

Soft Soil Brazilian Review

04
Como acabar com recalques apenas readequando o solo aos elementos de fundação.

20
Paralisando recalques em unidade industrial sem suspender o serviço.

36
Melhorando solo contaminado com interrupção de recalques em uma indústria.

30 Consulta

Como devemos conduzir o recalque em uma construção sobre solos moles?



COMO ACABAR COM RECALQUES

READEQUANDO O SOLO, SEM
INTERFERÊNCIA NO SISTEMA DE FUNDAÇÃO

pág.04



EDITORIAL

Alterar o sistema solo mole-fundação-estrutura, objetivando-se melhorar seu desempenho, quanto ao recalque; quando a fundação não está suportando as cargas a que está sujeita, ou quando não conseguir absorvê-las, sem riscos e redução do coeficiente de segurança, costuma ser analisado, corriqueiramente, alterando-se o sistema de fundação. Se entendermos que não se pode alterar o sistema de fundações, por exemplo em uma construção centenária que, via de regra está tombada pelo patrimônio histórico, a situação complica e muito pois, literalmente, ter-se-á que readequar o solo aos seus elementos de fundação existentes, melhorando-se seus parâmetros de resistência e rigidez. Mas isto é possível? Sim, melhorando-se o solo, com geoenrijecimento, a cada metro cúbico, comprimindo-o, drenando-o e, efetivamente, adensando-o, ao ponto do sistema de fundação querer subir, ou seja, utilizando-se os elementos de fundação e a própria estrutura como bloqueio confinante favorável. Situação incomum? sim, completamente, principalmente pelo fato do solo de fundação ser checado,

progressivamente, a medida em que é melhorado e, assim, checando-se os parâmetros de resistência e rigidez para as cargas atualizadas da antiga edificação. Pois é exatamente a primeira matéria que estamos divulgando. A seguir, estamos apresentando duas outras matérias, onde readequou-se o solo de fundação às circunstâncias das edificações, considerando-se a necessidade premente de intervenção, particularmente sem alterar a rotina dos locais de trabalho, exatamente por que os danos às instalações eram significativos. Considerando que a grande maioria das edificações estão susceptíveis, ao longo de sua vida útil, à efeitos oriundos de recalques de fundação, esta edição da SSBR apresenta três grandes exemplos, propondo um novo conceito, o da readequação efetiva do solo, de modo a ajustá-lo às circunstâncias dos seus elementos de fundação e as cargas atuais da edificação.

Boa leitura.
Joaquim Rodrigues



SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE

Rua Correia de Araújo, 131- Barra da Tijuca
Rio de Janeiro/ RJ- Brasil- CEP 22611-070
Tel: (21) 31543250

EDIÇÃO

DIRETOR EDITORIAL
Engº Joaquim Rodrigues

DIRETORES ADJUNTOS
Engº Thomas Rodrigues
Engº Roger Kim
Engª Patricia Tinoco

PUBLICIDADE, ASSINATURA
Cleide Ferreira

EDITOR DE ARTE
Sarah Silva

REPRINTS EDITORIAIS
Mariana Tati

FALE CONOSCO

softsoilgroup.com.br

[@engegraut](https://www.instagram.com/engegraut)

[\(21\) 3154-3250](tel:(21)3154-3250)

atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br

"Soft soil Brazilian Review" é uma revista digital com publicação bimestral. Receba notificação de nossa revista. Inscreva-se em: atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br



A PRIMEIRA E ÚNICA REVISTA DIGITAL GEOTÉCNICA
ESPECIALIZADA EM SOLOS MOLES.

22

Edição - MAR-ABRIL 2022

Sumário

Como acabar com recalques apenas readequando o solo aos elementos de fundação **04**

Joaquim Rodrigues

Paralisando recalques em unidade industrial sem suspender o serviço **20**

Thomas Kim

Melhorando o solo contaminado com interrupção de recalques em uma indústria. **36**

Patricia Tinoco



Capa



Esta edição apresenta uma nova modalidade para tratar patologias de fundações sem interferir no sistema de fundação da construção

Seções

Editorial **02**

Agenda **28**

Consulta **30**

softsoilbrazilianinstitute.com.br

SOLOS MOLES

Correia Rodrigues, Joaquim, Engegraut, Rio de Janeiro/RJ, Brasil,
joaquim@engegraut.com.br

Lang Fraga, Marciano, MLF Geotecnia, Porto Alegre/RS, Brasil,
marciano@mlfgeotecnia.com.br

Sonaglio, Gonçalo de Lima, MLF Geotecnia, Porto Alegre/RS, Brasil,
goncalo@mlfgeotecnia.com.br

Pompermayer, Matheus, MLF Geotecnia, Porto Alegre/RS, Brasil,
matheus@mlfgeotecnia.com.br

Manoel Luis, Engegraut, Rio de Janeiro/RJ, Brasil,
manoel@engegraut.com.br

INTERROMPENDO RECALQUE CENTENÁRIO COM MELHORAMENTO DO SOLO SEM INTERFERÊNCIA NO SISTEMA DE FUNDAÇÃO



edifício principal da Fundação "O Pão dos Pobres de Santo

Antônio", em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, é um notável conjunto arquitetônico monumental, Figura 1, construído no início do século XX, que constitui patrimônio histórico e cultural da cidade. A construção possui formato de "U", com corpo central estreito e alongado. É composto por quatro pavimentos. Desde de sua construção, no início dos anos 1900, uma das extremidades iniciou intenso processo de recalque. Algumas décadas depois os recalques, naquela extremidade, promoveram rotação para trás e para o lado, partindo a edificação em dois blocos. Recalques menores no restante da edificação, induziram sua administração a promover duas juntas de dilatação, de modo a minimizar os efeitos deformativos, literalmente cortando a edificação em três partes.



Figura 1: Fachada frontal (oeste) do edifício e as fraturas verticais que partiram a edificação, particularmente, devido a rotação para o lado e para trás, em sua região direita.

A estrutura da edificação é, originalmente, em pedra argamassada e vedações em alvenaria de tijolo maciço. O acentuado volume de trincas e fissuras, desenvolvidas em todo o corpo da edificação foi, gradualmente corrigido, sem sucesso, particularmente devido à progressiva modificação da edificação, tanto para o volume de gente que habitava, quanto da inclusão de novas paredes, aumentando o peso da edificação. Após inspeção realizada, constatou-se que a fundação é do tipo direta, em sapata corrida, assentada à profundidade de 1,70m, sobre camada de areia fina argilosa, com cor verde azulada, tendo base de concreto, com 25 cm de espessura e com cerca de 1,80m de largura, sobre a qual ergueu-se um sistema escalonado de baldrame, constituído por



Figura 2: Fachada frontal (oeste) do edifício e as fraturas verticais que partiram a edificação, particularmente, devido a rotação para o lado e para trás.

materiais bastante heterogêneos (pedras, tijolos e argamassa). Esta alvenaria superior, apresenta cerca de 1m de largura e 1,15m de altura. Constatou-se, também, que à medida que o prédio recalçava, ao longo de décadas, corrigia-se

o nível da calçada periférica do prédio, com novos lançamentos de aterro e pisos. O antigo sistema de drenagem foi encontrado na profundidade de 70 cm, totalmente obstruído por raízes.

PRESSIÔMETRO

Um ensaio geotécnico completo realizado no campo

Fácil de operar e 100 % viável



ROCTEST

Representante exclusivo no Brasil

+55 21 2718 3968

3Geo vendas@3geotecnologia.com
TECNOLOGIA www.3geotecnologia.com

CARACTERÍSTICAS DO SOLO DE FUNDAÇÃO

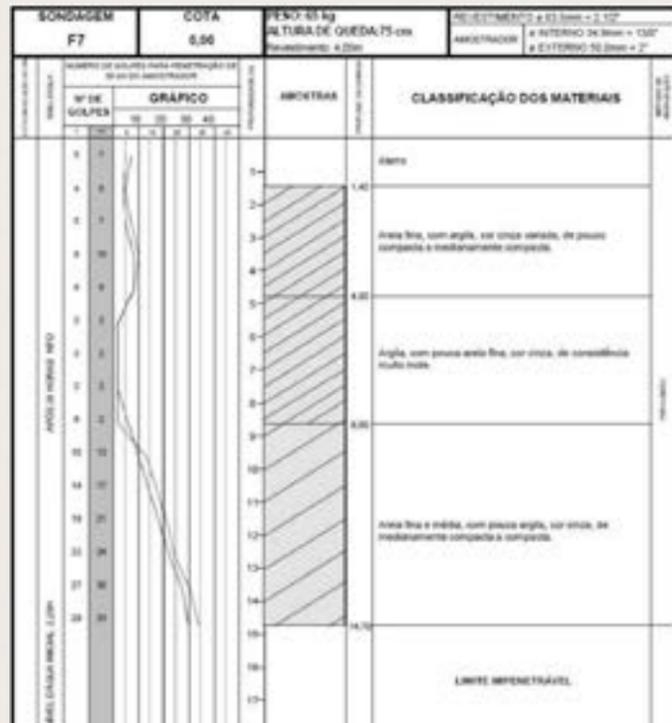


Figura 3: Sondagem típica do local

Para identificação e caracterização do solo de fundação, executou-se 6 perfurações de sondagem de reconhecimento com SPT, encontrando-se camada superficial de aterro, com cerca de 2 m, seguida de extrato de areia fina e média, com pouca argila, variando de pouco a muito compacta, com 2 m de espessura. Abaixo, encontra-se camada de argila siltosa mole, que se estende até a profundidades de 8 a 10 m. Após, segue-se camada de areia fina e média, com pouca argila, variando de medianamente compacta a muito compacta até o limite do impenetrável encontrado entre -14,05 a -18,80 m. Exatamente, quando da construção da edificação, no início dos anos 1900, já acumulava recalques. Nesta época, o rio Jacuí passava junto a construção que se erguia. Com o passar do tempo, aterrou-se cerca de 1 km à frente desta construção. O nível d'água, após 24 horas, foi encontrado entre -1,20 e -1,70 m de profundidade. A locação de todas as sondagens e o direcionamento deformativo é indicado na Figura 4.

O PROCESSO DEFORMATIVO IMPOSTO DESDE SUA CONSTRUÇÃO

Com objetivo de se conhecer o crônico processo deformativo na edificação, 3 meses antes do início da intervenção, realizou-se campanha de monitoramento de recalques, com plano de instrumentação baseado em 22 pinos instalados em diferentes "pilastras" do edifício (Figura 4). Monitorando-se o recalque nos pilares, constatou-se complexo processo de deformação crescente, com velocidades na faixa de 10 a 20 $\mu\text{m}/\text{dia}$, bem pequenas mas, considerando um período pertinente à décadas, acabaram por comprometer toda a construção. A edificação, que atende Jovens carentes aumen-

ta, continuamente, sua população de moradores. A fachada norte inclinou 35 cm para trás e não apresentou movimentação lateral, na junta de dilatação próxima. As trincas e fissuras apresentavam formato e extensão recorrentes em processos de recalques de edificações, muitas delas maquiadas com preenchimentos e pinturas, ao longo da existência da edificação. O pavimento dos andares, apresentava demasiada inclinação para os fundos da edificação. O pavimento térreo, particularmente no lado sul, devido ao recalque

acumulado de 60 cm, necessitou de sucessivos alteamentos, o que exacerbou ainda mais o processo de recalque, devido ao aumento da carga sobre o solo mole. As duas juntas de dilatação, que cortam o prédio integralmente, formam três corpos estruturais independentes, que se movem e deformam isoladamente, embora o conjunto de sua fundação seja único, sofrendo alguma torção. Por esta razão, acreditou-se que a manifestação dos recalques fosse descontinuar com a presença das juntas. Durante 90 dias, realizaram-se medidas de movimentação da edificação.

GEOKON

TRUSTED MEASUREMENTS®
EQUIPAMENTOS GEOTÉCNICOS

Conheça nosso moderníssimo inclinômetro M6180 que possibilita automação e leitura em tempo real



O moderníssimo inclinômetro M 6180, caracteriza-se por segmentos individuais, mecanicamente conectados com juntas estilo "bola-soquete", interligadas eletricamente com conectores à prova d'água em um único cabo, tornando o conjunto extremamente leve e compacto, o que torna fácil e rápida sua instalação. Consequentemente, seu custo tornou-se muito atrativo. O modelo M 6180 juntamente com nosso sistema de compartilhamento de dados, sem fio, da série GeoNet torna-se, portanto, a solução mais moderna de monitoramento para deslocamentos horizontais.

Conheça hoje mesmo esta moderníssima tecnologia (com preço atrativo)

Representante exclusivo no Brasil: **G5 Engenharia LTDA**
Contato: (41) 3402-1707/ cotacao@g5engenharia.com.br /g5engenharia.com.br

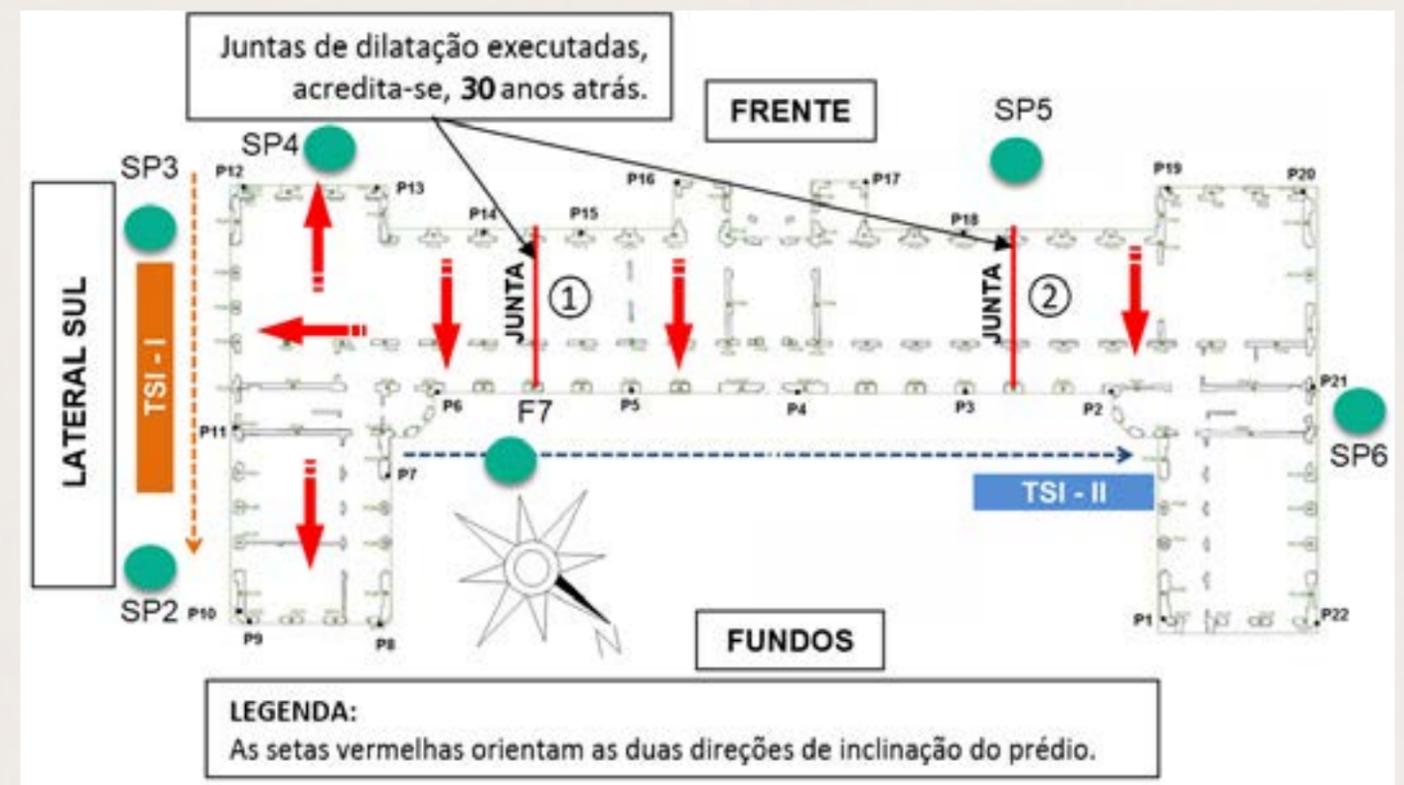


Figura 4. Vista em planta da localização das juntas de dilatação, direção do processo deformativo, locação das sondagens TSI, pinos para controle do recalque e sondagens SPT.

Visão em corte do solo mole podendo apresentar textura e cor escura

ou cinzenta. Para torná-lo rijo faça
MELHORAMENTO DE SOLO

Solicite informações
www.softsoilbrazilianreview.com.br

Concluiu-se que, caso as taxas de movimentação se mantivessem, ao final de 10 anos, os recalques alcançariam 150 mm, tornando inviável a edificação, particularmente com relação a sua inclinação.

IDENTIFICANDO-SE AS CAUSAS

Como é de praxe na engenharia geotécnica, vários fatores contribuem para o processo de recalque diferencial, quando há existência de solos moles. Considerando-se esta condição do solo de fundação, a modificação sistemática da ocupação interna e o intenso desenvolvimento urbano ao redor da edificação, com grandes aterros e construções ao redor, pode-se afirmar o seguinte:

- A convergência de duas avenidas, junto à edificação, associa considerável nível de carga adicional e vibrações no solo de fundação, com atuação nas camadas de solo mais superficiais e, conseqüentemente, em sua fundação direta, com os materiais construtivos envolvidos.
- A camada de argila mole, embora pré-adensada pelo carregamento centenário original, sistematicamente modificado, amplifica a intensidade das vibrações, por ressonância.
- Devido ao processo contínuo de vibrações, a camada arenosa, sob o aterro, com cerca de 3 metros de espessura, sofre processo de acomodação, impondo recalques diferenciais motivados por cargas diferenciais da edificação.
- Ao longo de 100 anos, houve variação das cargas acidentais, atuantes na edificação e/ou modificação no uso da edificação, impondo um histórico de carregamento crescente.
- A dinâmica, do nível freático, em função de sua flutuação e, também, motivado por novas e grandes obras vizinhas, afetou o aterro e a camada arenosa. A própria ação de precipitações e a grande permeabilidade do aterro e camada de areia inferior, ditou gradientes diferenciais e prejudiciais ao sistema de fundação existente.

SONDAGENS TOMOGRÁFICAS DO SOLO COM IMAGEM

A tomografia do solo por imagem (TSI), é uma sondagem não invasiva e não destrutiva, com capacidade de avaliar, em termos de rigidez e resistência, grandes volumes de solo, de maneira rápida e segura. 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-se a velocidade de fase, característico deste tipo de sondagem, com o seu módulo

cisalhante (Go). Realizaram-se duas tomografias, posicionadas de acordo com a Figura 4. A primeira, (TSI- I), foi realizada junto à fachada oeste (frontal) do prédio e a segunda (TSI-II), na fachada sul. As análises, basearam-se na Tabela 1, formatada pela experiência da empresa ENGEGRAUT e pesquisadores internacionais, relacionando a Velocidade da onda cisalhante, (Vs), com parâmetros geotécnicos. A região frontal (oeste) do edifício, está assentada em camada de solo mole, entre 4 e 9m de profundidade,

com resistência não drenada de 12,5 a 25 kPa, abaixo de material arenoso compacto identificando-se, também, bolsões de solo muito mole, com resistência extremamente baixa (<12,5 kPa), localizados na região lateral direita do prédio, onde o processo de recalque apresentava-se mais intenso. Antes da construção do prédio, nesta lateral, desaguava um antigo riacho, em direção ao Rio Jucu que ficava em frente a edificação. O solo firme está disponível a partir dos 9m de profundidade.

Tabela 1: Parâmetros comparativos do solo (fonte: Engegraut)

Consistência	Descrição	Vs (m/s)	SPT	Go (MPa)	Su (kPa)	σ_0 (kPa)
Rija	Depósitos profundos, pré-adensados ou de antiga sedimentação. Solo coluvionar.	190 a 250	11 a 25	8,0 a 15,0	60 a 170	140 a 200
Média	Depósitos argilosos profundos intercalados com camadas ou lentes arenosas.	130 a 190	5 a 10	3,0 a 8,0	25 a 60	80 a 140
Mole	Solos sedimentares argilosos quaternários subconsolidados. Argilas plásticas.	80 a 130	1 a 5	1,0 a 3,0	12,5 a 25	40 a 80
Muito mole	Depósitos argilosos moles com elevado índice de plasticidade (IP>40), alto teor de umidade e presença de matéria orgânica (turfas).	< 80	< 1	1,0	< 12,5	< 40

Nota : Vs = velocidade da onda cisalhante; SPT = índice de resistência à penetração; Go = módulo de cisalhamento a pequenas deformações; su = resistência não drenada; σ_0 = tensão admissível de referência;

Na TSI - I (Figura 5), identificou-se solo extremamente mole, próximo à região leste do empreendimento,

com resistência menor que 12,5kPa, sinalizando impedimento total para receber cargas, o que justifica a

incidência maior de deformações. O aterro existente vai até 2m de profundidade.



Image courtesy of Adviseurs in Bouwtechniek (ABT)

Geotechnical Analysis SIG: Simulating Soil Lab Tests for PLAXIS Soil Model Parameters



Micha van der Sloop
Technical Support Manager
Bentley Systems, Inc.

PLAXIS: Simulating Soil Lab Tests

www.bentley.com

Dear User,

When conducting laboratory test results – such as Triaxial and Oedometer tests – you want to make sure that the behavior of your chosen constitutive soil model captures the test result data. With the SoilTest feature, PLAXIS offers a quick and simple method to simulate these lab tests and verify the model behavior. To learn more, this Geotechnical Special Interest Group virtual workshop is a must see!

The agenda for the one-hour session encompasses:

- How to start a soil lab simulation
- Optimizing your model parameters to replicate real-life behavior
- After optimizing, how to quickly update the soil material definition in PLAXIS

The Geotechnical Analysis SIG is open to all Bentley users, so invite your colleagues!

Geotechnical Analysis SIGs – complimentary virtual workshops to keep you working optimally!

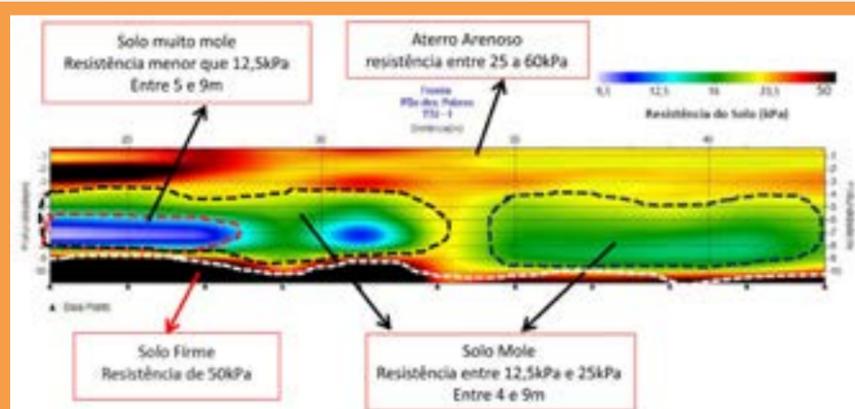


Figura 5: TSI - I

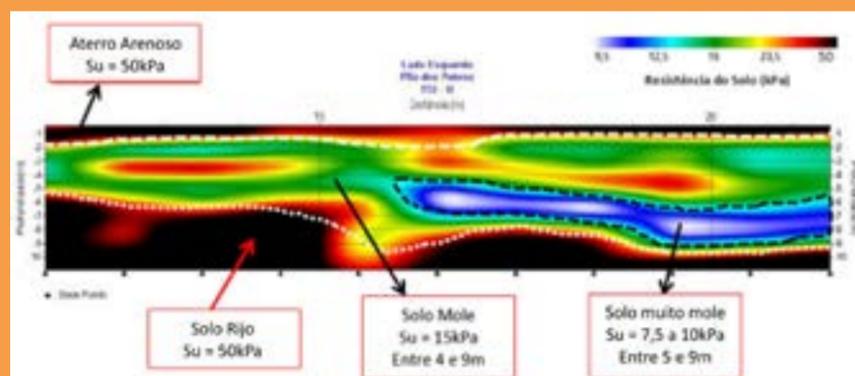


Figura 6: TSI - II

Neste perfil, visualiza-se que a camada de solo mole varia entre de 4 e 7m. O solo rijo, está localizado a partir de 9m de profundidade. Executou-se a TSI-II (Figura 6), no solo de fundação, pertinente à fachada dos fundos, verificando-se camada argilosa muito mole, entre 2 e 6m de profundidade. Ou seja, está presente em toda a extensão da área estudada, onde a estrutura sofreu maior processo de recalque. O aterro, apresenta resistência cisalhante relativamente baixa, possivelmente pelo grau de compactação insuficiente do solo, o que já era esperado.

ANÁLISE DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA INTERROMPER O CRÔNICO PROCESSO DE RECALQUE

Elementos de fundação de edifícios históricos, frequentemente, apresentam baixa resistência à compressão ou à flexão, devido a presença de argamassas pobres empregadas e/ou à falta de armaduras. Para a solução do problema apresentado, inicialmente, avaliou-se o critério econômico, com orçamentos realizados apresentados na Tabela 2. Com exceção das colunas de Jet

Tabela 2: Orçamento das soluções para interrupção do centenário recalque

Método	Valor (Milhões de Reais -R\$)
Reforço com estacas metálicas	1,0 a 1,4
Jet Grouting - 80cm	1,1 a 1,9
Jet Grouting - 200cm	2,2 a 2,4
Estacas Mega	1,0 a 1,5
Geoenrijecimento	1,3 a 1,5

Grouting, com 200cm de diâmetro, as demais soluções apresentaram um custo com mesma ordem de grandeza. Inicialmente, idealizou-se a solução por meio de elementos verticais, com estacas ou colunas, apoiadas no solo firme e o topo do elemento incorporado na sapata corrida, que levaria uma cinta em concreto armado, de modo a incorporar todo o novo sistema, evitando recalques diferenciais. O reforço das fundações, utilizando a solução de Estacas Mega ou microestacas, seria realizado com inclinação, ou verticalmente, ao lado dos elementos de

fundação ou, ainda, perfurando-os. O conceito é o da transferência das cargas da edificação para camada de solo resistente. Ou seja, modificava-se completamente o sistema de fundação da centenária edificação. A

execução de Jet Grouting, ocasionaria recalques denominados "funcionais", inerentes à sua execução, pois o jato de alta pressão deslocaria violentamente o solo, provocando deformações irreversíveis, danificando ainda mais a estrutura, fragilizando-a. Em resumo,

abandonou-se a solução com elementos verticais ou com fundação profunda pois, além de modificar o patrimônio histórico, a intervenção seria extremamente traumática e perigosa. A solução escolhida baseou-se, portanto, no melhoramento e readequação do solo existente à antiga fundação, ou seja, o geoenrijecimento, que modifica o comportamento mecânico do solo, ao mesmo tempo em que interrompe o processo de recalque, sem necessitar de escavações ou intervenções invasivas, agindo diretamente na raiz do problema, ou seja, nas camadas de solo mole. Este tipo de intervenção, "não invasiva", considera que o acesso ao solo de fundação, e o posterior melhoramento do solo, é feito através furos de aproximadamente

8cm de diâmetro, sem nenhum prejuízo ao antigo sistema de fundação. A técnica cria, inicialmente, um ambiente drenante artificial, no solo argiloso, com a cravação de geodrenos para, a seguir, comprimi-lo, consolidá-lo e confiná-lo, via expansão de cavidades, com o a formação de bulbos de geogROUT. O resultado é o adensamento do solo, impondo resistência em sua totalidade, além do processo de confinamento, que estabelece níveis

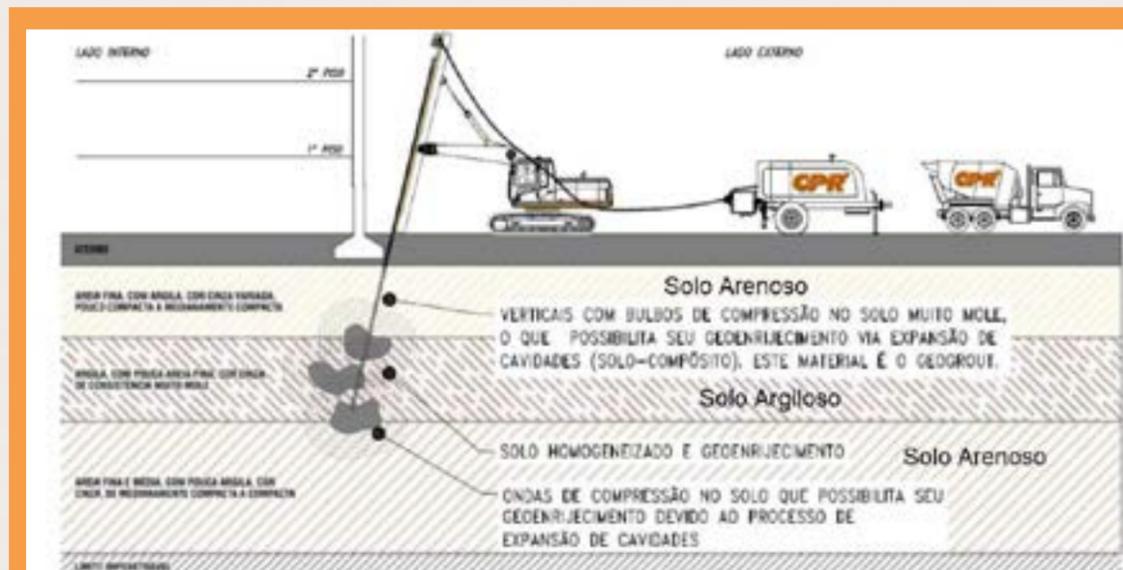


Figura 7: O Geoenrijecimento, compatível com a preservação do patrimônio histórico.

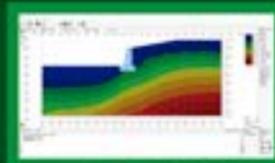
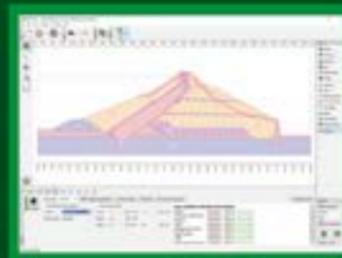
calculados de rigidez. Ao mesmo tempo, obriga-se a curva recalque-tempo a sair da condição descendente para a condição horizontal. A técnica, promove a formação de campos de tensões, sob a antiga estrutura, o que exige intenso monitoramento ótico e nivelamento à laser, de modo a preservá-la. A modificação gradual do solo mole para rijo, é verificada através de piezômetros e imagens tomográficas. O processo executivo é ilustrado na Figura 7.

A READEQUAÇÃO DO SOLO DE FUNDAÇÃO COM GEOENRIJECIMENTO

Sob cada "pilastra" da edificação (Figura 4), foram feitos pré-furos, com auxílio de ar comprimido, atravessando-se o aterro e a primeira camada arenosa, alcançando-se o solo mole. Estes furos, verticais e inclinados, foram executados à distância de 1 m das "pilastras", de modo a não atingir a aba das sapatas de fundação. Inicialmente, cravaram-se geodrenos com o equipamento de geoenrijecimento em posição, interligado com bomba específica, iniciou-se a formação dos bulbos de geogROUT (argamassa com consistência seca), indo a aproximadamente 9m de profundidade, com objetivo de com

Software de Geotecnia para uma vasta gama de análises:

-  Análise de Estabilidade
-  Escavações e Contenções
-  Muros e Gabiões
-  Recalque
-  Sondagens de Solo
-  Túneis e Poços
-  Estudos geológicos
-  Muros e Gabiões



AVALIE GRATUITAMENTE

Solicite: comercial@solucoescaad.com.br

Distribuído por:

SOLUÇÕES CAD BIM

www.solucoescaad.com.br

primir radialmente o solo mole, a partir desta cota, de modo a não criar tensões localizadas nos elementos de fundação acima, chegando-se até cerca de 1m da antiga fundação. Naturalmente, ocorria pequena movimentação dos elementos de fundação para cima, corrigindo-se pequenos desnivelamentos, o que é controlado com níveis óticos e à laser. Durante o processo de expansão de cavidades, gerou-se poropressões nas camadas de solo mole, que se dissiparam e geraram elevadas deformações em um curto período, compensados com a formação de bulbos de compressão. Como o geoenrijecimento promove a homogeneização do solo, para valores de resistência e rigidez impostos, cessa os recalques diferenciais, permanecendo recalques residuais uniformes devido a igualdade e diminuição do processo de consolidação. A partir daí, com a homogeneização do solo, controlou-se o processo diferenciado de consolidação do solo mole que ocorria, acelerando-o, ou mesmo tornando-o finito e sustentável. Na Figura 13, é apresentada tomografia, mostrando a condição do solo, 7 e 15 dias após a realização do melhoramento, respectivamente, em comparação com a condição inicial da Figura 5 e Figura 6. Percebe-se a imposição de novos

(continua na página 19)



Figura 8 e 9 O tubo de bombeamento adentrou no solo, estabelecendo-se a cerca de 9m de profundidade. Na sequência, o caminhão do geogROUT e a bomba.



Figura 11 e 12: Ao longo de outra fachada da edificação, o tubo de bombeamento adentrou pela janela da edificação.

A solotest equipa os melhores laboratórios de solos, concreto e misturas asfálticas da América Latina, com equipamentos próprios e de seus parceiros internacionais.



1.014.250 - Extrator Shelby de Bancada



1.055.001 - Prensa de Adensamento



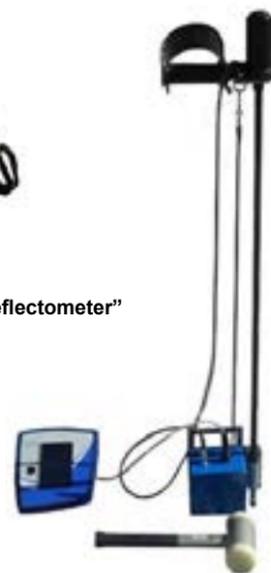
1.022.250 - Prensa CBR / Marshall Digital Microprocessada



4.100.030 - Medidor de Densidade de Solo Não Nuclear (SDG)



4.100.300 - LWD "Light Wheight Deflectometer"



4.100.035 - Penetrômetro Dinâmico Eletrônico para Solos Panda



4.688.020 - Sistema hidráulico para realização de ensaio CPT em diversos tipos de Solos

parâmetros de resistência e rigidez, adequados à condição atual da edificação. O volume, de cada bulbo de compressão radial do solo, variou de acordo com a posição e a resposta da edificação. As pressões de compressão no solo mole situaram-se na faixa de 3 kgf/cm² e os volumes, que possibilitaram o processo de compressão radial do solo, via expansão de cavidades, situou-se em torno de 1000 litros, por bulbo. A técnica de melhoramento de solos, o geoenrijecimento, mostrou-se específica e eficiente para as argilas moles

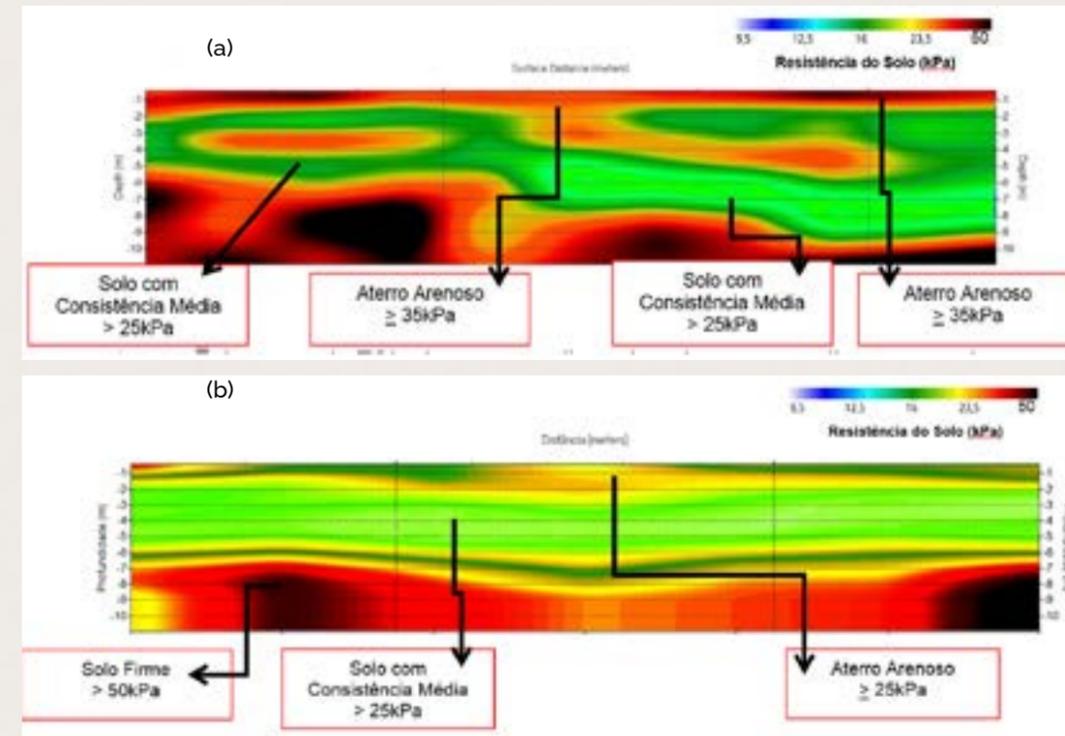


Figura 13: (a) TSI - I; (b) TSI - II após o melhoramento do solo.

do local readequando, particularmente, a rigidez do solo, fazendo com que o crônico e contínuo processo de recalques diferenciais descontinuasse, preservando a condição do antigo sistema de fundação e a própria estrutura. Após a obra, estabeleceu-se decrescente processo de recalque, agora uniforme, já com tendência a zerar, possibilitando obras de restauração necessárias, como renivelamento dos pavimentos, trocas das paredes, etc.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia (ABEF). (2016). Manual de Execução de Fundações: Práticas Recomendadas. São Paulo: ABEF.
- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE). (2018). Geologia de Engenharia e Ambiental, volume 2: métodos e técnicas. ABGE.
- Burke, G.; Yoshida, H. (2013). Jet grouting. Ground Improvement, 3rd ed.: CRC Press: Taylor & Francis Group, p. 207-258.
- Engegraut. (2019). Melhoramento do solo de fundação do prédio da instituição "O Pão dos Pobres de Santo Antônio" em Porto Alegre-RS. Relatório técnico. Rio de Janeiro
- Kearey, P.; Brooks, M.; Hill, I. (2009) Geofísica de exploração. Oficina de textos.
- Rodrigues, J. (2018). Melhoramento do Solo Mole e o Geoenrijecimento. Oficina de textos.
- Hachich, W.; Falconi, F. F.; Saes, J. S.; Frota, R. G. Q.; Niyama, S. (2016). Reforço de fundações. In: Fundações: teoria e prática. 3ª ed. São Paulo: PINI.



Uma região, no interior da indústria, tendo o solo melhorado, objetivando o encapsulamento do solo orgânico e a paralização dos recalques existentes

PARALISANDO RECALQUES EM UNIDADE INDUSTRIAL SEM SUSPENDER O SERVIÇO

Uma grande indústria de biodiesel, situada no município de Lins, em São Paulo, foi construída com a exigência da execução de cerca de 6 m de aterro sobre a área original, que pertencia a um grande e antigo curtume, que deixou

um passivo com restos de couro, peles, etc., com quase 2 metros de espessura. O peso deste novo aterro, sobre a camada de material orgânico em decomposição, começou a gerar características de solo mole, bem mais compressível que solos moles inorgânicos (minerais) comuns. A questão é que, geo-

tecnicamente, "solos" orgânicos representam formas extremas de solo mole, pois sofrem alterações químicas e biológicas, ao mesmo tempo. Faz sentido, portanto, não adotar parâmetros geotécnicos semelhantes às do solo mineral, quando há presença de solo orgânico. Em resumo, a decomposição

da matéria orgânica começou a gerar grandes vazios e gás metano, suficientes para gerar recalques crescentes no solo de fundação e, conseqüentemente, em diversas áreas da unidade industrial de biodiesel.



Figura 1 - Localização da área em questão, em Lins, no interior de São Paulo

CONDIÇÃO DO SOLO LOCAL

A tabela, a seguir, apresenta características do solo compressível, com baixa resistência, com base em sondagens SPT.

Tabela 1- Característica geral do sub solo:

Profundidade(m)	Camada	SPT
0 a 5,0	Aterro em argila, vermelha clara	8 a 15
5,0 a 9,0	Aterro em argila com entulho (couro)	8 a 13
9,0 a 20	Argila siltosa vermelha clara	Superior a 15

Ao fazer pré-furos para iniciar o melhoramento do solo, constatou-se baixa resistência, elevado volume de vazios, com presença de bolsões de gás metano que escapava, fazendo com que os pavimentos sofressem recalque instantâneo. Ao lado, a sondagem típica do local.

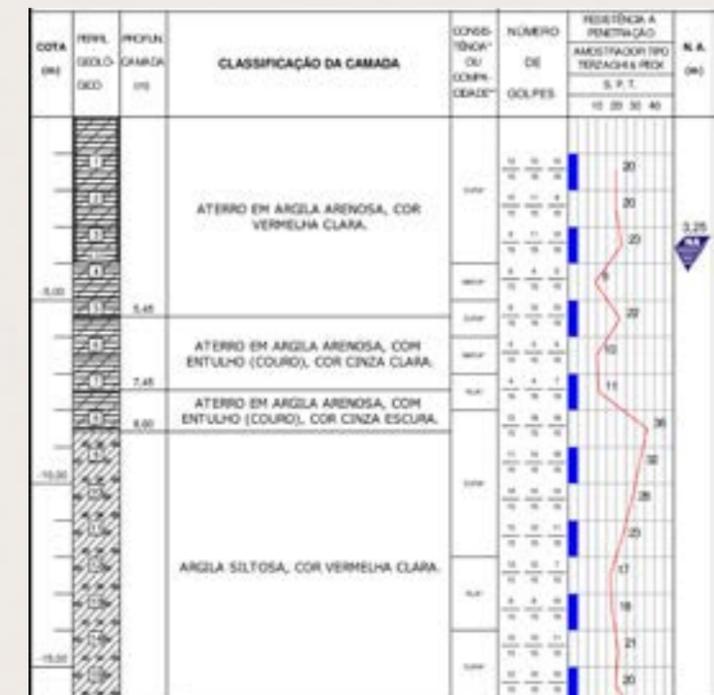


Figura 2- Boletim de Sondagem típico.

O LEVANTAMENTO NECESSÁRIO DAS TUBULAÇÕES ENTERRADAS

O levantamento geofísico, não destrutivo (sem perfurar o solo), objetivou localizar tubulações enterradas, antes de iniciar o melhoramento do solo. A técnica utilizada foi o ground penetrating radar ou georadar (GPR). A penetração do sinal do GPR, nas sessões interpretadas (em anexo), foi até 20 metros. O processamento utilizou dois softwares distintos, permitindo distinguir melhor o que é interferência e o que é horizonte de solo (litologia).



Figuras 3,4 e 5: levantamento de possíveis tubulações enterradas nas regiões a serem trabalhadas.

Imagens em preto e branco: sessões com interpretação de interferência
Imagens coloridas: interpretações de sessões mostrando os diferentes níveis de solo (litologias)

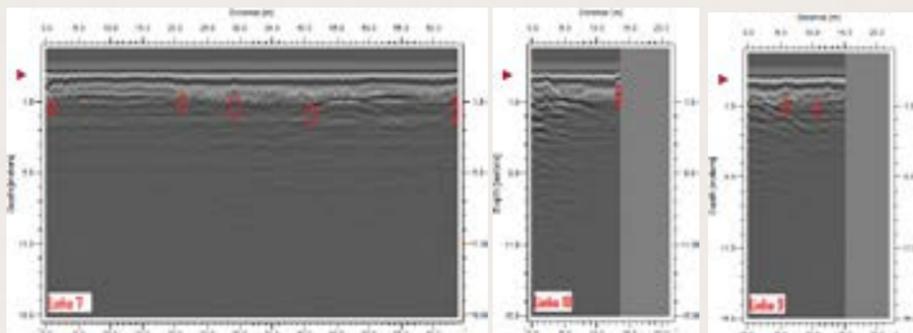


Figura 6 - Resultado do GPR.

O ambiente estudado evidenciou área aterrada, com mescla de solos, com certa compactação em alguns locais em profundidade, mas sem consistência, pois o nível que separa os horizontes é dotado de linhas com pouca horizontalidade. Essas ondulações podem ser o motivo dos desníveis vistos também na superfície.

Considerando uma argilosidade complexa no meio, conferindo a necessidade de melhoramento do solo na sua estrutura subsuperficial. No entanto, o objetivo principal do GPR foi a identificação subsuperficial de tubos enterrados. Este objetivo foi plenamente obtido com a campanha de sondagens executadas, particularmente nas áreas internas.



Figura 7: Malha de Geodrenos necessária à liberação da água e gases presentes no interior do solo, à medida em que se formavam os bulbos de compressão radial no solo, objetivando seu adensamento.



Figura 8: A sequência de fotos mostra a evolução da formação dos bulbos de compressão radial no solo, ao longo de verticais.



SENSORES DE RECALQUE



CÉLULAS DE PRESSÃO PARA ATERROS

GEOKON

TRUSTED MEASUREMENTS®

EQUIPAMENTOS GEOTÉCNICOS



CÉLULAS DE PRESSÃO CRAVÁVEIS NO TERRENO

PIEZÔMETROS

A Geokon é líder mundial em automação e instrumentação geotécnica para monitoramento de solos

Representante Exclusivo no Brasil



G5 Engenharia LTDA
Tel: (41) 3402-1707
g5engenharia.com.br



Figura 9 e 10 :Durante todo o serviço, havia monitoramento constante do piso, de modo a, se possível, corrigi-lo com levantamento, já que apresentava afundamentos.

PERICULOSIDADE DO SOLO DE FUNDAÇÃO

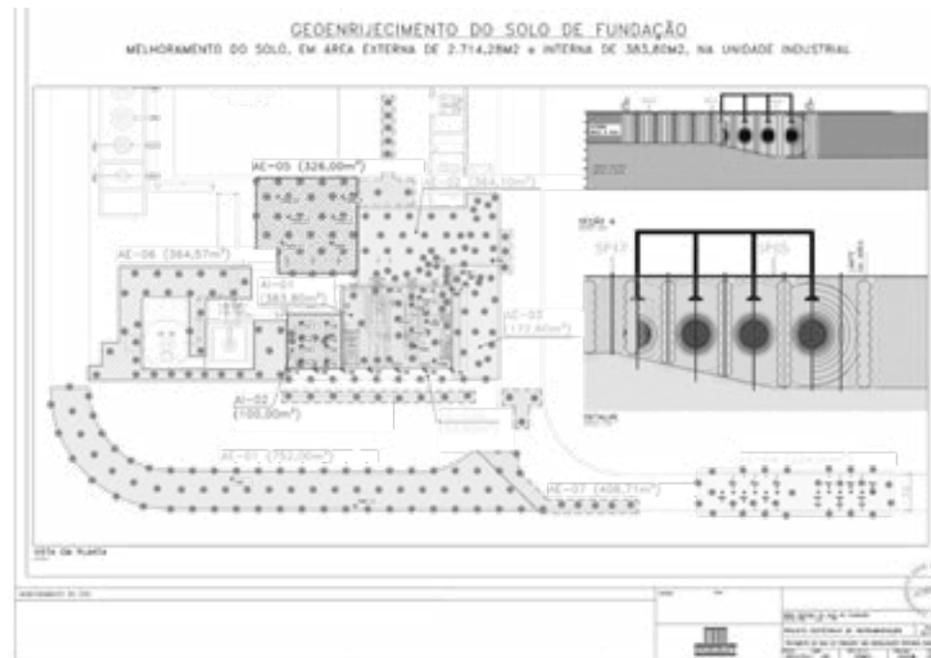


Figura 11 :Localização dos pontos externos de tratamento: 255 un.

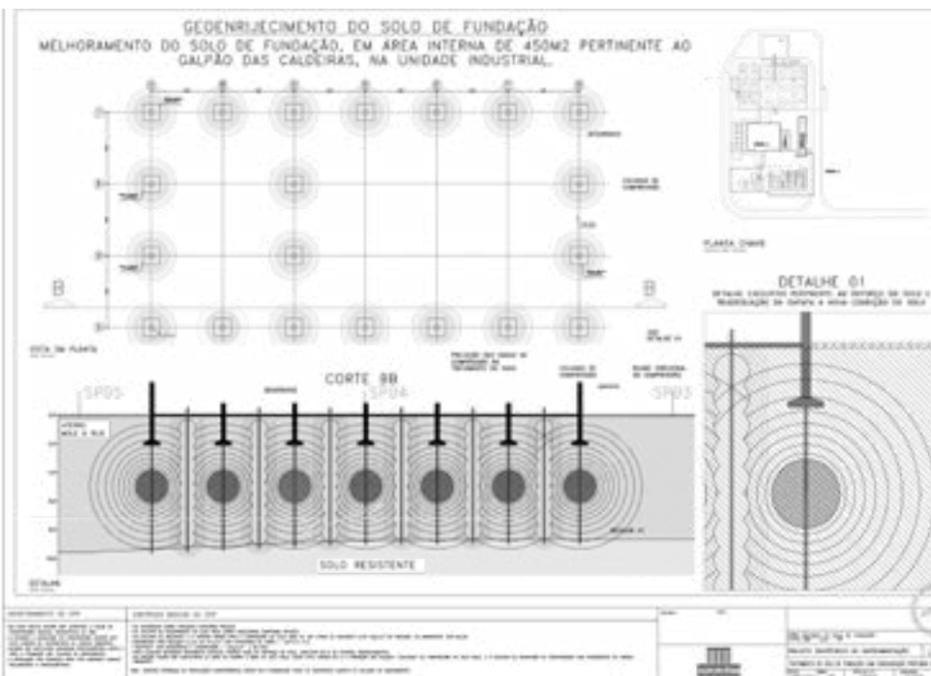


Figura 12: Detalhe do projeto de melhoria do solo, com geoenrijecimento, nas áreas internas.

Havia gases no solo de fundação da indústria em questão, no entanto, todo o volume (solo e matéria orgânica) comprometido encontrava-se quase que diariamente submetido à variação do NA, tornando-o saturado, solubilizando os gases presentes. Neste ambiente, entende-se que o processo de furação, que é executado sem impacto, apenas com rotação, com ponta tricône, não oferece possibilidade de formação de centelha, mesmo porque não houve qualquer dificuldade para a penetração da sonda de perfuração. A ação dos geodrenos cravados permitiu a dissipação de possíveis bolsões de gases, neutralizando suas concentrações e, conseqüentemente, sua inflamabilidade. A formação dos bulbos de compressão no solo, de baixo para cima, provocou

gradientes de pressão, promovendo a migração dos gases ali presentes em direção à superfície, através dos geodrenos, eliminando problemas futuros. Por outro lado, a formação dos bulbos preencheu grandes espaços vazios, decorrentes da decomposição da matéria orgânica, ao mesmo tempo em que confinou e comprimiu toda a pluma contaminante, tornando-a inerte, principalmente pela foto de que, com as pressões de trabalho do geoenrijecimento, criou-se uma impermeabilidade no solo. Concluiu-se que as etapas pertinentes ao melhoramento do solo, com geoenrijecimento, para as regiões problemáticas, foram absolutamente seguras, não oferecendo qualquer perigo. A intensa malha de geodrenos profundos, com pequeno espaçamento, permitiu dissipar excessos de poropressão, além dos gases. A condição deformativa do solo de fundação, nesta planta, era extremamente complexa consideran-



Figura 13: O pavimento de acesso à área biodiesel apresentava intensa deformação em decorrência de processo de recalque no local. O geoenrijecimento foi executado, estabilizando-se o solo de fundação, além de, dentro do possível, corrigidas as deformações no pavimento.



Figura 14: Área 05 antes do melhoramento: um sério processo de afundamento do pavimento, que ultrapassava os 100 cm.



Figura 15: Área 05 antes do melhoramento: um sério processo de afundamento do pavimento.



do-se, principalmente, a decomposição, que gerava uma evidente gama de recalques e, sobretudo, uma perigosa concentração de gases sob a planta. Desta forma, estabeleceu-se o desafio geotécnico de tratar este problema sem desativar a planta industrial. O geoenrijecimento do solo de fundação, possibilitou interromper as deformações verticais, que conduziam ao comprometimento industrial (paralisação de atividades) devido ao afundamento de seus pisos. A evolução do geoenrijecimento, imposto às regiões problemáticas na área de Biodiesel, corrigiu de forma significativa as características geotécnicas do solo de fundação, tornando-o um compósito rígido e homogêneo, executado via expansão de cavidades, comprimindo e adensando o solo, estabelecendo elevada rigidez, ao mesmo tempo em que tornava inativa a pluma contaminante. O volume de geogROUT aplicado, superior a 450m³, deu uma dimensão da quantidade de vazios ou da compressibilidade (capacidade do solo deformar) existente, fornecendo uma ideia dos problemas que estavam por vir, caso nada fosse feito. A partir do término do serviço, toda a área geoenrijecida foi avaliada, de forma precisa, através do nivelamento ótico de precisão, confirmando a paralisação dos recalques.

REFERÊNCIAS

• Thomas Kim é engenheiro geotécnico e trabalha com melhoramento de solos moles.



Figura 16,17 e 18: Evolução do geoenrijecimento na área 06



Figura 19: Melhoramento do solo em torno do tanque AE6



Leica Geosystems introduces 3D machine control solution for compact excavators and backhoes with swing boom

The Leica iCON iXE3 3D excavator machine control solutions will be available for smaller excavators with swing boom, providing an easy-to-use solution on one unified software and hardware platform.

(Heerbrugg, Switzerland, 2021) Leica Geosystems, part of Hexagon, today announced to extend the Leica MC1 one-for-all software platform by offering its 3D machine control solution for compact excavators and backhoes with swing boom.

Contractors rely on efficient workflows for applications such as trenching for footings, grading ditches or digging out basements. As such, demand for technology-enabled compact equipment is rapidly growing. Whenever applications require a consistent grade and sustained slope, 3D machine control solutions from Leica Geosystems excel on the job.

Leveraging the Leica MC1 – a unified

platform for software and hardware – means compact equipment benefits from flexible dataflows, easy-to-use interfaces and increased productivity so operators can focus on the job. Operators also have the flexibility to use the MC1's portable control panel across multiple machines and benefit from the cloud-based collaboration platform Leica ConX, to share and report as-built documentation with office and field stakeholders.

LEICA GEOSYSTEMS

Contact us

Communications Team

Leica Geosystems AG

CH-9435 Heerbrugg

Switzerland

media@leica-geosystems.com



04 e 05 de Março de 2022 ICGGG 2022: Conferência Internacional de Geomecânica e Geotécnica Rio de Janeiro- Brasil	08 e 09 de Abril de 2022 ICSMEG 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Geotecnia Ambiental Atenas - Grécia	15 e 16 de Abril de 2022 ICSGR 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia e Pesquisa do Solo Cidade do Cabo- África do Sul	09 e 10 de Maio de 2022 ICSEGG 2022: Conferência Internacional sobre Engenharia de Solo, Geotecnia e Geologia Dubai- Emirados árabes	10 e 11 de Junho de 2022 ICSG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia do Solo Copenhague - Dinamarca	17 e 18 de Junho de 2022 ICMGSM 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Marinha e Mecânica do Solo Riga- Letônia	19 e 20 de Julho de 2022 ICSGA 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia do Solo e Aplicações Paris - França	05 e 06 de Agosto de 2022 ICGAG 2022: Conferência Internacional de Geotecnia e Geotecnia Aplicada Amsterdã - Holanda
04 e 05 de Março de 2022 ICESG 2022: Conferência Internacional sobre Estruturas de Engenharia e Geotecnia Rio de Janeiro- Brasil	08 e 09 de Abril de 2022 ICSEGG 2022: Conferência Internacional sobre Engenharia de Solo, Geotecnia e Geologia Atenas - Grécia	22 e 23 de Abril de 2022 ICEGG 2022: Conferência Internacional sobre Geologia e Geotecnia de Engenharia Boston- Estados Unidos	09 e 10 de Maio de 2022 ICAMG 2022: Conferência Internacional sobre Medições Avançadas em Geotecnia Dubai- Emirados árabes	10 e 11 de Junho de 2022 ICEGSA 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Ambiental para Aplicações Sustentáveis Barcelona - Espanha	24 e 25 de Junho de 2022 ICSMGE 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica Paris - França	19 e 20 de Julho de 2022 ICESGG 2022: Conferência Internacional sobre Estudos Experimentais em Geotécnica e Geotêxteis Toronto - Canadá	19 e 20 de Agosto de 2022 ICSMGE 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica Londres-Reino Unido
08 e 09 de Março de 2022 ICGSRM 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica e Mecânica das Rochas Bangkok - Tailândia	12 e 13 de Abril de 2022 ICAPG 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia de Oleodutos Veneza - Itália	22 e 23 de Abril de 2022 ICEG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Ambiental Tóquio - Japão	13 e 14 de Maio de 2022 ICCEGG 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica e Geologia de Engenharia Costeira Amsterdã - Holanda	10 e 11 de Junho de 2022 ICEGGA 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Ambiental e Aplicações Geoambientais Barcelona - Espanha	24 e 25 de Junho de 2022 ICSGR 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia e Pesquisa do Solo Istambul - Turquia	19 e 20 de Julho de 2022 ICAGR 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Avançada de Estradas e Ferrovias Helsinque - Finlândia	19 e 20 de Agosto de 2022 ICSMG 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Geotécnica Londres-Reino Unido
08 e 09 de Março de 2022 ICAMG 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia de Mineração Bangkok - Tailândia	12 e 13 de Abril de 2022 ICARG 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia Ferroviária Veneza - Itália	03 e 04 de Maio de 2022 ICAG 2022: Conferência Internacional de Geotecnia Aplicada Roma - Itália	13 e 14 de Maio de 2022 ICEGGE 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Ambiental e Engenharia Geoambiental Roma - Itália	10 e 11 de Junho de 2022 ICSGFE 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica do Solo e Engenharia de Fundação Copenhague - Dinamarca	05 e 06 de Julho de 2022 ICMGUM 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Mineração e Mineração Subterrânea Cingapura - Cingapura	19 e 20 de Julho de 2022 ICSEGG 2022: Conferência Internacional sobre Engenharia de Solo, Geologia e Geotecnia Copenhague - Dinamarca	19 e 20 de Agosto de 2022 ICSMG 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Geotécnica Londres-Reino Unido
15 e 16 de Março de 2022 ICGEG 2022: Conferência Internacional sobre Geomecânica e Geotécnica Ambiental Londres - Reino Unido	15 e 16 de Abril de 2022 ICGRSM 2022: Conferência Internacional de Geotecnia, Rocha e Mecânica do Solo Lisboa - Portugal	03 e 04 de Maio de 2022 ICMGMD 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Mineração, Análise e Projeto de Minas Roma - Itália	20 e 21 de Maio de 2022 ICCGG 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Computacional, Geomodelagem e Geoinformática Berlim - Alemanha	10 e 11 de Junho de 2022 ICGEG 2022: Conferência Internacional sobre Engenharia Geofísica e Geotécnica Copenhague - Dinamarca	08 e 09 de Julho de 2022 ICEGR 2022: Conferência Internacional sobre Pesquisa Geotécnica Ambiental Praga- Tcheca	19 e 20 de Julho de 2022 ICAEGG 2022: Conferência Internacional sobre Geologia e Geotecnia de Engenharia Aplicada Paris - França	19 e 20 de Agosto de 2022 ICGCRP 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica, Pesquisa Atual e Problemas Montreal - Canadá
22 e 23 de Março de 2022 ICGG 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica e Geohazards Praga - Tcheca	15 e 16 de Abril de 2022 ICGCE 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia, Construção e Meio Ambiente Lisboa - Portugal	03 e 04 de Maio de 2022 ICAGGM 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Aplicada e Modelagem Geotécnica Roma - Itália	07 e 08 de Junho de 2022 ICGG 2022: Conferência Internacional sobre Geomecânica e Geotécnica Sydney - Austrália	15 e 16 de Junho de 2022 ICSMG 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo em Geotecnia Toronto - Canadá	08 e 09 de Julho de 2022 ICSGFE 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia do Solo e Engenharia de Fundação Praga- Tcheca	19 e 20 de Julho de 2022 ICEG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Ambiental Toronto - Canadá	
22 e 23 de Março de 2022 ICCMG 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Costeira e Marinha Dubai - Emirados Arabes	15 e 16 de Abril de 2022 ICGEC 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia, Meio Ambiente e Construção Lisboa - Portugal	03 e 04 de Maio de 2022 ICGFE 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica e Engenharia Fundamental Cingapura - Cingapura	07 e 08 de Junho de 2022 ICEGR 2022: Conferência Internacional sobre Pesquisa Geotécnica Ambiental São Francisco- Estados Unidos	15 e 16 de Junho de 2022 ICAE 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia Ambiental Toronto - Canadá	15 e 16 de Julho de 2022 ICSG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia do Solo Estocolmo - Suécia		
08 e 09 de Abril de 2022 ICAMG 2022: Conferência Internacional sobre Medições Avançadas em Geotecnia Atenas - Grécia	15 e 16 de Abril de 2022 ICGSS 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Solos Moles Lisboa - Portugal	09 e 10 de Maio de 2022 ICSMEG 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Geotécnica Ambiental Dubai- Emirados árabes	07 e 08 de Junho de 2022 ICAGE 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Aplicada e Engenharia São Francisco- Estados Unidos		15 e 16 de Julho de 2022 ICEGA 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Ambiental e Aplicações Estocolmo - Suécia		

COMO DEVEMOS CONDUZIR O RECALQUE EM UMA CONSTRUÇÃO SOBRE SOLOS MOLES?

É da maior importância prever como o recalque se desenvolverá, com o tempo, em qualquer construção com fundação direta, quando há presença de solos moles. Evidentemente, torna-se necessário o melhoramento do solo, analisando-o com a curva carga-tempo-recalque. A compressibilidade do solo, função do tempo, surge na interação estrutura-solo, como principal agente de desequilíbrio, pois a maneira como o recalque evolui e se estabiliza, determina a importância ou a gravidade dos danos causados à superestrutura. A NBR-6122/96, estabelece que a medição do recalque, constitui recurso fundamental para a observação do comportamento da estrutura, acrescentando que objetiva permitir a comparação dos valores medidos com os valores calculados, visando o aperfeiçoamento da previsão do recalque. A prática do problema, consiste em realizar o controle do recalque, apenas em situações em que são observados problemas, como trincas ou deslocamentos, devendo-se medir este estado deformativo desde o início da construção, como controle de qualidade. Este estado deformativo (recalque) apresenta três componentes, o recalque imediato, Δh_i , o recalque por adensamento primário, Δh , e o recalque por adensamento secundário, Δh_{sec} , conforme figuras abaixo:

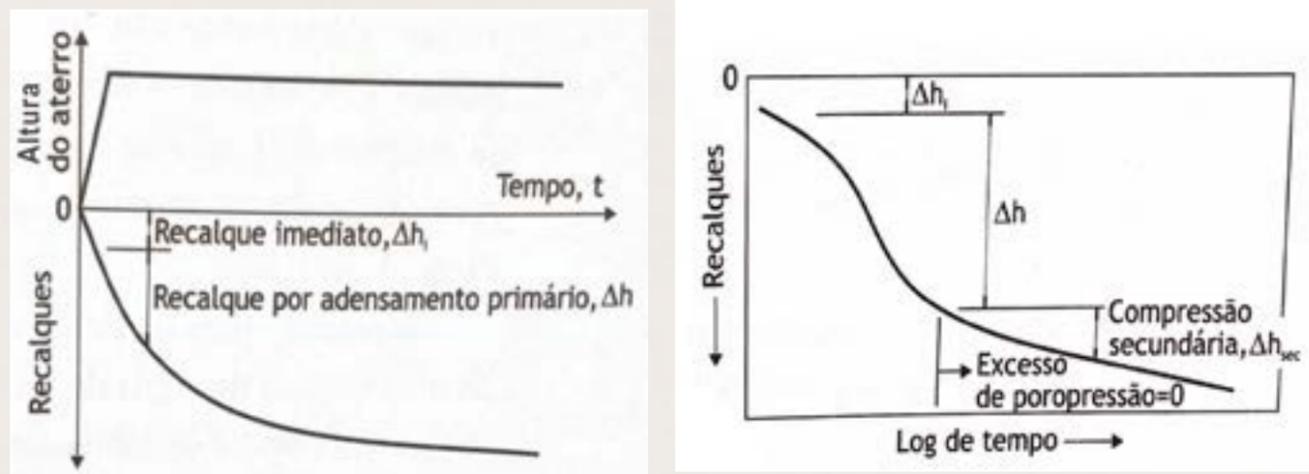


Figura 1: Tipos de recalques

O CÁLCULO DO RECALQUE IMEDIATO

A Figura 2 mostra uma carga uniformemente distribuída, que age na superfície do terreno sobre uma área retangular, provocando a deformação de uma camada elástica de profundidade finita. O recalque imediato é máximo no centro e seu valor é dado pela Teoria da Elasticidade:

$$\rho = qB \frac{1-\nu^2}{E} I_p \quad (1)$$

onde:

q = tensão vertical líquida aplicada

B = largura da fundação

ν = coeficiente de Poisson

E = módulo equivalente

I_p = fator de influência

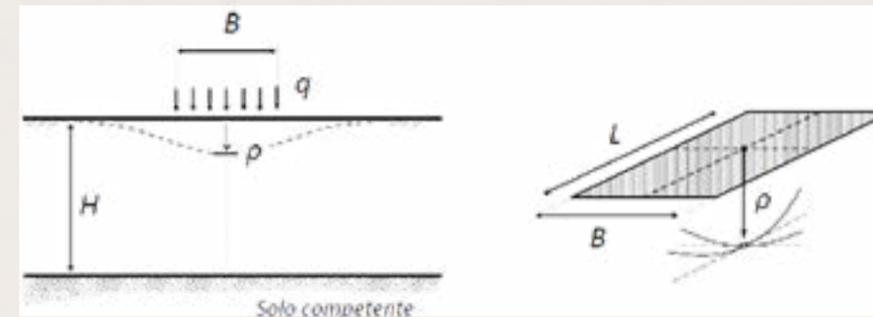


Figura 2: Carga na superfície do terreno aplicada em uma área retangular, com profundidade da camada deformável limitada.

Para o cálculo do recalque no centro do carregamento, o fator de influência é dado pelas seguintes expressões (Das, 2010):

$$I_p = 2 \left(F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} F_2 \right) \quad (2)$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} \left[m \ln \frac{(1 + \sqrt{m^2 + 1}) \sqrt{m^2 + n^2}}{m(1 + \sqrt{m^2 + n^2 + 1})} + \ln \frac{(m + \sqrt{m^2 + 1}) \sqrt{1 + n^2}}{m + \sqrt{m^2 + n^2 + 1}} \right]$$

$$F_2 = \frac{n}{2\pi} \tan^{-1} \frac{m}{n\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}$$

$$m = L/B$$

$$n = B/(0,5H)$$

onde:

B = largura da fundação

L = comprimento da fundação

H = profundidade da camada compressível

O recalque imediato ocorre quase que simultaneamente com a aplicação da carga no solo. Em geral, solos argilosos apresentam comportamento não drenado, pois a velocidade de aplicação da carga é mais rápida do que a capacidade de drenagem do solo. Por conseguinte, o recalque imediato pode ser estimado pela Equação (1) adotando-se $\nu=0,5$ e $E = E_u$, onde E_u é o módulo elástico não drenado.

Exemplo

Um aterro com 4,5 m de altura é construído acima de solo geoenrijecido com CPR Grouting. Seu comprimento é igual a 100m e sua largura é 25 m. A camada geoenrijecida possui 11m de profundidade e apresenta módulo de cisalhamento equivalente igual a 780 kPa. Considerando um aterro com peso específico $\gamma_{at} = 20 \text{ kN/m}^3$, o carregamento devido ao peso do aterro resulta 90 kPa. Determinando-se as razões $m = L/B = 4$ e $n = B/(0,5H) = 0,88$, o fator de influência assume o valor $I_p = 0,19$. O módulo elástico não drenado é obtido de acordo com a Teoria da Elasticidade, no caso de solo incompressível ($\nu = 0,5$):

$$E_u = 3G = 2340 \text{ kPa}$$

Finalmente, pela Equação (1), o recalque não drenado resulta:

$$\rho_i = 0,75 \frac{qB}{E_u} I_p = 0,75 \times \frac{90 \times 25}{2340} \times 0,19 = 13,7 \text{ cm}$$

O CÁLCULO DO RECALQUE POR ADENSAMENTO

Este recalque pode ser estimado pela Teoria do Adensamento Unidimensional de Terzaghi, a partir do módulo oedométrico equivalente, $E_{oed,eq}$:

$$\rho = \frac{q}{E_{oed,eq}} H \quad (3)$$

onde:

ρ = recalque por adensamento

q = carregamento de projeto (pressão)

$E_{oed,eq}$ = módulo oedométrico equivalente

H = espessura do solo geoenrijecido

O módulo equivalente é calculado considerando-se o aumento da rigidez decorrente do processo de expansão de cavidades e do efeito de confinamento impostos pelos bulbos de geogROUT. Estes aspectos são apresentados nos destaques a seguir .

Aumento da rigidez do solo

Em geral, a rigidez do solo cresce com seu confinamento. Expressando a rigidez de um solo, mediante a relação de Janbu (1963), encontra-se:

$$E_s = E_0 \left(\frac{p'}{p'_0} \right)^n$$

Onde E_0 é o módulo do solo natural, E_s o módulo do solo após o melhoramento, p'_0 e p' são as tensões confinantes antes e após, respectivamente. O expoente n varia entre 0 e 1 para maioria dos solos e pode ser determinado em ensaios triaxiais convencionais. Também, é possível relacionar o ganho de rigidez com a deformação volumétrica, a partir de um ensaio de adensamento. A lei de endurecimento de um solo mole pode ser obtida, experimentalmente, e é dada pela relação:

$$E_s = E_0 \exp(b \epsilon_v)$$

Onde:

E_v é a deformação volumétrica imposta ao solo

$$\epsilon_v = \frac{\Delta l}{1+l_0} = \frac{\Delta v_0}{v_0} \quad b = 2,3 \frac{1+e_0}{C_c}$$

que depende da razão de compressão, $CR = C_c / (1 + e_0)$, obtido para tensões acima da pressão de pré-adensamento, conforme Figura abaixo. Com análise estatística, baseada na literatura nacional, Barata e Danziger (1986) concluíram que argilas moles da costa brasileira, apresentam compressibilidades similares entre si, que dependem principalmente

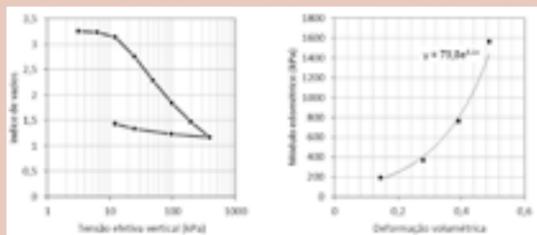


Figura 3 Endurecimento em função da deformação volumétrica em ensaio de adensamento.

da posição da camada argilosa e da pressão efetiva média (entre o estágio inicial e final do carregamento). Segundo eles, nos solos argilosos, das baixadas litorâneas brasileiras, o parâmetro b varia tipicamente entre 6 e 10, na faixa de pressões inferiores a 2 kg/cm². Em função do tipo de perfil geotécnico (Figura 4), sugerem os seguintes valores de b , de acordo com a tabela a seguir :

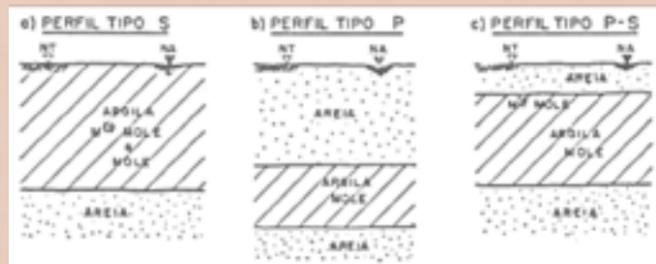


Figura 4 Perfis geotécnicos dos sedimentos quaternários da costa brasileira, contendo a camada mole em diferentes posições, segundo classificação de Barata e Danziger (1986).

Compressibilidade das argilas moles brasileiras. Valores sugeridos por Barata e Danziger (1986).

Perfil	Posição da camada mole no perfil	Valor de b
Tipo S	Camada mole na superfície (mangue)	6
Tipo P	Camada de argila profunda (sob espessa camada de areia ou aterro)	10
Tipo P-S	Caso intermediário, com camada de aterro ou areia com pequena espessura quando comparada com a camada compressível	8
(sem distinção)	Relação média para argilas das baixadas litorâneas da costa brasileira	7

Demonstração: O ensaio de adensamento é a maneira mais simples de estudar o comportamento volumétrico do solo, aplicando-se carregamentos verticais crescentes, com deformação lateral impedida. A cada incremento de carga, o índice de vazios diminui e o solo se torna mais denso, duro e resistente. Por esta razão, o gráfico tensão-deformação, obtido a partir do ensaio de adensamento, é fortemente não-linear. Experimentalmente, em um gráfico semi-logarítmico, a curva de compressão possui formato linear, com trechos de compressão virgem e de descarregamento bem distintos. Ao longo da reta virgem, a deformação volumétrica é convenientemente expressa na forma:

$$\epsilon_v = \frac{C_c}{1+e_0} \log_{10} \left(\frac{\sigma'_v + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_v} \right) = \frac{C_c}{1+e_0} \frac{1}{\ln 10} \ln \left(\frac{\sigma'_v + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_v} \right)$$

Para valores muito pequenos de $\Delta\sigma'_v$, isto é, tendendo a zero, a expressão resulta na relação diferencial:

$$d\epsilon_v = \frac{1}{2,3} \frac{C_c}{1+e_0} \frac{1}{\sigma'_v} d\sigma'_v$$

Onde:

$$E_{oed} = 2,3 \frac{1+e_0}{C_c} \sigma'_v$$

é o módulo edométrico, que depende linearmente da tensão efetiva, σ'_v . Diferenciando a relação, obtém-se:

$$dE_{oed} = 2,3 \frac{1+e_0}{C_c} d\sigma'_v$$

O termo de proporcionalidade é constante e é identificado por

$$b = 2,3 \frac{1+e_0}{C_c} \text{ . Combinando as equações anteriores, resulta:}$$

$$d\epsilon_v = \frac{1}{E_{oed}} d\sigma'_v \rightarrow d\epsilon_v = \frac{1}{b E_{oed}} dE_{oed}$$

Onde:

$$\int_{E_0}^E \frac{dE_{oed}}{E_{oed}} = \int_0^{\epsilon_v} b d\epsilon_v \rightarrow E = E_0 \exp(b \epsilon_v)$$

Logo, a rigidez do solo tem a tendência a aumentar, exponencialmente, com a deformação volumétrica. A capacidade de endurecimento do solo é representada pelo parâmetro b .

Rigidez equivalente

Além da consolidação do solo mole, o geoenrijecimento com CPR Grouting promove a criação de um solo homogêneo identificado por bulbos (inclusões) rígidos dispersos formados via expansão de cavidades em meio drenante artificial. Para entender melhor este conceito é importante considerar:

(1) Não há uniformidade na geometria dos bulbos – sua forma não é esférica. Apesar de serem expandidos sequencialmente, de baixo para cima, ao longo de uma vertical, ficam desalinha-dos ou desaprumados e, em geral, sem contato.

(2) Após a pega, o geogROUT, dos bulbos de compressão do solo, via expansão, possui resistência e rigidez muito superiores ao solo envolvente. Conseqüentemente, pode-se considerá-lo um volume rígido, ou seja, praticamente indeformável. Com estas considerações, é evidente que o solo geoenrijecido passe a se comportar como homogêneo, composto por dois materiais distintos: a matriz (solo mole comprimido, confinado e adensado) e o novo volume, expandido com geogROUT seco, que não possui geometria definida. Neste caso, os modelos de homogeneização disponíveis são (Jones, 1975):

- Modelo de Paul (volumes cúbicos)
- Modelo de Paul modificado (volumes esféricos)
- Teoria das misturas (volumes esféricos)
- Equações de Halpin-Tsai (fibras curtas)

As formulações estão apresentadas na Tabela e figura abaixo, onde utilizou-se a notação: E_s = módulo do solo comprimido, adensado e confinado entre os bulbos; E_g = módulo do geogROUT endurecido; E = módulo do meio homogêneo equivalente; R_s = razão de substituição.

Tabela: Homogeneização da rigidez do solo.

Modelo	Módulo Equivalente	Observações
Paul	$E = \frac{E_s}{1 - R_s^3}$	Volumes cúbicos infinitamente rígidos
Paul modificado	$E = \frac{E_s}{1 - 1,24 R_s^3}$	Volumes cúbicos infinitamente rígidos Válido por $R_s < 52,4\%$
Teoria das Misturas	$E = \frac{(b-1)R_s + 1}{R_s b + 1 - R_s} E_s$	$b = \left(\frac{E_g}{E_s} \right)^{1/2}$
Halpin-Tsai	$E = E_s \frac{1 + \zeta \eta R_s}{1 - \eta R_s}$	$\eta = \frac{E_g/E_s - 1}{E_g/E_s + \zeta}$

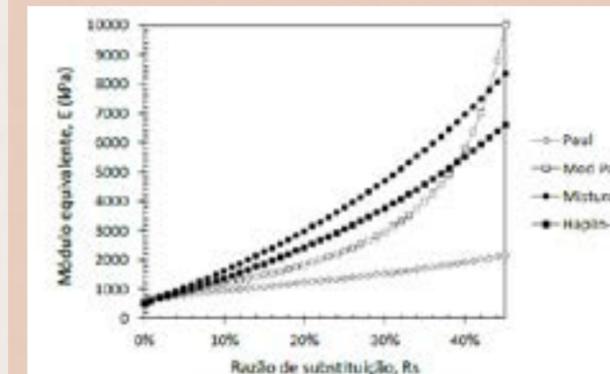


Figura 5: Módulo equivalente obtido pelos métodos ilustrados na tabela, considerando os seguintes dados: $E_s = 500$ kPa, $E_g = 200$ MPa, $\zeta = 15$.

Toda a sistemática do cálculo do melhoramento do solo e parâmetros associados, são obtidos no livro "Projeto, Execução e Controle do geoenrijecimento", que pode ser obtido no site www.engegraut.com.br > divisão de solos > na sessão "livros" > Projeto, Execução e Controle do geoenrijecimento.

As velocidades do recalque são obtidas introduzindo-se – de acordo com sua definição – o coeficiente de adensamento equivalente, $c_{v,eq}$, calculado combinando-se a permeabilidade vertical e o módulo oedométrico equivalentes, obtendo-se:

$$c_{v,eq} = E_{oed,eq} \frac{k_{v,eq}}{\gamma_w}$$

onde:

$E_{oed,eq}$ = módulo oedométrico equivalente

$k_{v,eq}$ = permeabilidade vertical equivalente

w = peso específico da água

Desta maneira, o adensamento e a evolução dos recalques, com o tempo, ficam totalmente resolvidos. Para efeito de cálculo, pode-se tomar, prudentemente, $k_{v,eq} = 1,5k_{vo}$, de modo a conduzir-se a uma análise simplificada.

O FATOR DE REDUÇÃO DO RECALQUE

Para a estimativa do fator de redução do recalque, β , vale as seguintes considerações:

(1) O processo de expansão de cavidades do geoenrijecimento, promove o adensamento do solo, com deformação volumétrica que pode ser estimada diretamente pela seguinte equação:

$$\epsilon_v = \frac{\Delta e}{1 + e_0} = \lambda_c R_s$$

(2) O módulo de deformabilidade depende do nível de deformação imposta ao solo. Consequentemente, introduzindo um parâmetro que representa a compressibilidade da argila, isto é, $b = 2,3/CR$ – onde $CR = C_c / (1 + e_0)$ – o ganho de rigidez é estimado pela formulação:

$$E_s = E_0 \exp(b \epsilon_v)$$

(3) O geogROUT ou argamassa seca especial é mais dura e rígida que o solo. Como resultado, é considerado, praticamente, indeformável, ou seja, para efeito de cálculo sua rigidez é infinita.

(4) Após o geoenrijecimento, o solo passa a se comportar como um meio compósito, consti-

tuído por dois materiais: o solo (a matriz) e os volumes geogROUT (bulbos). A rigidez equivalente é calculada pela equação de Halpin-Tsai (Tab 3.3) obtendo-se:

$$E = E_s \frac{1 + \xi R_s}{1 - R_s}$$

Portanto, o fator de redução de recalques, β , é expresso por:

$$\beta = \frac{1 + \xi R_s}{1 - R_s} \exp(b \lambda_c R_s)$$

Para fins de cálculo, são necessários quatro parâmetros, dos quais dois (R_s e b), são dados de projeto que possuem alto grau de confiabilidade. Os outros dois (λ_c e ξ) dependem do método executivo.

Tabela: Publicações sobre geoenrijecimento de autores diversos:

Obra de geoenrijecimento	Autores	titulo da publicação	Tipologia de trabalho
Rodoanel, SP	No-gueira (2010)	Estudo de algumas soluções de tratamento de solos moles para construção de aterros no Trecho Sul do Rodoanel- SP	Dissertação USP
Parque dos Atletas, RJ	Riccio et al. (2013)	Ground improvement in soft soil in Rio de Janeiro: the case of the Athletes Park	Paper internacional
Anhanguera, SP	Monteiro et al. (2014)	Análise do desempenho de aterros rodoviários construídos sobre solos moles tratados com a técnica de Consolidação Profunda Radial (CPR)	Paper COBRAM-SEG
Aterro Teste, RJ (Recreio dos Bandeirantes)	Chavão (2015)	Avaliação da eficiência da técnica de consolidação profunda radial CPR Grouting no tratamento de solos compressíveis	Dissertação UERJ
Porto de Navegantes, SC	Sandoval (2016)	Avaliação da técnica da consolidação profunda radial aplicada em solo mole na margem do Rio Itajaí- Açú/SC- Estudo de caso baseado em ensaios geotécnicos	Dissertação UFPR
Recreio dos Bandeirantes, RJ	Faria et al. (2016)	Análise da eficiência de uma fundação de aterro tratada com injeção de argamassa e drenos verticais (técnica CPR)	Paper COBRAM-SEG

Sugere-se uma revisão detalhada dos resultados publicados sobre o geoenrijecimento, objetivando-se formar um banco de dados maior, a ser comparado com a previsão feita pelo Método do Meio Homogêneo Equivalente. Este tipo de análise comparativa, entre teoria e dados reais, otimizará ainda mais caracterizar o comportamento global de aterros construídos sobre solos geoenrijecidos, com CPR Grouting, validando-se o melhor método de cálculo proposto. Nos últimos anos, foram publicados relatos de obras, artigos científicos e dissertações de mestrado, sobre o geoenrijecimento, avaliando-se seu desempenho, através de importantes obras de melhoramento de solos moles, realizadas em todo o Brasil. Selecionou-se trabalhos acadêmicos e artigos científicos publicados por diversos autores. Com a análise dos dados disponíveis, realizou-se estudo com diversos casos de obras importantes, conforme planilha ao lado. A Figura, a seguir, mostra que valores medidos, do fator de redução de recalques, β , são corretamente previstos pelo Método do Meio Homogêneo Equivalente, adotando-se os seguintes valores para os parâmetros: $b = 10$ e $\xi = 10$. Em geral, b varia entre 6 e 10, enquanto ξ varia entre 10 e 15.

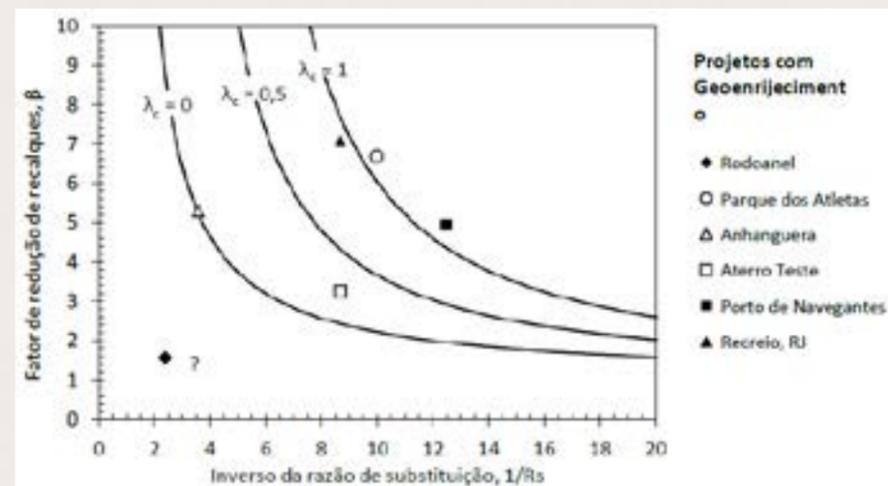


Figura 6: Fator de redução de recalques em função da razão de substituição e do fator de redução de volume devido ao adensamento. ($b = 10$; $\xi = 10$).

OBSERVAÇÃO

Toda a sistemática do cálculo do melhoramento do solo e parâmetros associados, são obtidos no livro "Projeto, Execução e Controle do geoenrijecimento", que pode ser obtido no site www.engegraut.com.br/divisao-de-solos/ na sessão "livros" > "Projeto, Execução e Controle do geoenrijecimento".

REFERÊNCIAS

- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12007 (MB 3336): Solo - Ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682. Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro: ABNT, 1991b.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 128. Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro: ABNT, 1991b.
- Projeto, execução e controle do CPR Grouting. Eng.º M.Sc Alessandro Cirone.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT- Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2001a.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT- Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2001b.
- ALENCAR JR., J.A.; FRAIHA NETO, S.H.; SRÉ, A. R.; MENDONÇA, T. M. Características geotécnicas de algumas argilas moles e médias na cidade de Belém do Pará. Encontro "Propriedades de Argilas moles e médias na cidade de Belém do Pará. promovido pela COPPE/UF RJ, 2001.
- ALMEIDA, M. S. S. The Undrained Behaviour of the Rio de Janeiro Clay in the Light of critical State theories. Solos e Rochas, v. 5, p.3-24,1982
- ALMEIDA, M. S. S. Stage constructed embankments on soft clays. 1984. Tese (Doutorado) - Universidade de Cambridge, Inglaterra, 1984.
- RIXNER, J. J.; KREAEMER, S. R.; SMITH, A. D. Prefabricated vertical drains. v. 1. Federal Highway Administration, Relatório FHWA - RD-86/168. Washington, DC, EUA, 1986.

Eng^o Patricia Tinoco

Melhorando solo contaminado com interrupção de recalques em uma indústria

Uma tradicional empresa multinacional, que fornece produtos e serviços relacio-

nados à setores de negócios de autenticação, pagamento e acesso seguro, situada em Sorocaba, São Paulo, após sua construção, começou a apresentar recalques em diversos setores industriais, como o de confecção, salas seladoras, off-

-set circuito, eletrodeposição, serigrafia e off-set indutivo, obrigando o renivelamento periódico de extensas máquinas, que necessitavam estar 100% niveladas. Com sondagens realizadas, ao longo das regiões afetadas, constatou-se a presença

de camada de aterro, com 2m de profundidade, pouco compactado, seguido de solo argiloso mole, até a profundidade de 9m, responsável pelo comportamento deformativo do solo, devido ao subadensamento da argila mole.



Figura 1: Corredores com altos e baixos e paredes "suspensas" motivado por recalques



Figura 2: Trincas em paredes motivadas por recalque

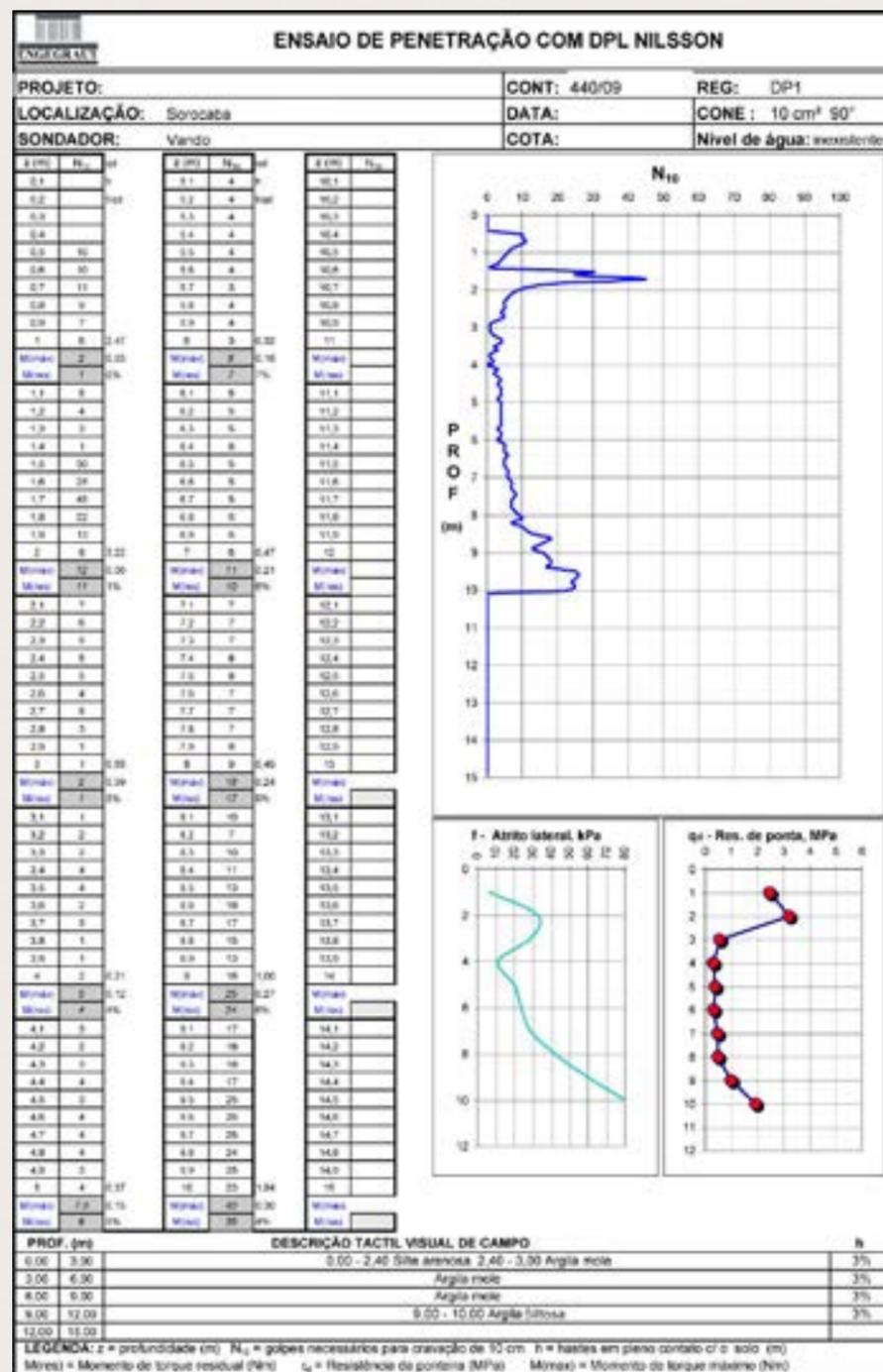


Figura 3: Sondagem típica com teste de penetração de cone (cpt), evidenciando a presença de solo mole sob aterro.

A partir daí, constatou-se solo competente. Ficou evidente, pelo histórico deformativo do piso e equipamentos corrigidos sucessivamente, com pastilhas sobrepostas, objetivando seu renivelamento, para compensar o recalque crescente impostas pelo adensamento



Figura 4: trincas em praticamente todas as paredes



Figura 5: Pisos com afundamentos e paredes "suspensas" devido ao recalque do solo de fundação

primário da argila, tornou-se necessário paralisar os recalques diferenciais, readequando o solo de fundação, às cargas atuantes, através de melhoramento do solo com geoenrijecimento.

A READEQUAÇÃO DO SOLO DE FUNDAÇÃO

O grande desafio, presente neste local, seria adequar o maquinários do geoenrijecimento à locais relativamente confinados, com pouco pé direito e grande restrição, devido à presença de muitos equipamentos. O programa de melhoramento do solo baseou-se, também, no processo de distorção e demais deformações impostas à estrutura da fábrica, no conhecimento das camadas de solo mole e na experiência da empresa executora. Inicialmente, foram cravados geodrenos em locais estratégicos, objetivando a dissipação da poropressão, certamente induzida pela grande umidade nas camadas de solo de fundação, devido a penetração d'água através do piso nas áreas afetadas. Os furos verticais, necessários a formação dos bulbos com argamassa seca, de modo a produzir-se o imprescindível processo compressivo no solo de fundação, viabilizaria o adensamento ou a consolidação



Figura 6: Equipamentos extensos exigiam o renivelamento constante, devido ao recalque crescente do piso.

restante da argila mole, interrompendo os recalques diferenciais atuantes. O geoenrijecimento, em argilas moles, tem como objetivo específico readequar suas características geotécnicas, quanto à rigidez e a resistência. A técnica consiste em fazer pré-furos, cravar geodrenos em malha triangular ou quadrada para, em seguida, executarem-se bulbos de compressão radial no solo de fundação, com geogROUT, via expansão de cavidades, com monitoramento automático do excesso da poropressão, e o ganho de rigidez e resistência com tomografia por



Figura 7: Equipamentos extensos apoiados sobre plaquetas para possibilitar seu nivelamento, provocado por afundamentos nos pisos.

Localização estratégica e eficiência logística geralmente estão localizados em terrenos com solos moles.



Melhoramento de solo mole é
GEOENRIJECIMENTO

Entre em contato, para saber mais detalhes a respeito: www.engegraut.com.br

imagem. Os bulbos feitos com geogROUT, uma espécie de argamassa seca, com zero mobilidade, possuem formatos geométricos diversos e são confeccionados de baixo para cima, com tensão e deformação controlados, impostos a cada metro cúbico de solo. Este processo induz o adensamento da argila, ao redor de cada bulbo de compressão, onde o excesso de poropressão, controlado, é dissipado pelos geodrenos. Conseqüentemente, aumenta-se a rigidez e a resistência do solo, ao mesmo tempo que reduz-se a magnitude e o tempo de recalque, quando comparado à condição sem tratamento geotécnico. O solo melhorado, enquadra-se na condição de solo compósito, completamente homogeneizado, com parâmetros geotécnicos pré estabelecidos. Evidentemente, todo o programa de furos no solo, seja para geodrenos, seja para formação das verticais do adensamento da argila mole, é realizado com base na envoltória de recalques, que ocorria ao longo da fábrica, de modo a neutralizá-los. A presença de paredes, equipamentos e demais obstáculos foi considerado. A medida em que se procedia a formação dos bulbos, que geravam a compressão radial do solo mole e, conseqüentemente, seu adensamento, com a neutralização dos recalques, promovia-se o levantamento dos pisos às cotas originais, quando a formação dos bulbos chegava próximo a superfície, renivelando-se o maquinário. O adensamento sistemático do solo mole, foi monitorado com a instalação de piezômetros, onde constatava-se o excesso natural de poropressão existente, em diversas profundidades, seguindo-se de sua dissipação, induzida pelos geodrenos. Após a execução dos serviços, considerou-se a quantidade de bulbos formados e a conseqüente expansão de cavidades, inclusive com a chegada à superfície de bolsões d'água acumulados em diversas profundidades, conjuntamente com a confirmação da equipe de monitoramento que efetivava o controle de recalques.



Figura 8: Desníveis nos pisos, no setor de caldeiras, com deslocamento do revestimento e formação de vazios sob as paredes e sob os equipamentos que, constantemente, eram renivelados com plaquetas.

REFERÊNCIAS

•Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.

The logo for Soft Soil Brazilian Institute (SSBI) features the letters 'SSBI' in a bold, sans-serif font. The 'SS' is green, and the 'BI' is white with a green outline, all set against a dark green rounded rectangular background.

**SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE**

O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você e sua obra sobre solos moles

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias sofisticadas. Cada obra é um caso específico que exige solução diferenciada. Saiba como dimensionar o Geoenrijecimento do solo mole, através de planilha exclusiva. Basta acessar o link:

http://www.engegraut.com.br/geoenrijecimento/MC_v1.0.rar

softsoilbrazilianinstitute.com.br



PARCEIROS



GEOKON

SOLUÇÕES CAD BIM

TRUSTED MEASUREMENTS



TROGERTEC

ENGEGRAUT

