

PL = pressão limite líquida; Gp = módulo
 pressiométrico; Su = resistência anão drenada

A Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam
 valores de referência para a pressão limite
 líquida (PL*) e módulo pressiométrico (EM)
 para solos argilosos e arenosos.

Tabela 3. Valores de referência de PL* e EM
 para materiais argilosos (adaptado de Briaud,
 1992)

	Argila Mole	Argila Média	Argila Rija	Argila Muito Rija
PL	0-200	200-400	400-800	800-1600
EM	0-2500	2500-5000	5000- 12000	12000- 25000

Tabela 4. Valores de referência de PL*e EM
 para materiais arenosos (adaptado de Briaud,
 1992)

	Areia Fofa	Areia Méd. Compa.	Areia Compa.	Areia Muito Compa.
PL	0-500	500-1500	1500-2500	>2500
EM	0-3500	3500- 12000	12000-22500	>22500

É importante observar que o ensaio
 pressiométrico, para obtenção dos parâmetros
 geotécnicos de rigidez e resistência do solo,
 pós melhoramento, considera o solo por sua
 deformabilidade, analisando seus dois
 componentes que, comparando-se aos ensaios
 penetrométricos SPT, CPTu e Palheta, que só
 analisam o componente solo, trabalham

rompendo-o e são ineficazes para o solo
 melhorado. No entanto, é um ensaio pontual e
 pouco representativo. A concordância com a
 TSI é fundamental para uma análise mais
 representativa.

As Figura 16 e Figura 17 apresentam os
 gráficos pressiométricos, aplicados a 2,00
 metros e 3,30 metros de profundidade,
 respectivamente, em pontos do terreno
 melhorado.

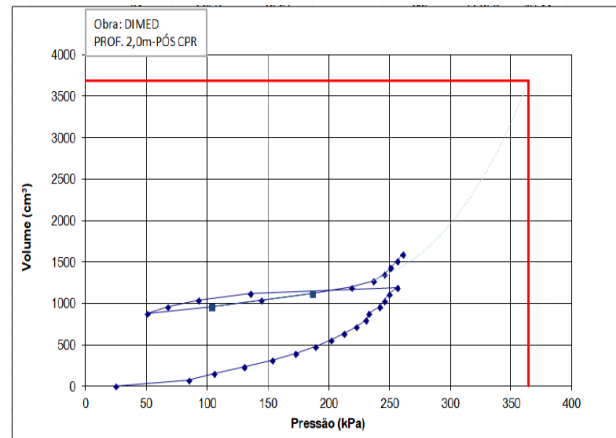


Figura 16. Gráfico pressiométrico aplicado a 2,00
 metros de profundidade

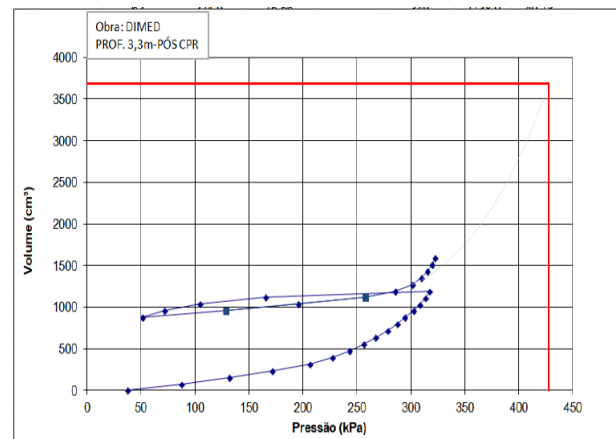


Figura 17. Gráfico pressiométrico aplicado a 3,30
 metros de profundidade

5.4 Análise Piezométrica

Para monitorar a poropressão (u), utilizou-se piezômetros (PZ) do tipo cordas vibrantes, marca Geokon série 4500. O piezômetro mede a pressão da água, através da deformação de um diafragma interno, conectado ao sensor de corda vibrante, cuja frequência varia de acordo com a pressão aplicada. O piezômetro incorpora uma pedra porosa para prevenir o contato da membrana com partículas do solo. O modelo utilizado, possui transdutor atrás da ponta cônica. É enroscado diretamente nas hastes e cravado no solo até a profundidade de ensaio. Este é o modelo ideal para trabalhar com solos moles.

Conhecendo-se a poropressão, lida no piezômetro, e a poropressão hidrostática, torna-se possível monitorar o excesso de poropressão, causado pela sobrecarga, executando-se análise piezométrica.

Nesta obra foram cravados piezômetros no solo mole em profundidades de 4,20 e 4,50 metros. Os gráficos, apresentados nas figuras 18 e 19, indicam a variação da poropressão, identificada no terreno, desde a cravação dos primeiros geodrenos.

No gráfico da Figura 18, observa-se a redução progressiva da poropressão, após a cravação de geodrenos, ultrapassando o valor hidrostático registrado pela sondagem SPT. Na execução do melhoramento no solo, promove-se, no seu interior, tensões de compressão radial e como consequência o aumento da poropressão, que são rapidamente dissipadas pela malha de Geodrenos projetada.

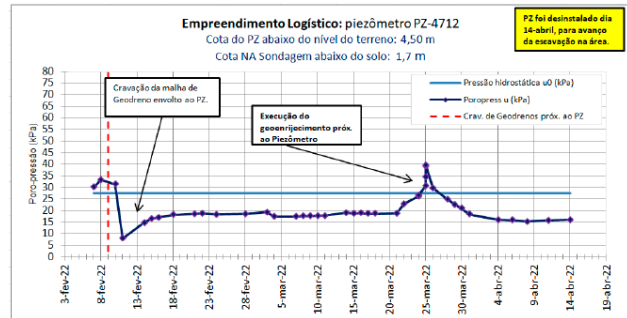


Figura 18. Redução da poropressão devido a cravação dos geodrenos.

O gráfico, apresentado na Figura 19, é de uma região onde não haviam sido cravados os geodrenos. Observa-se um excesso de poropressão, possivelmente pela variação do NA devido as chuvas. É possível constatar, que a falta de drenagem dificulta a dissipação do excesso de poropressão, ainda existentes, motivada pelo aterro lançado, significando recalques em andamento.

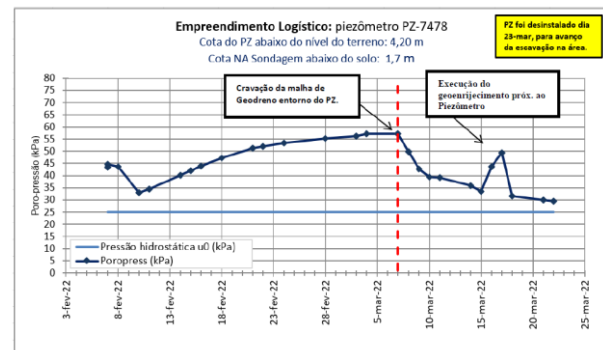


Figura 19. Excesso de poropressão em uma região sem a cravação dos geodrenos

6. ATERRO TESTE

Com o objetivo de simular, em escala real, a condição do carregamento a ser realizado no terreno, analisou-se o nível de rigidez alcançado, construindo-se um aterro teste, sobre o solo melhorado. O aterro teste foi monitorado com os seguintes aparelhos:

- Placas de recalque

- Perfilômetros
- Piezômetros
- Pressiômetros

O aterro-teste, foi assentado sobre colchão de areia, com espessura de 40,00 centímetros, posicionado, sobre o solo melhorado. Elevou-se o aterro, de forma compactada, até 2,00 metros de altura, em apenas uma etapa, devido as exigências de prazo. Estabeleceu-se cerca de 0,40 kg/cm² e, a seguir, elevou-se mais um metro, para simular as cargas do projeto, com aproximadamente 0,20 kg/cm², totalizando 0,60 kg/cm² ou 6ton/m².

A Figura 20, apresenta foto do aterro teste, executado sobre o solo melhorado. A Figura 21 apresenta uma ilustração, em corte, do esquema de monitoramento montado para o acompanhamento do aterro-teste.



Figura 20. Aterro teste

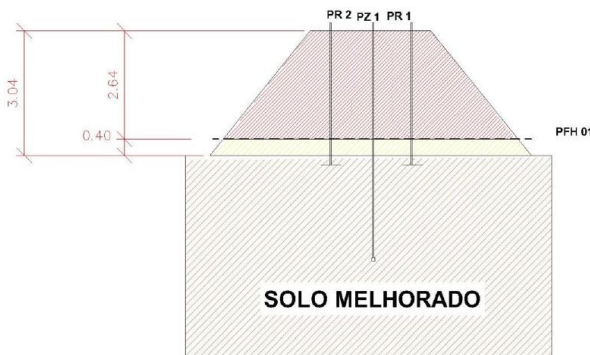


Figura 21. Ilustração, em corte, do esquema de monitoramento do para o aterro-teste

O comportamento do recalque, de estruturas sobre os solos moles, propaga-se com o tempo, definindo-se de forma construtiva em uma representação gráfica da curva recalque-tempo-carga. Objetiva-se, sempre, conhecer o recalque total e a taxa de recalque produzida. Como o prognóstico dessas deformações, a longo prazo, é bastante complicado e incerto, utiliza-se o aterro teste, como ferramenta mais precisa para obtê-los.

No início, estabelece-se o tempo zero (T=0) quando o solo começa a ser carregado, ocorrendo uma velocidade, motivada pelo recalque imediato. Concomitantemente, começa a se manifestar a parcela do recalque primário, graças a consolidação que ocorre, devido as cargas que aumentam. Graficamente, é possível visualizar o fenômeno do recalque, que ocorre em solos moles, sem melhoramento, em quatro estágios, conforme Figura 22.

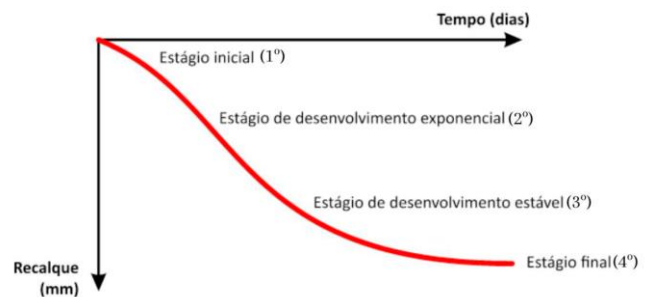


Figura 22. Comportamento natural do recalque no solo mole.

A Figura 23, apresenta o gráfico do recalque de uma das placas (PR-1), instalada sobre o solo melhorado, entre verticais (colunas de geogROUT). A elevação do aterro, a 3,00 metros de altura, produziu deformações muito pequenas (aproximadamente 18,0 mm) no solo melhorado. Observou-se leve inclinação na curva de recalque, sempre após o acréscimo de novos carregamentos no solo,

durante as atividades de terraplanagem, em torno do aterro teste.

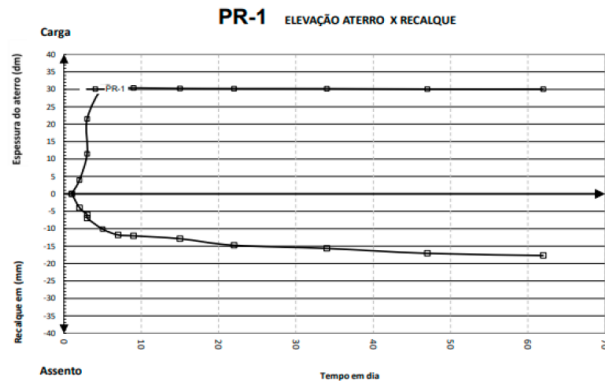


Figura 23. Recalque medido, na placa posicionada sobre solo melhorando, na região entre as verticais do melhoramento do solo.

A Figura 24 apresenta o gráfico de recalque de outra placa instalada sobre o solo melhorado, exatamente em cima de uma vertical do melhoramento. Observa-se que a placa (PR-2), apresentou leve deformação, muito pequena (aproximadamente 2,0 mm), proveniente das vibrações durante a compactação das novas camadas de aterro, com rolo pé-de-carneiro.

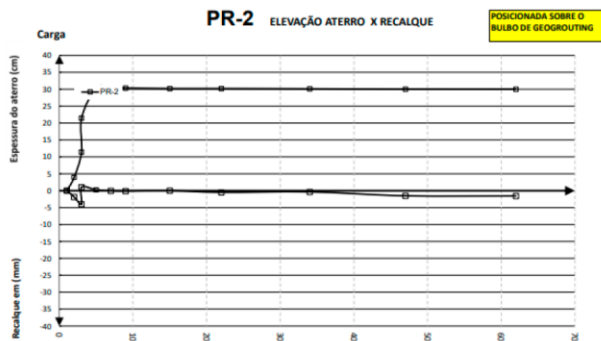


Figura 24. Recalque medido na placa posicionada sobre solo melhorado, exatamente em cima de uma vertical do melhoramento.

A Figura 25, apresenta os recalques medidos através de perfilômetros, instalados sobre o solo melhorado, em região entre verticais do melhoramento. Observa-se que a

elevação do aterro, a 3,00 metros de altura, produziu deformações extremamente pequenas (aproximadamente 5,0 mm) no solo melhorado.

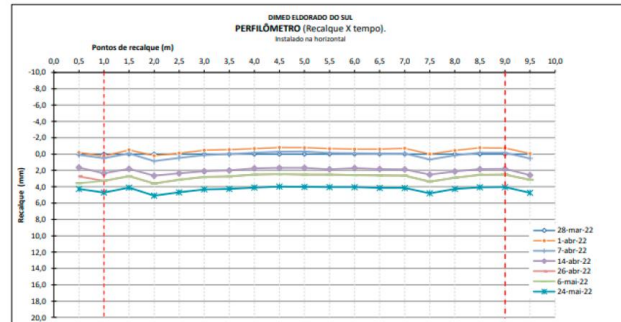


Figura 25. Recalques medidos através de perfilômetros

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos dados e informações apresentadas neste trabalho, referente a um caso real de aplicação de melhoramento de solo, com geoenrijecimento, fica evidente que é extremamente útil, e consideravelmente eficaz obter a consolidação do solo mole, única forma de neutralizar futuros recalques.

Solos moles, apresentam-se como problemas para obras, devido a sua baixa capacidade de resistência mecânica, aliada à sua alta tendência a deformação e, conseqüentemente, promovendo recalques e instabilidades no solo natural. A técnica de melhoramento do solo com geoenrijecimento, aqui apresentada garante, de maneira eficaz, significativo aumento da rigidez nas camadas de solos moles, através da formação de bulbos de geogROUT no seu interior, comprimindo radialmente o solo. Aliado a esta compressão, com o auxílio das malhas de geodrenos, também promove rápida dissipação dos excessos de poropressão, no interior do solo mole. Tal redução de volume de água, no interior do solo melhorado, implica no

aumento da tensão efetiva e, conseqüentemente, no ganho de resistência não drenada destas camadas, e aumento da rigidez.

Portanto, com base nos parâmetros obtidos nos ensaios de campo, realizados nesta obra, antes e após a aplicação do geoenrijecimento, conclui-se que trata-se de técnica específica para melhoramento de solos moles, já que atua precisamente na consolidação da argila mole, ao passo que as demais técnicas devem ser consideradas como alternativas, já que promovem inclusões que só atuam por transferência de cargas, através da formação de colunas, deixando o solo mole ao redor, tornando-as pouco eficientes e, conseqüentemente, caras.

Rodrigues, J. et all. (2020). *Estabilização de recalques de um prédio histórico na cidade de Porto Alegre/RS – Brasil por geoenrijecimento*, Anais do XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), Campinas.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental (ABGE). (2018). *Geologia de Engenharia e Ambiental, volume 2: métodos e técnicas*, ABGE, São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 6484 – Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*, ABNT, Rio de Janeiro.

Briaud, J. (1992). *The Pressuremeter*. CRC Press.

Caputo, H e Caputo A. (2016). *Mecânica dos Solos e suas aplicações, volume 1: fundamentos*, LTC, Rio de Janeiro.

Das, B. (2007). *Fundamentos de Engenharia Geotécnica, 6ª edição*, Thomson Learning, São Paulo.

Engegraut. (2022). *Relatório Geotécnico Final de Melhoramento de solo*. Porto Alegre.

Kearey, P. Brooks, M. Hill, I. (2009). *Geofísica de exploração*, Oficina de Textos, São Paulo.

Knappett, J.A. Craig, R.F. (2014). *Craig Mecânica dos Solos, 8ª edição*, LTC, Rio de Janeiro.