

# Soft Soil Brazilian Review

**04** A evolução do melhoramento do solo mole.

**14** Drones, sensores, inteligência artificial e sustentabilidade. Novas tecnologias para melhoramento do solo.

**26** A atualidade do melhoramento do solo mole.

## Consulta - 21

O melhoramento do solo mole, com geoarrijecimento, baseia-se nas teorias da homogeneização e da resistência equivalente, o que garante a qualidade do serviço. Como podemos ter acesso a essas teorias e aos cálculos?

**A EVOLUÇÃO  
DO MELHORAMENTO  
DO SOLO MOLE  
CHEGOU A SUA  
FASE ADULTA  
FORNECENDO  
CONSIDERAÇÕES  
EXPLÍCITAS DE  
SUSTENTABILIDADE  
E DO MÉTODO  
A SE UTILIZAR**



## EDITORIAL

O princípio do desenvolvimento sustentável foi definido no relatório “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como relatório “Brundtland”, publicado em 1987 pela comissão Brundtland, das Nações Unidas, como o “ Desenvolvimento que atende as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de gerações futuras possibilitarem suas próprias necessidades”. Uma definição tão clara, aparentemente simples e lógica de sustentabilidade, deveria fazer parte do princípio de todos e dos diversos setores de nossas atividades. Devido ao enorme impacto que o setor da construção tem no ambiente, quer no nível de consumo dos recursos naturais e energéticos, quer ao nível dos grandes volumes de resíduos produzidos, nosso segmento tem sido chamado para alterar a prática existente. Portanto, é fundamental que pesquisadores e engenheiros geotécnicos, sejam cada vez mais estimulados a encontrar soluções, que atendam aos objetivos do desenvolvimento sustentável. Este número especial, de nossa revista, pretende reunir diferentes contribuições que objetivam maior sustentabilidade na engenharia geotécnica. Boa leitura.

Eng. M.Sc. Joaquim Rodrigues



Rua Correia de Araújo, 131-  
Barra da  
Tijuca  
Rio de Janeiro/ RJ- Brasil- CEP  
22611-070  
Tel: (21) 3851-6218

### EDIÇÃO

DIRETOR EDITORIAL  
Eng° Joaquim Rodrigues

DIRETORES ADJUNTOS  
Eng° Thomas Rodrigues  
Eng° Roger Kim  
Eng° Patricia Tinoco

PUBLICIDADE, ASSINATURA  
Cleide Ferreira

EDITOR DE ARTE  
Victor Peres

REPRINTS EDITORIAIS  
Mariana Tati

### FALE CONOSCO

[softsoilgroup.com.br](http://softsoilgroup.com.br)

@engegraut

(21) 3154-3250

[atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br](mailto: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](mailto:atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br)



A PRIMEIRA E ÚNICA REVISTA DIGITAL GEOTÉCNICA  
ESPECIALIZADA EM SOLOS MOLES

29

Edição - Maio - Junho 2023

## SUMÁRIO

A evolução do melhora-  
mento do solo mole. **04**

Eng. Msc. Joaquim Rodrigues

Drones, sensores, inteli-  
gência artificial  
e sustentabilidade. Novas  
tecnologias  
para melhoramento do  
solo mole. **14**

Eng. Patricia Karina

A atualidade do melhora-  
mento do solo mole. **26**

Eng. Thomas Kim



## CAPA



A evolução do melhora-  
mento do solo mole,  
fornecerá considera-  
ções explícitas de sus-  
tentabilidade, deci-  
dindo-se qual método  
deverá ser empregado.  
Considerações ambien-  
tais e de sustentabilidade  
já são partes importantes  
no processo de decisão.

## SEÇÕES

Editorial **02**

Consulta **21**

Agenda **25**

[softsoilbrazilianinstitute.com.br](http://softsoilbrazilianinstitute.com.br)

# A EVOLUÇÃO DO MELHORAMENTO DO SOLO MOLE

A compreensão da geotecnia do melhoramento de solo mole, chegou a sua fase adulta, desde a introdução sequencial, a partir dos anos 1970, dos termos semelhantes, como tratamento, modificação, reforço e estabilização que, efetivamente, tentaram idealizar a forma de "melhorar" argilas moles com técnicas a base de colunas. A primeira conferência sobre o tema foi o "placement and improvement of soil to support structures", realizada em Massachusetts, em 1968. Em 1990, publicou-se o primeiro livro resumindo todas as par-

ticuliaridades das técnicas em uso. Embora a geotecnia do real melhoramento do solo mole, seja um campo relativamente novo, ainda persistem antigas técnicas à base de colunas ou estacas que, de uma forma ou de outra tentam, ainda, a inatingível consolidação da argila mole, com o pretexto de melhorar as "propriedades" do solo, procurando oferecer mais estabilidade. Vamos entender. A utilização de técnicas a base de colunas, promovem melhoramento de primeira ordem no solo mole, oferecendo pontos de

contato mais ou menos firmes. Esses pontos de contato, "podem" conduzir a efeitos de segunda ordem, como aumento da resistência e diminuição da compressibilidade. Finalmente, este "melhoramento" de segunda ordem, "pode" resultar em efeitos de terceira ordem, como o desejável aumento da capacidade de carga do solo, reduzindo um pouco do recalque original. Ou seja, projeta-se um "melhoramento" do solo mole, com o desejo de fornecer a compreensão dos efeitos fundamentais de primeira ordem, de modo a "induzir" efeitos de segunda e ter-

ceira ordem que, na maioria das vezes, não se obtém. Em resumo, a transferência de futuras cargas para substratos resistentes mais profundos, em pontos específicos, não resolve efetivamente o problema do melhoramento do solo mole, apenas atenua-o. A única maneira de, efetivamente, melhorar argilas moles, para lhe dar a real capacidade de carga para o futuro projeto, com controle absoluto do seu processo de recalque é consolidando-a integralmente, com controle da homogeneidade total do solo, utilizando a tomografia por imagem. Mais precisamente, a desejada capacidade de carga, a ser obtida em solos moles, é obtida por:

Aumento da rigidez do solo (redução / eliminação do recalque)

Aumento da resistência cisalhante (aumento da capacidade de carga)

Eliminação da variabilidade das propriedades do solo mole (eliminação do recalque diferencial e potencial de liquefação).



O estágio inicial do melhoramento do solo mole, iniciando-se a cravação de geodrenos, que possibilita a drenagem da argila saturada.

O futuro, do real melhoramento do solo argiloso mole, com geoenrijecimento, será marcado pela invenção contínua de novos equipamentos, particularmente os de monitoramento do estado da consolidação da argila, obtido por meio de sensores específicos, instalados na ponta do tubo de bombeamento do geogROUT informando, basicamente, todos os parâmetros pertinentes, via dispositivos bluetooth. A inteligência artificial se encarregará de tomar decisões, de maneira automática conectando, também, a sondagens tomográficas por imagem (não invasivas), fornecendo parâmetros de resistência e rigidez. O desenvolvimen-

to de novos insumos ou geomateriais para elaboração do geogROUT, já começa a dar forma a serviços com custo mais reduzido, viabilizando o serviço de melhoramento de solos moles e, particularmente, com produtos biológicos, agregando desempenho técnico superior ao solo compósito. Historicamen-



Análise pressiométrica para corroborar a tomografia por imagem

te, nossa preocupação é a obtenção de fatores de segurança adequados, a cada projeto, contra ruturas, recalques e movimentos de massa indesejáveis, além do custo reduzido. Recentemente, considerações ambientais e de sustentabilidade tornaram-se parte importante em todo processo de decisões de obras de melhoramento de solos moles.



Geoenrijecimento: Melhoramento do solo mole com análise simultânea do solo.

# BEST SELLER

## MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



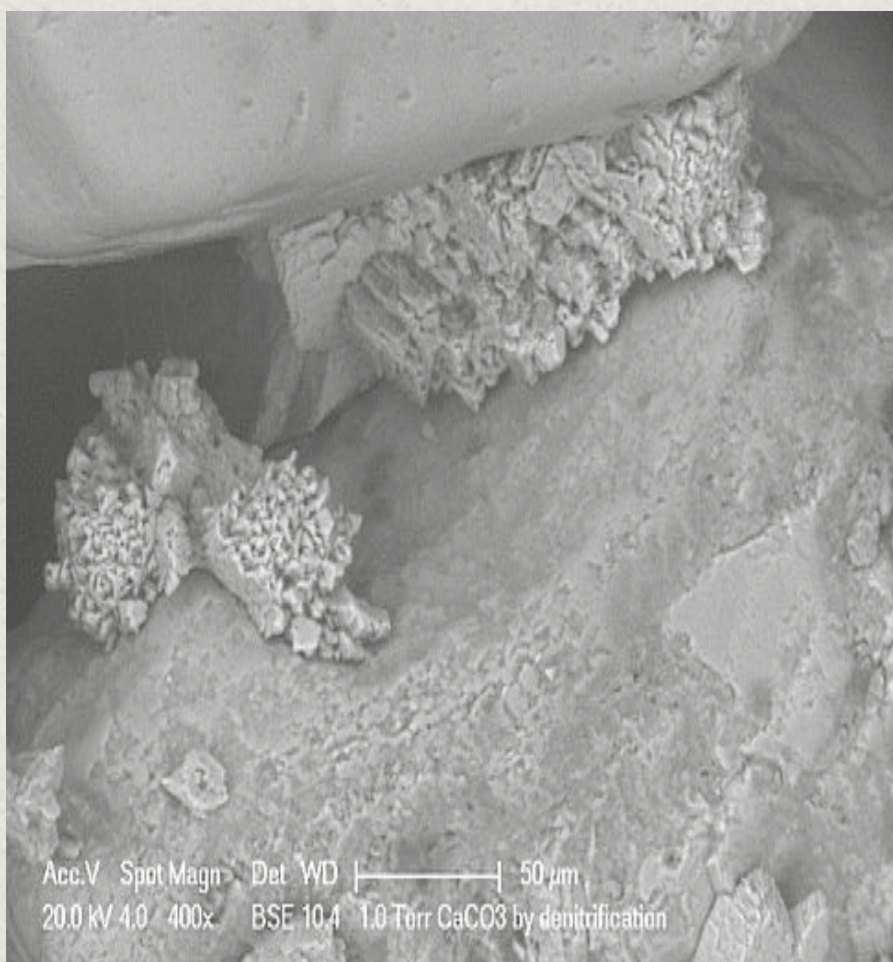
Adquirar seu exemplar através do email [ofitexto@ofitexto.com.br](mailto:ofitexto@ofitexto.com.br) ou pelo site [www.lojaofitexto.com.br](http://www.lojaofitexto.com.br)

## ● O melhoramento biogeotécnico do solo mole

Conhecido também como geotecnologia microbiana, é uma área emergente do real melhoramento do solo mole que combina, sinergisticamente, processos biológicos e geoquímicos, como a precipitação mineral, a geração de biopolímeros, a transformação mineral e a produção de gás, todos processos biomediados com incrível potencial. A figura abaixo, apresenta a utilização da biogeotecnia. Estima-se que existam trilhões de bactérias, por grama de solo, imediatamente abaixo da superfície, ativamente envolvidas no processo de vida e reprodução, inclusive em processos biogeotécnicos naturais que, efetivamente, alteram as propriedades geotécnicas do solo. Evidentemente, já estamos aprendendo com processos biogeotécnicos naturais, que objetivam alterar/modificar as propriedades do solo, incluindo a orientação carbonática de areias fofas e a transformação mineral das argilas esmectitas em ílitas. Em alguns países, já está ocorrendo o desenvolvimento de meios e métodos biogeotécnicos, com escala de estudo de laboratório para campo, produtos da reação e o desenvolvimento de modelos analíticos que incorporam técnicas, tanto com processos biológicos como geoquímicos, além da possível reversibilidade do melhoramento do solo.

### A BIOCIMENTAÇÃO

É conhecida como a produção biológica de substâncias que ligam os grãos do solo, resultando em aumento da resistência ao cisalhamento e a diminuição da compressibilidade. Microrganismos, que vivem subsuperficialmente induzem a precipitação do carbonato de cálcio (calcita), conhecido como biomineralização. A calcita é o novo ligante das partículas de solos arenosos, resultando em mais resistência, rigidez, resistência à liquefação e impermeabilidade. A grande vantagem desta técnica, em relação ao melhoramento do solo com geoenrijecimento, obviamente é que é minimamente invasiva e perturbadora do ambiente do solo, já que a bactéria *Sporosarcina posteriori*, que promove a precipitação microbiana induzida da calcita (PMIC) quebre, por hidrólise, nutrientes como a ureia, resultando em aumento do PH e precipitação do carbonato de cálcio.



Com o esgotamento dos recursos minerais, torna-se necessário desenvolver processos e produtos, de base biológica, para atender a demanda no campo geotécnico do melhoramento do solo mole. A microscopia eletrônica de varredura ambiental (MEVA) de um melhoramento de solo areno-argiloso, utilizando-se cimentação com cristais de carbonato de cálcio, precipitados por micro-organismos, como um subproduto de seu metabolismo.

# FIQUE POR DENTRO DE TODAS AS NOVIDADES DO MEIO GEOTÉCNICO SOLICITANDO SEU WEBNAR

## Conhecimento

Mantenha-se atualizado em relação às tecnologias de melhoramento de solos moles.

## Comodidade

Acesse nossa plataforma de ensino à distância, em seu computador, tablet ou smartphone.

## Feedback

Tire todas as dúvidas com profissionais do mercado, gratuitamente.



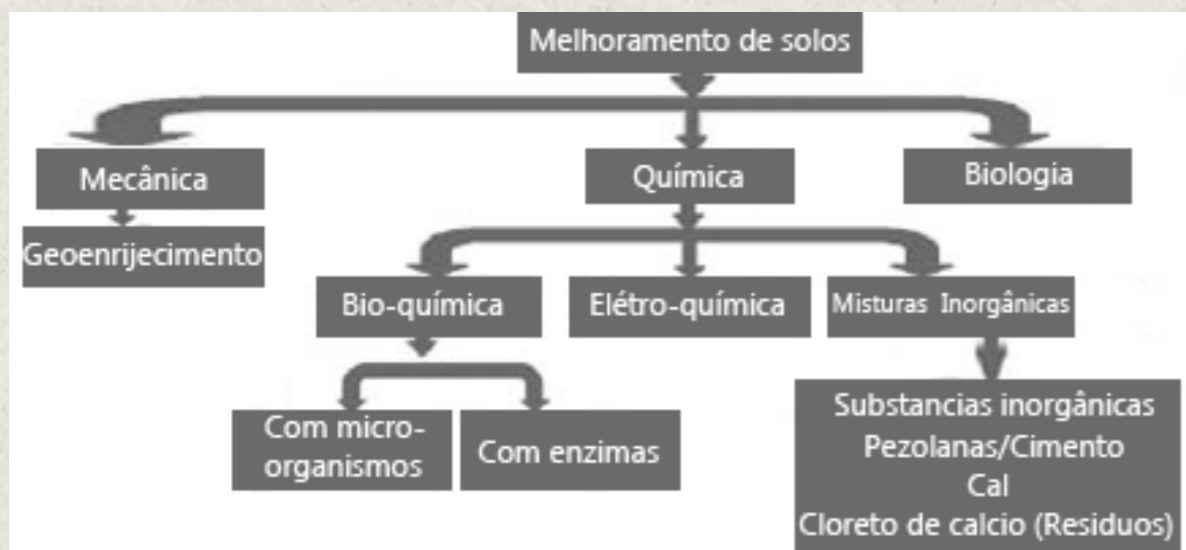
Solicite seu webinar através do número: (21) 99359-9105

Para maiores informações, acesse: <http://www.softsoilgroup.com.br/webinar> ou envie um e-mail para: [atendimento@softsoilgroup.com.br](mailto:atendimento@softsoilgroup.com.br)



## A BIOCOLMATAÇÃO

É a produção biológica de substâncias que reduzem, efetivamente, a porosidade e a condutividade hidráulica do solo. É, portanto, o resultado de diferentes organismos e mecanismos incluindo algas, cianobactérias, bactérias nitrificantes e amonificantes, assim como bactérias que produzem lodo. A utilização de biopolímeros, como a goma guar, goma xantana e alginato de sódio, efetivamente, reduzem a condutividade hidráulica das areias siltosas.



Fluxograma do que esta se tornando a metodologia do melhoramento do solo mole

## Biométodos para eliminar a liquefação do solo

O melhoramento do solo, com geoenrijecimento, é o método mais eficaz para neutralizar a liquefação, particularmente em barragens de rejeitos e em toda a Amazônia. Estudos recentes, demonstram que o melhoramento do solo, biomediado com a PMIC aumentam, sobremaneira, a resistência ao desencadeador da liquefação.



A liquefação do solo é um fenômeno que, frequentemente, atinge barragens de rejeitos e toda a orla portuária da Amazônia.

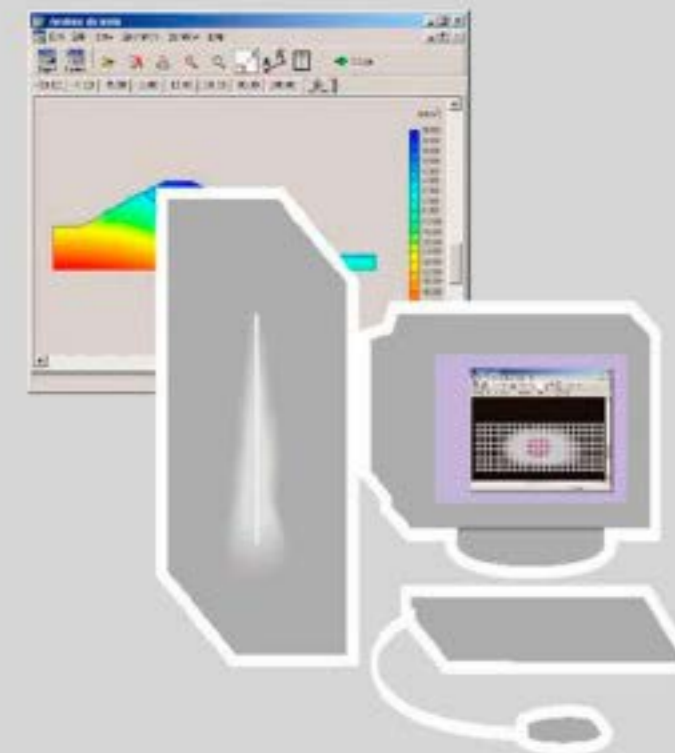
## contaminação de solo?

O segredo do tratamento de solos contaminados está na adequação do processo de compressão, confinamento e adensamento do solo, analisado com piezômetros e imagens tomográficas antes e depois.

Confie em quem tem experiência.



WWW.ENEGRAUT.COM.BR



# Sedimentos de dragagem (SD)

Dragagem de sedimentos é uma operação crítica de manutenção obrigatória, seja para otimizar a navegação marítima global e nacional, seja para desassorear rios, lagoas e canais. Em termos de propriedades físicas e químicas, o SD é completamente diferente da areia empregada na construção, devido a seu conteúdo, seja de sal, metais pesados e muita matéria orgânica, além de substâncias tóxicas, com alto teor líquido (água intersticial). As partículas sólidas incluem areia, silte, argila, conchas e detritos. Metais pesados, comumente encontrados são o mercúrio, cádmio, arsênio, etc., e as substâncias tóxicas são o benzeno, dioxinas, pesticidas, naftaleno, etc. Só para se ter uma ideia, nos EUA, com toda a limpeza existente, remove-se anualmente, aproximadamente 152 milhões de m<sup>3</sup> de SD de hidrovias, canais e lagoas. Em muitos países, SD é considerado lixo. Em outros, apenas 10% do material dragado é utiliza-

No entanto, uma empresa especializada em melhoramento de solos moles, no Brasil, investigou uma inovação que permite utilizar SD, sem os inconvenientes das três barreiras citadas acima. Ou seja, para ser reintroduzido no solo como material não estrutural, promovendo a compressão necessária (expansão de cavidades) para se obter a consolidação da argila mole.



Melhoramento do solo mole no Rio de Janeiro, utilizando-se SD.

do, e o restante lançado ao mar. Em diversos outros países, o SD é utilizado para recuperação de solos. Uma revisão da literatura, nos mostra que há diversas barreiras para, após adequação, utilizar em materiais tipo concreto:

**Dependendo da utilização, o padrão de seleção é rígido o suficiente para impedir sua utilização.**

**A contaminação residual pode impactar o aspecto durabilidade do concreto.**

**A variabilidade do SD, devido a localização espacial, operação de dragagem e seu lançamento, é sempre preocupação, impactando na qualidade exigida.**



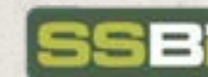
Melhoramento de solos moles, em Manaus, AM, com utilização de SD.

A biogeotécnica é uma sub-disciplina emergente, que inclui processos baseados em bilhões de anos de tentativas e erro, podendo ser utilizados para construir, manter e renovar obras geotécnicas.

## O futuro com a Biogeotécnica



Aplicação via bio geotécnica, para melhoramento do solo.



### REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil M.Sc. formado no Rio de Janeiro em 1977 e pós-graduado pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Diretor do Soft Soil Group e da Engegraut Geotecnia e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu duas técnicas de tratamento de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJECIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil. Possui experiência em mais de 1 milhão de metros quadrados em melhoramento de solos moles.
- Andersland, O.B. and Ladanyi, B., 2003. Frozen ground engineering. John Wiley & Sons, New York.
- ASTM, 2000. ASTM D5778 (04.08). Test method for performing electronic friction cone and piezocone penetration testing of soils. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Baker, W.H., Cording, E.J. and MacPherson, H.H., 1983. Compaction grouting to control ground movements during tunneling. In Underground space (pp. 205–212), Vol. 7. Elmsford, NY: Pergamon Press.
- Christ, M. and Kim, Y.C., 2009. Experimental study on the physical-mechanical properties of frozen silt. KSCE Journal of Civil Engineering, 13(5), (pp.317–324).
- Donohoe, J.F., Corwin, A.B., Schmalz, P.C. and Maishman, D., 2001. Ground freezing for Boston Central Artery contract section C 09 A 4, jacking of tunnel boxes. In 2001 rapid excavation and tunneling conference (pp. 337–344). San Diego, CA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

MELHORAMENTO  
DO  
SOLO MOLE

Eng<sup>a</sup>. Patricia Tinoco

**Drones, sensores, inteligência artificial e sustentabilidade. Novas tecnologias para melhoramento do solo mole.**

A verificação da qualidade, no processo do melhoramento do solo mole, exige nível significativo de esforço, com testes invasivos e não invasivos que compõe seu monitoramento na condição antes e após. A utilização de drones na construção já é uma realidade, seja monitorando seu avanço de forma meticulosa ou checando a poluição do ar e da água. Trabalhando com sistemas GPS, drones fornecem dados quantitativos, mapeamento fotográfico, fatores de segurança e proteção ambiental. A grande inovação é a utilização de drones para coletar dados, telematicamente, de sensores enterrados, seja do teor de umidade, tensões, deformações, rigidez, poropressão e movimentos de massa em solos pré e pós melhorados. Neste processo, sensores são previamente instalados, transmitindo seus dados (as vezes sem fio), por meio de sistemas de aquisição de dados e finalmente processando o sinal e análise dos dados. Os novos sensores incluem também análises químicas e sistemas a base de sonares, para monitorar início de rutura no solo, movimentos de massa e erosão interna. O mais interessante



são os sensores que analisam gráficos tomográficos por imagem (que já se faz hoje), atestando a evolução da consolidação do solo mole, a partir do início do geoenrijecimento, aferindo resistência e rigidez de maneira totalmente não invasiva, analisando-se, de uma vez, grandes volumes de solo, o que descarta, definitivamente, sondagens pontuais. Com inteligência artificial, computadores informarão que não é necessário expandir cavidades além de um determinado nível de energia, para comprimir radialmente o solo, economizando serviço. O nível de precisão da tomografia por imagem será tal que poderá analisar a extensão do princípio de uma rutura, antes do melhoramento do solo e, posteriormente ao serviço, atestar que já não há



Não está longe o controle dos estaqueamentos por tecnologia de realidade virtual, com conhecimento simultâneo da melhoria do solo mole.



Drones, com inteligência artificial, avaliam todos os setores envolvidos no melhoramento do solo.

Drones, são, efetivamente, robôs, cada vez mais populares, em todos os campos da engenharia, particularmente a geotécnica. Mas, se houvesse uma maneira de automatizar drones, de modo a serem utilizados sem operador humano? É aí que entra a inteligência artificial (IA), utilizada para controlar drones, de modo a voar de forma autônoma, sem operador humano tornando-se ainda mais versáteis. Um método, já comum, é utilizar coordenadas de GPS para programar a rota do seu voo, utilizando-se o software como o google maps ou mesmo um aplicativo de smartfone. Outra maneira de automatizar drones é utilizando reconhecimento de sensores piezométricos, de resistência cisalhante, rigidez, inclinométricos e tomográficos, utilizando-se suas câmeras de alta resolução, navegando em torno em torno para fazer a leitura. A IA é o resultado da aplicação da ciência cognitiva para criar, artificialmente, algo que executa tarefas que somente huma-

mais a antiga linha de rutura. Devido a homogeneização alcançada à medida em que evolui o banco de dados, dos registros de campo, a inteligência artificial informará todos os dados pertinentes à modificação do solo mole, como o tipo de geogROUT ser utilizado, a malha de geodrenos e das verticais de adensamento, assim como o nível de energia da expansão de cavidades a ser empregado, como o volume do bulbo e a pressão da expansão mais econômica, finalizando com o percentual de consolidação obtido, até a ausência total de recalques residuais, em períodos que poderão chegar a algumas horas, após o melhoramento do solo. Em tese, nem ha-



## A MELHOR PERFORMANCE EM INFORMAÇÕES SOBRE MELHORAMENTO DE SOLOS

### O SOFT SOIL GROUP ajuda você a tocar sucessos

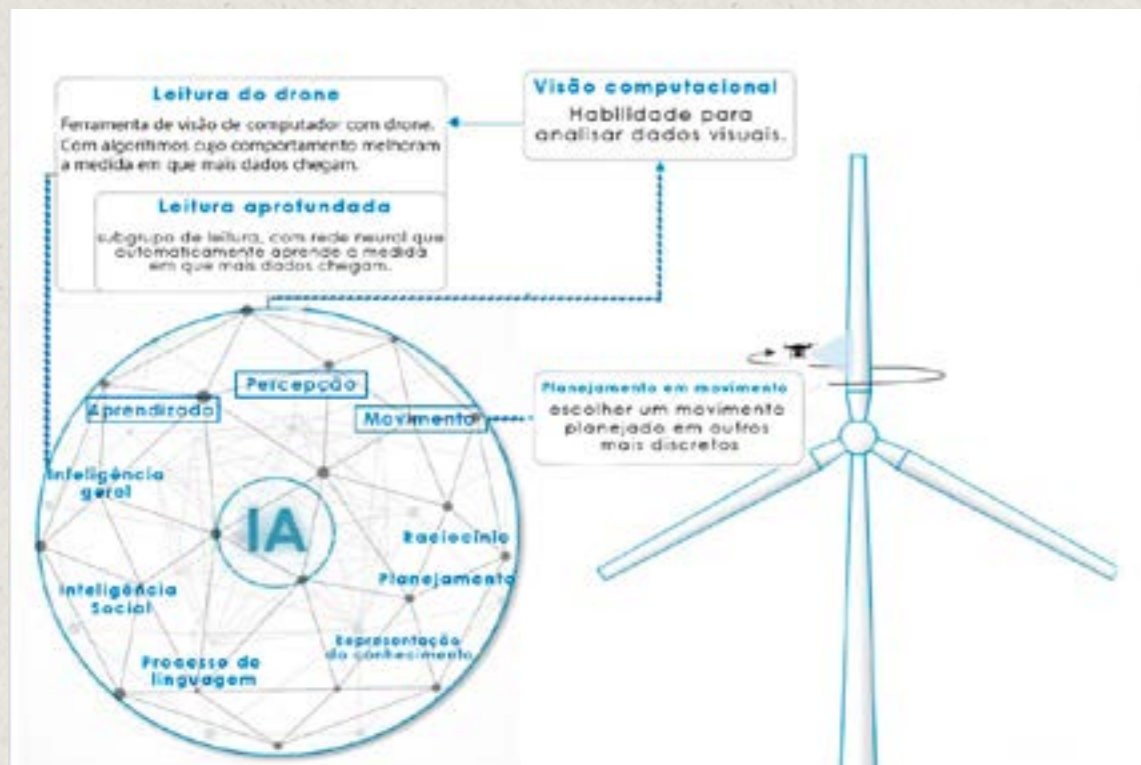
Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias profundas. Cada obra é um caso específico que exige solução específica. Assista nossos Webinars para adquirir informações adequadas e valiosas.



CONTATO: (21)99359-9105

[www.softsoilgroup.com.br](http://www.softsoilgroup.com.br)

nos podem realizar, como raciocínio, comunicação natural e resolução de problemas, com diferentes níveis de complexidade, como por exemplo um projeto de infraestrutura com diferentes níveis e complexidades pertinentes, a canteiros de obras geotécnicos, de melhoramento de solos moles, como encontro de pontes e grandes áreas logísticas. A IA pode facilmente processar dados de sensores, sem necessidade de modelos 3D, combinando com arquivos do projeto. Quando se trata de análise de dados, a maioria dos produtos com tecnologia digital conjugada, e empresas de análise de nuvem não oferecem muito, além da modelagem 3D da região da obra ou do rastreamento das diferenças volumétri-



A IA pode ser utilizada para automatizar o controle de drones, incluindo seu movimento e navegação, utilizando-se uma variedade de métodos incluindo rastreamento com GPS, visão computadorizada, e com algoritmos.

cas na superfície do terreno ou a situação geoespacial, que está sendo melhorado por meio de seleção manual. Em resumo, é simplesmente impossível executar análises de sensores, espalhados por um extenso canteiro de obras, que se estende por vários quilômetros, sem utilização de drones e IA.

## A sustentabilidade do melhoramento do solo mole

Atualmente, o maior desafio que se impõe a engenheiros civis, em todo o mundo, é a concepção e construção de estruturas e infraestruturas sustentáveis. A engenharia geotécnica, como ramo da engenharia civil, já está contribuindo, de maneira significativa, para o desenvolvimento sustentável da indústria da construção, implementando soluções ecologicamente corretas e econômicas. A necessidade de reduzir a exploração de recursos não renováveis é, hoje, inquestionável. Além disso, o aumento da valorização de resíduos, contaminados ou não, e a reutilização de materiais residuais são, sem dúvida, passos importantes para a sustentabilidade ambiental.

O projeto de melhoramento de solos moles, que faz parte de projetos típicos geotécnicos, pode desempenhar papel importante na sustentabilidade do ambiente construído. Estudos de laboratório, efetivados no Rio de Janeiro, a partir de 2005, sobre a substituição parcial ou total do cimento, utilizando-se material cimentício com baixo carbono, como o cimento de argila calcinada, com calcário, para utilização no melhoramento efetivo de depósitos de argilas moles e solos contaminados com zinco e chumbo, melhora a resistência a compressão

do geograut, lembrando que no melhoramento efetivo do solo mole e do solo contaminado, o foco principal é o processo de compressão radial imposto ao solo, que objetiva o processo de consolidação. O aspecto de resistência ou estrutural não é relevante. Outro aspecto importante é a transformação do PH do solo, com característica ácida, para alcalina, o que permite a adsorção de metais pesados na formação de vários hidróxidos metálicos insolúveis.

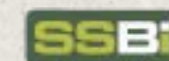
Trata-se, portanto, de remediação verde e sustentável de solos contaminados com zinco e chumbo, tornando-os totalmente seguros e ecológicos. A abordagem tripla de sustentabilidade (econômica, social e ambiental) já é empregada no melhoramento do solo mole, com o geoenrijecimento, utilizando-se sedimentos contaminados de dragagens (SCD) onde, com aglomerantes específicos/ reintroduz-se o SCD para o interior do solo mole, encapsulando-o e, ao mesmo tempo, gerando expansão de cavidades necessária à compressão do solo mole e sua consolidação. A natural preocupação do impacto, na água subterrânea, é totalmente descartado por três importantes motivos:

O altíssimo processo de compressão radial, imposto à argila mole, remove a água subterrânea da região do melhoramento.

A mistura com aglomerantes específicos, encapsula a matriz contaminante, isolando-a completamente da ação da água subterrânea.

Ao final do serviço, a espessa camada de solo argiloso mole, torna-se um rígido maciço silto-argiloso, com níveis altíssimos de resistência e impermeabilidade.

O melhoramento efetivo do solo mole, nestes últimos 30 anos mudou, radicalmente, o paradigma geotécnico da percepção da argila mole e, o mais importante, continua a evoluir de maneira econômica, segura e sustentável.



### REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira geotecnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Konrad, J.M., 2002. Prediction of freezing-induced movements for an underground construction project in Japan. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(6), 1231–1242.
- Konrad, J.M., 2008. Freezing-induced water migration in compacted base-course materials. *Canadian Geotechnical Journal*, 45(7), 895–909.
- Krahn, J., 2004. Thermal modeling with TEMP/W: an engineering methodology. Calgary, Canada: GEO-SLOPE.
- Lacasse, S., 2013. 8th Terzaghi Oration Protecting Society from landslides—the role of the geotechnical engineer. In *Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering*, Paris (pp. 15–34).
- Lyman, A.K.B., 1941. Compaction of cohesionless foundation soils by explosives. In *Proceedings of the American society of civil engineers*, Vol. 67, No. 5 (pp. 769–780). New York, NY: ASCE.

# Diminuir incertezas gera mais SEGURANÇA

variações do clima trazem muitas incertezas e problemas para a realização de obras e são responsáveis por + de 15% dos atrasos e aumentos de custos no setor.

## Sistema para gestão de risco de impacto climático no planejamento e execução de obras



Aumente a produtividade e reduza custos durante a ocorrência de chuvas com previsão personalizada e alertas de tempestade em tempo real.



<https://www.nimbusmeteorologia.com.br/>

<https://www.linkedin.com/company/nimbusmeteorologia>

## CONSULTA

O melhoramento do solo mole, com geoenrijecimento, baseia-se nas teorias da homogeneização e da resistência equivalente, o que garante a qualidade do serviço. Como podemos ter acesso a essas teorias e aos cálculos?

O princípio básico do geoenrijecimento do solo mole, é produzir pressões que induzam à consolidação, à medida em que se comprime o solo radialmente, via expansão de cavidades, com argamassa seca, fazendo com que o excesso de poropressão, intencionalmente criado seja, agora, dissipado pela rede de geodrenos pré-fixada. Este forte processo deformativo, imposto no solo, é pré-estabelecido metro a metro, ao longo de verticais, em seu contexto volumétrico, promovendo alterações irreversíveis em sua massa, à medida em que se modificam porções relativas de seu volume. Para tal, estabelece-se dois critérios - o de volume e o de pressão - para a formação dos bulbos de compressão radial do solo, considerando-se a diversidade de camadas existentes, mais ou menos resistentes. Assim, por exemplo, se o programa de cálculo

estabelece o critério de volume de 900 litros e o critério de pressão de 7kg/cm<sup>2</sup> para cada bulbo, significa dizer que, no campo, se o solo está aceitando 900 litros por bulbo, metro a metro, apresenta bastante compressibilidade. Se, por exemplo, surgir uma camada, mais resistente, o que acontecerá é que não será possível expandir os 900 litros, mas, sim, digamos 500 litros. Automaticamente adotar-se-á o critério de pressão até obter-se os 7kg/cm<sup>2</sup> naquele bulbo de 500 litros, e assim sucessivamente. Os dois critérios devem ser atendidos. O objetivo conceitual do geoenrijecimento é a homogeneização completa do depósito de solo mole, estabelecendo-se novos parâmetros geotécnicos. A análise do projeto, no geoenrijecimento do solo mole, assume que cargas verticais cisalhantes sejam integralmente suportadas pela massa de solo homogeneizado, através das seguintes proposições:

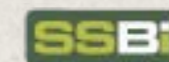
Desenvolve-se verticais, com bulbos que comprimem radialmente o solo mole em meio drenante artificial previamente imposto, estabelecendo-se o conceito de célula unitária.

Estabelece-se a razão de substituição, função do volume necessário dos bulbos que comprimem radialmente o solo, via expansão de cavidades.

A célula unitária é deformada, com conseqüente aumento da resistência e rigidez do solo, induzindo-se tensões positivas, o estabelecimento da resistência equivalente e, finalmente, obtém-se o conceito de solo homogeneizado.

## A teoria da homogeneização

O comportamento do solo mole, após o geoenrijecimento apresenta novos parâmetros geotécnicos, motivado pelo (1) adensamento, induzido pelo processo sequencial de expansão de cavidades, que promove ganho de rigidez no solo, modificando seu estado de



### Medidor de Recalques com Alta Sensibilidade

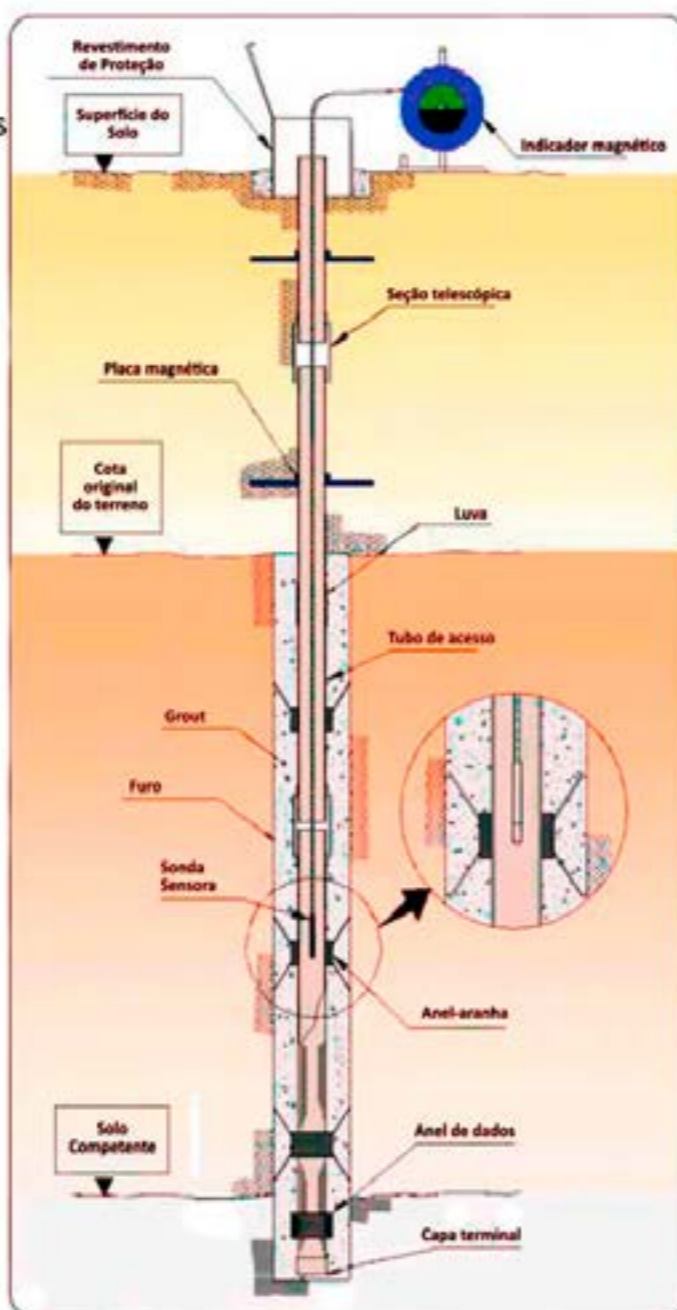
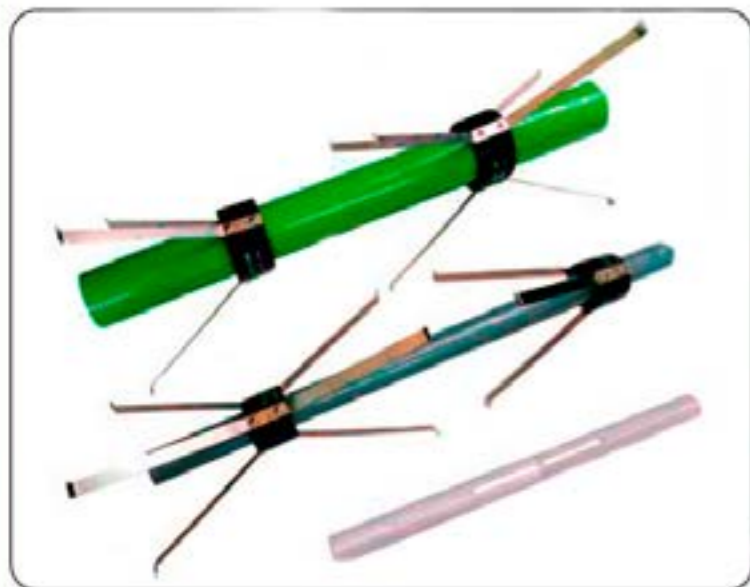
O medidor de recalques com alta sensibilidade consiste em uma série de vasos contendo sensores de nível de fluido interligados por um tubo cheio de líquido. Um vaso de referência é posicionado em um local de referência estável associado a sensores adicionais posicionados em locais diferentes, aproximadamente na mesma elevação. O recalque diferencial, ou levantamento, entre qualquer um dos sensores, resulta na variação de nível do líquido dentro dos tubos. O sistema é particularmente apropriado para situações críticas onde altas resoluções são necessárias. É possível detectar oscilações de elevação de até 0,02mm, aproximadamente.

Para maiores informações, acesse: [www.rogertec.com.br](http://www.rogertec.com.br) ou [atendimento@rogertec.com.br](mailto:atendimento@rogertec.com.br)



# Você conhece as Aranhas Magnéticas?

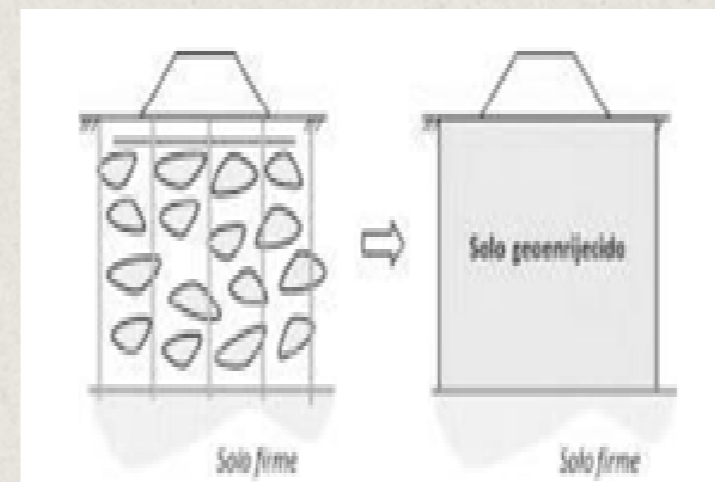
O acompanhamento do recalque em profundidade possibilita, além da definição direta das camadas de fundação, que controlam recalques do aterro, ou de uma construção, quantificar, no campo, os parâmetros do solo, tal como  $c_v$ , que controlam sua evolução.



Em profundidade, os deslocamentos verticais são quantificados a partir da instalação de aranhas magnéticas, também conhecido como sensores magnéticos, que possuem forma de um cilindro vazado, instalados em tubos guia de PVC que, por sua vez, são instalados em furos de sondagem previamente executados.

Durante a instalação desses sensores, as hastes são fechadas e amarradas (laço) por um fio de plástico, o que permite fazer o deslocamento do instrumento, pelo espaço entre as paredes do tubo guia e do furo, até a profundidade definida em projeto, quando, o laço é solto e as hastes se abrem, fixam-se no solo mole adjacente. O acompanhamento dos deslocamentos é feito por meio de um torpedo que, no interior do tubo guia, acusa a presença do sensor quando passa na profundidade em que este encontra.

tensões e suas características de resistência e rigidez; (2) conjunto formado pelos bulbos de compressão radial, via expansão de cavidades, que estabelece condição de solo comprimido, confinado e adensado, comportando-se como um compósito, em que a fase geogroud é o "grupo" e a fase solo é a "matriz"; (3) geodrenos instalados, que aceleram o processo de adensamento reduzindo, enormemente, o tempo do recalque. Em uma microescala, o solo geoenrijecido assemelha-se a um volume heterogêneo. Se considerarmos, no entanto, uma macroescala, o que tipicamente coincide com as dimensões do aterro, o solo geoenrijecido torna-se homogêneo.



A homogeneização enquadra-se perfeitamente no cálculo do geoenrijecimento

O Método do Meio Homogêneo Equivalente, MHE, é uma ferramenta de cálculo inovadora, que utiliza parâmetros equivalentes de rigidez, resistência e permeabilidade, atribuídos ao volume de solo geoenrijecido. A modelagem geotécnica é efetuada, de forma rápida e precisa, prevendo-se o comportamento do solo geoenrijecido, a partir desses parâmetros. A complexa geometria dos bulbos (observando-se que são disformes e dispersos dentro da massa de solo mole), a presença de geodrenos verticais e o solo adensado, comprimido e confinado, entre bulbos de geogroud, serão abordados pela técnica da homogeneização, a seguir.

## A resistência equivalente

A resistência é calculada com base no método da homogeneização, propostos por Omine et al. (1999) e Wang et al. (2002). A hipótese fundamental, assenta-se no conjunto solo + bulbos, comportando-se como um meio elástico-perfeitamente plástico, onde o "grupo" (bulbos) é disperso dentro da matriz (solo). Desta forma, a resistência não drenada do meio equivalente, é obtida ponderando-se as resistências de seus componentes, com as seguintes expressões:

$$s_{u,eq} = \left[ f_c \frac{R_S}{2b_r} + s_u(1 - R_S) \right] (R_S b_r + 1 - R_S) \quad (5.10)$$

$$b_r = \left( \frac{f_c}{2s_u} \right)^{1/2} \quad (5.11)$$

$s_{u,eq}$  = resistência não drenada equivalente (meio homogêneo)

$R_S$  = razão de substituição

$s_u$  = resistência não drenada do solo entre bulbos (equação 5.4)

$f_c$  = resistência à compressão do geogroud

$b_r$  = índice de resistência

## A planilha de cálculo

Elaborada pela Equipe de Projetos da Engegraut Geotecnia e Engenharia, detentora da patente do geoenrijecimento, a planilha de cálculo para dimensionamento do geoenrijecimento de solos moles, com CPR Grouting, está disponível no link: <http://www.engegraut.com.br/planhadimensionamento>. O programa foi especialmente desenvolvido para calcular o geoenrijecimento de depósitos de solos moles com CPR Grouting, utilizando-se o Método de Meio Homogêneo Equivalente. O usuário utilizará, como dados de entrada, os parâmetros do solo mole a ser enrijecido. De forma automática, o programa apresentará os resultados obtidos, que poderão ser visualizados em impressos para facilitar a elaboração da memória de cálculo.

Um exemplo:

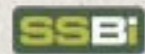
A resistência não drenada de um solo mole, obtida a partir do ensaio de palheta in situ, é  $s_u = 12$  kPa. Os valores do índice de compressão e índice de vazios, obtidos em ensaios de adensamento, são  $C_c = 1,51$  e  $e_0 = 3,26$ . Opta-se por geoenrijecê-lo, adotando-se razão de substituição  $R_S = 15\%$ . Considerando-se o fator  $c = 0,65$ , obtém-se:

$$s_u = s_0 \exp \left( 2,3 \lambda_c R_S \frac{1 + e_0}{C_c} \right)$$
$$= 12 \times \exp \left( 2,3 \times 0,65 \times 0,15 \times \frac{1+3,26}{1,51} \right) = 22,6 \text{ kPa}$$

No projeto foi especificado geogrut com resistência à compressão de 10Kg/cm ou 1000 kPa. Portanto, o valor final da resistência equivalente ( $s_{u,eq}$ ) resulta:

$$b_r = \left( \frac{f_c}{2s_u} \right)^{1/2} = \left( \frac{1000}{2 \times 22,6} \right)^{0,5} = 4,7$$
$$s_{u,eq} = \left[ 1000 \times \frac{0,15}{2 \times 4,7} + 22,6(1 - 0,15) \right] (0,15 \times 4,7 + 1 - 0,15)$$
$$= 54,7 \text{ kPa}$$

Estes cálculos foram feitos com base na teoria da homogeneização. A figura, a seguir, apresenta a comparação direta desta teoria com os limites superior (modelo de Voigt) e inferior (modelo de Reuss), obtidos com regras de mistura.



### REFERÊNCIAS

- ÅHNBERG, H. (2006). Effects of consolidation stresses on the strength of some stabilized Swedish soils. Ground Improvement, Vol. 10, No. 1, pp. 1-13.
- BARATA, F. E. e DANZIGER, B. R. (1986). Compressibilidade de argilas sedimentares marinhas moles brasileiras, em Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Porto Alegre, pp. 99-112.
- CALIFORNIA Department of Transportation (2012). Aggregate Base Enhancement with Biaxial Geogrids for Flexible Pavements Guidelines for Project Selection and Design. California Department of Transportation, Sacramento, CA
- CIRONE, A. (2016a). Aterros sobre solos moles enrijecidos com CPR Grouting: análise simplificada, COBRAMSEG 2016, Belo Horizonte - MG.
- DUNCAN, J.M. and WRIGHT, S.G. (2005). Soil Strength and Slope Stability. Wiley, Hoboken, N
- JEWELL, R.A. (1988). "The mechanics of reinforced embankment on soft soils." Geotext. Geomembr.
- MAGNAN, J. (1994). "Methods to reduce the settlement of embankments on soil clay: A review." In Foundations and Embankments Deformations, Geotechnical Special Publication No. 40, ASCE, Washington, DC, 77-90. br., 7: 237-273.

## AGENDA - 2023

### Jornada de Engenharia de Fundações: Engenharia de Fundações na Região Norte: execução e instrumentação.

Local: Canal ABMS  
Data: 28/06/2023

Finalizando a Jornada com o Norte, o engenheiro Gabriel Luís Soto Banha palestrará sobre "Engenharia de Fundações na Região Norte: execução e instrumentação", no dia 28/6, às 18h.



### Workshop Solo Grampeado.

Local: Instituto de Engenharia São Paulo

Data: 07/06/2023

Tema: Workshop Solo Grampeado - 20 anos depois!

Palestrantes: a definir



### Regeo/Geossintéticos23

Local: Bahia  
Data: 18/07/2023

As inscrições estão abertas para interessados em participar do Regeo/Geossintéticos 23. O X Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e o IX Congresso Brasileiro de Geossintéticos serão realizados nos dias 18 a 21 de julho de 2023 em Salvador, Bahia.



## XXVI Congreso Argentino de Mecánica de Suelos

Local: Argentina  
Data: 30/08/2023

XXIV Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica A Sociedade Argentina de Engenharia Geotécnica em parceria com a Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta (UNSa), a Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Salta (UCASAL) e com o Consejo Profesional de Agrimensores, Ingenieros y Profesionales Afines de Salta (COPAIPA) promovem o Congresso Argentino de Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica.



## World of Digital Built Environment 2023

Data: 19/09/2023

O World of Digital Built Environment 2023 (WDBE 2023) será realizado nos dias 19 e 20 de setembro, em uma jornada entre Tallin, na Estônia, e Helsinque, na Finlândia.



2

## GEOSUL 2023

Local: Ponta Grossa  
Data: 22/11/2023

O XIII Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul (GEOSUL), tradicional evento da ABMS, está com as inscrições com desconto abertas até 31/10. Organizado pelo Núcleo Regional Paraná-Santa Catarina da ABMS, com o apoio do Núcleo Regional Rio Grande do Sul, o Congresso será realizado entre os dias 22 e 25 de novembro de 2023, em Ponta Grossa (PR).



## SEFE 10

Local: Pro Magno Centro de Eventos, São Paulo  
Data: 04/12/2023

O SEFE 10 é um evento de grande importância para a área de engenharia de fundações e geotecnia. Organizado pela ABEF (Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia), com apoio da ABMS, o evento será realizado no Pro Magno Centro de Eventos, em São Paulo, de 4 a 7 de dezembro de 2023.



3

# A ATUALIDADE DO

# MELHORAMENTO DO SOLO MOLE

Eng<sup>o</sup>. Thomas Kim

**M**odificar solo mole não é uma ideia nova. A via Ápia, estrada romana, existente até hoje, na Itália, executada com melhoramento do solo, utilizando-se adição de cal, é o exemplo mais espantoso. Os termos “reforço do solo”, “Modificação do solo” e, finalmente, “melhoramento do solo”, além de outros existentes surgiram a partir dos anos 1970. A primeira conferência sobre o tema foi “Lançamento e melhoramento do solo para suportar estruturas” realizada em Cambridge, Massachusetts, em 1968, patrocinada pela American Society of Civil Engineers, ASCE. O primeiro livro a respeito do assunto foi o “Engineering principles of ground modification” de Momfred R. Housmann, lançado

em 1990. Os cursos universitários, a respeito do assunto começaram, praticamente, na mesma época. Percebe-se, portanto, que a geotecnia do melhoramento do solo é um campo relativamente novo na engenharia. Hoje podemos entender que melhorar solos moles significa revigorar seus parâmetros geotécnicos, diferentemente da concepção da “conference on soil improvement”, de 1978, que nos posicionava que, quando encontrássemos solos em condições precárias, a solução seria “tratar o solo para melhorar sua performance”. Bem genérico, não? Moseley e Kirsch, em sua segunda edição de seu livro “ground improvement”, em 2004, afirmava “todas as técnicas de melhoramento de solos visam melhorar suas ca-

racterísticas, objetivando requisitos de projeto, como o aumento de sua densidade e resistência cisalhante, de modo a melhorar sua estabilidade, reduzir sua compressibilidade, influenciando sua permeabilidade para reduzir e controlar a água do solo” ou aumentar a taxa de consolidação ou melhorar a homogeneidade do solo. O livro “melhoramento do solo mole e o geoenrijecimento”, lançado em 2018, finalmente definiria, de maneira precisa, dois objetivos básicos para se escolher a técnica de melhoramento, já que todos objetivam “melhorar o solo mole”, tornando-o um solo compósito. São eles:

Oferecer estabilidade, reduzir a compressibilidade a níveis toleráveis de recalque, apresentando baixa eficiência e, conseqüentemente, continuidade dos recalques.

Oferecer estabilidade, eliminar a compressibilidade (e o recalque), como consequência da eficiência próxima a 100%, não havendo recalque residual pós serviço.

Por outro lado, dever-se-á avaliar dois outros estágios necessários:

Definir o comportamento final do solo melhorado, de acordo com as necessidades do futuro projeto.

Identificar a principal característica comportamental final do solo melhorado, fundamental ao projeto, através de sondagens específicas a base de deformação tipo tomografia por imagem, pressiômetro ou provas de carga.

Estes dois últimos estágios parecem simples e lógicos, no entanto, é o questionamento básico para se preparar o terreno para o futuro empreendimento. Um aspecto bastante rotineiro, normalmente consequência da escolha incorreta do sistema de melhoramento do solo, é a surpresa ao se constatar um estado de recalque existente em um empreendimento que, muito frequentemente, comprometerá sua performance. A nível de mercado, definia-se duas estratégias para se adequar terrenos com solos moles. A

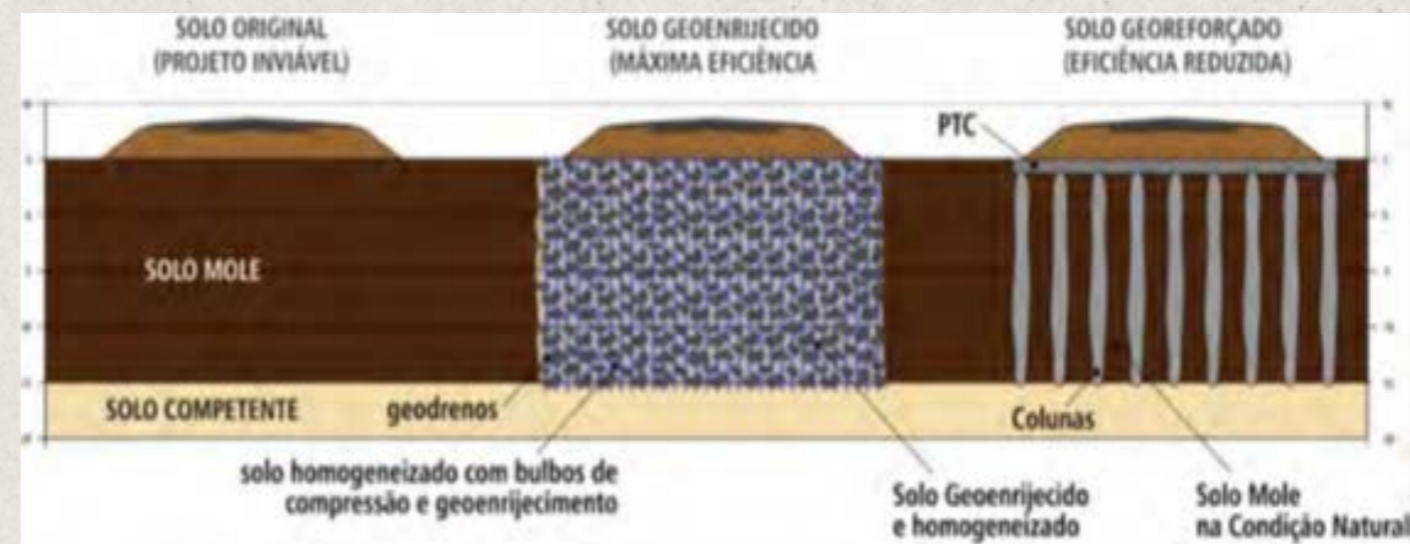
# Soft Soil Group Apresenta

## Webinars solos moles

Para maiores informações, acesse: <http://softsoilgroup.com.br/webinar>  
envie um e-mail para: [atendimento@softsoilgroup.com.br](mailto:atendimento@softsoilgroup.com.br)  
ou entre em contato pelo número: (21)99359-9105



primeira, efetivamente modifica as características geotécnicas do solo mole com o geoenrijecimento. A segunda, por georeforço, transfere as futuras cargas para camadas resistentes, necessariamente utilizando plataformas de transferência de cargas (PTCs), com material granular, traçado com geogrelhas. A seguir, as duas metodologias esquematizadas:



Corte esquemático com as duas metodologias de tratamento de solos moles.

A seleção da estratégia precisa considerar condições, no entanto, ambos têm como produto final o solo compósito. A condição básica é definido em duas etapas:

### 1º Eficiência (previsão de recalques)

Quanto mais alta a eficiência, menor a surgência de recalques. A presença de solos moles argilosos, no contexto da obra significa, naturalmente, recalques e instabilidade para o empreendimento. O geoenrijecimento é eficaz em eliminar a questão da instabilidade, ao se construir sobre solos argilosos moles. O georeforço, dependendo da condição, pode não ser eficiente. Como se não bastasse, também apresentam níveis extremamente diferenciados de eficiência, para a exigente questão da surgência de recalques, pós tratamen-

to. É esta a principal questão que o proprietário deverá se preocupar. Qual o nível de tolerância à recalques residuais, pós construção, permitido? As metodologias do geoenrijecimento e do georeforço, responsáveis pela maioria dos serviços de melhoramento de solos moles realizados no Brasil, apresentam eficiências bastan-

### 2º Mais critérios para a escolha

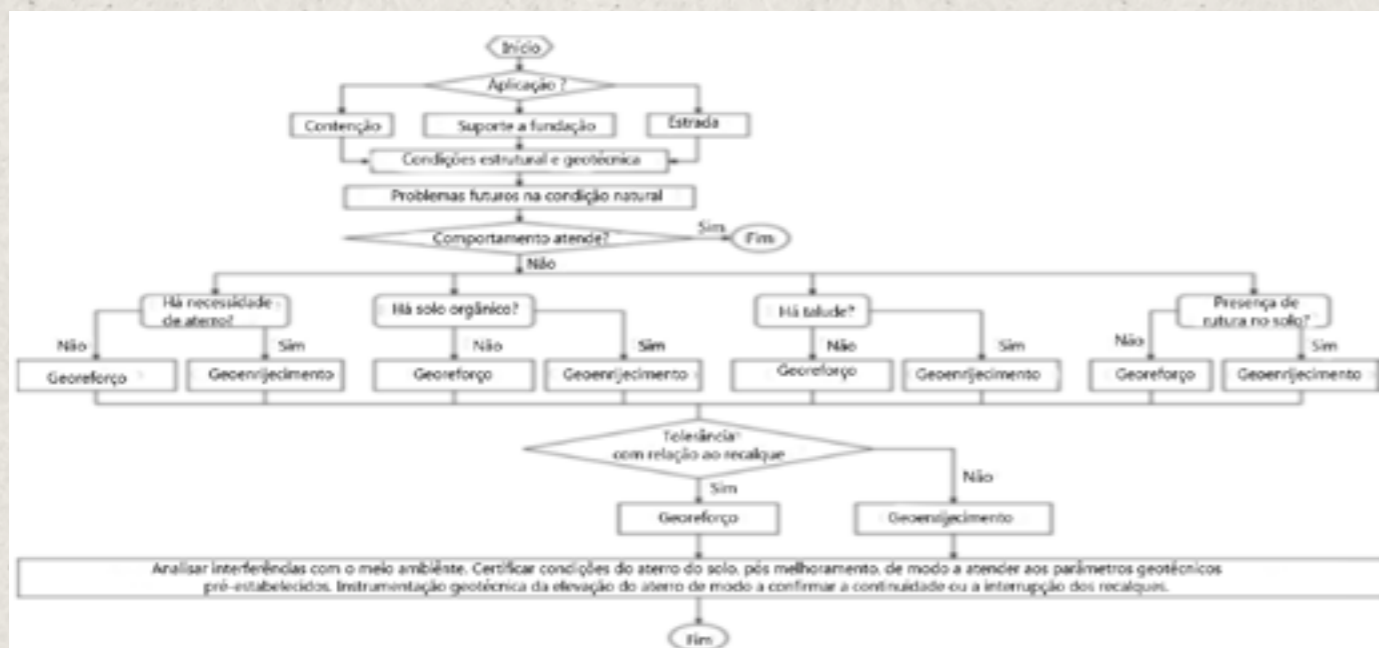
A figura, abaixo, apresenta uma representação gráfica em forma de fluxograma, da análise e definição da estratégia para se adequar terrenos com solo mole. Para qualquer tipo de empreendimento a ser construído, torna-se necessário analisar, criteriosamente, as sondagens, analisando-se as resistências ao cisalhamento existentes, presença de solo orgânico e/ou turfas e, finalmente, a profundidade dos depósitos de solo mole.

### Considerações para projeto e sua execução

O projeto para qualquer estratégia de adequação de terrenos, com solos moles tipicamente, necessita de parâmetros de controle, tais

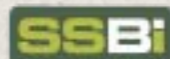


como geometria da estrutura a ser levantada, condição geotécnica do solo local, condição de carregamento, suas características e critério de comportamento. Estes parâmetros, necessários ao projeto, tem suas limitações, como a malha de espaçamento entre verticais de bulbos do geoenrijecimento ou das colunas, do georeforço, suas profundidades, diâmetros, dimensões da zona do solo a ser adequada, seções, quantidade de material a ser empregado, suas propriedades e a sequência executiva. Com relação ao controle e garantia da qualidade da adequação, a ser imposto ao solo de fundação, dever-se-á acompanhar os procedimentos e medições feitas pela empresa executante, de modo a se obter os parâmetros geotécnicos pré-estabelecidos, particularmente, com relação a resistência e a rigidez do solo compósito final. Para tanto, considerando-se que em ambos os casos,



### Fluxograma para análise rápida do método de melhoramento do solo mole

o solo final torna-se um compósito, seja homogeneizado ou com colunas, dever-se-á executar não sondagens de resistência, como o SPT, palheta ou CPTU, que não conseguem aferir o contexto do solo compósito final, mas, sim, sondagens de deformabilidade, com tomografia por imagem, e pressiômetro ou, em última hipótese com teste de carga. Ao final dos trabalhos, a empresa deverá instalar placas de recalque, ao longo da área, de modo a acompanhar a elevação do aterro e o nível/velocidade das deformações que, inevitavelmente ocorrerão. Ao final da elevação do aterro, este nível e velocidades de deforma-



### Perfilômetro de Recalques

O Perfilômetro de Recalques permite medir recalque e estabelecer um perfil contínuo ao longo de um tubo instalado horizontalmente. Para tanto é instalado um tubo PEAD (Polietileno de Alta Densidade) no aterro por meio de escavação rasa no sentido transversal. O princípio de funcionamento do sensor baseia-se na pressão de um líquido contido num reservatório sobre uma membrana, a qual está solidária a um fio de aço tensionado. A variação da tensão no fio é proporcional à variação da frequência de vibração do fio. A calibração efetuada em laboratório fornece a relação entre a altura de coluna d'água e a frequência de vibração. As leituras estão isentas de variações barométricas, uma vez que o sensor é ventilado.



Para maiores informações, acesse: [www.rogertec.com.br](http://www.rogertec.com.br) ou [atendimento@rogertec.com.br](mailto:atendimento@rogertec.com.br)



# SOLO MOLE NO SEU PROJETO?

## NÃO TRABALHE COM TÉCNICAS ALTERNATIVAS OU ADAPTADAS

### FAÇA MELHORAMENTO DE SOLO

MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES É **GEOENRIJECIMENTO\***

\*100% TEORIA DO ADENSAMENTO DA ARGILA

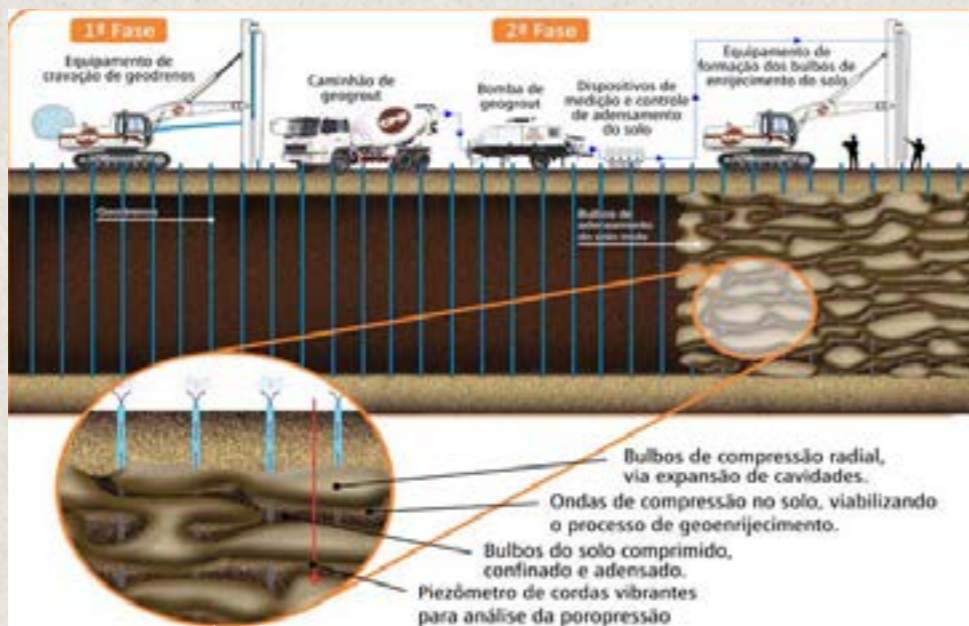
[facebook.com/engegraut](https://facebook.com/engegraut)

@engegraut

[www.engegraut.com.br](http://www.engegraut.com.br)

Visite nosso site: [WWW.ENGEGRAUT.COM.BR](http://WWW.ENGEGRAUT.COM.BR)

Ou entre em contato: (21) 994163979



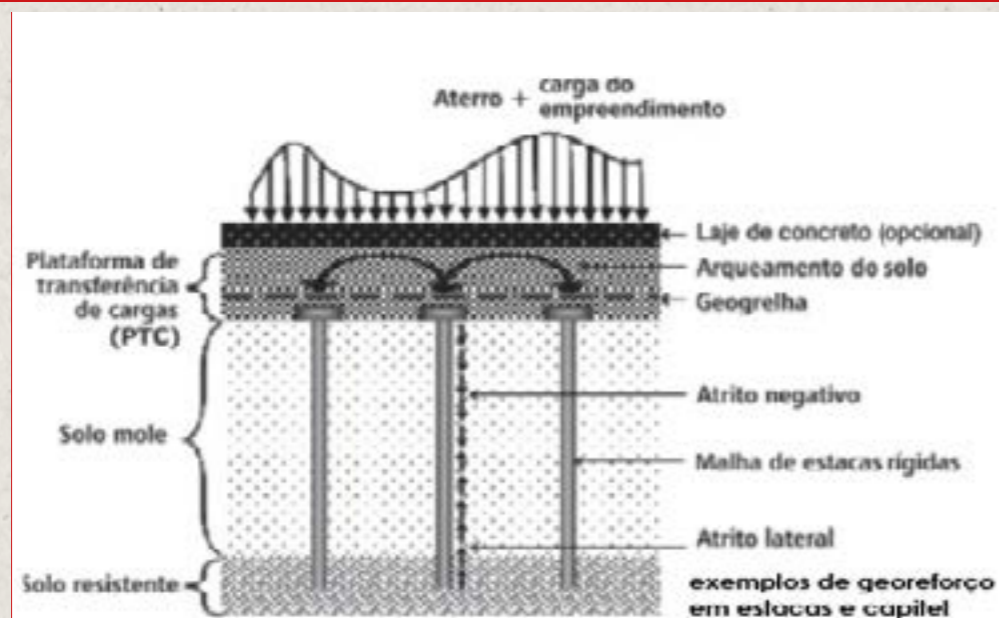
Representação das fases de execução de geoenrijecimento do solo mole.

## Particularidades de projeto das duas estratégias

### O geoenrijecimento do solo mole

O geoenrijecimento, basicamente, consiste das fases de cravação de geodrenos e da formação de verticais com bulbos de compressão radial do solo, via expansão de cavidades, aumentando drasticamente sua resistência e rigidez, naturalmente, sem formação de colunas. É, efetivamente, o real melhoramento do solo mole, onde o solo sai da condição mole para a de geoenrijecimento com os parâmetros desejados

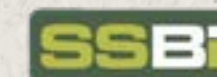
### O georeforço do solo mole



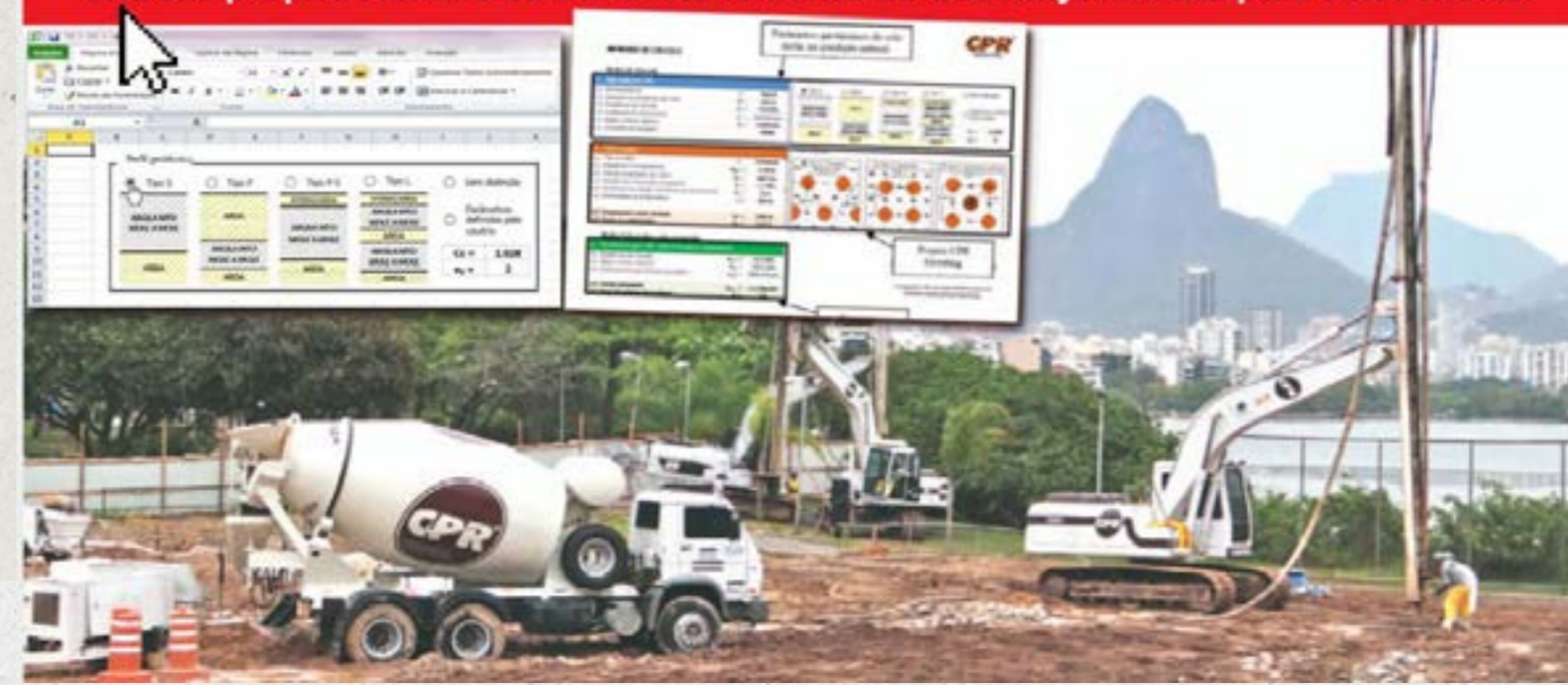
O georeforço, efetivamente, não trata o melhoramento do solo mole, apenas promove inclusões verticais, na forma de colunas ou estacas, utilizando uma plataforma de transferência de cargas para elas. A utilização de estacas, de concreto armado em solos moles orgânicos é perigoso para o desejado durabilidade, já que há a ação do ácido húmico.

## REFERÊNCIAS

- Thomas Kim é engenheiro geotécnico especializado em melhoramento de solos moles.
- Day, S.R. and Ryan, C.R., 1992. State of the art in bio-polymer drain construction. In Slurry Walls: Design, Construction, and Quality Control. (pp. 333–343). Philadelphia, PA: ASTM International.
- DeJong, J.T., Fritzges, M.B. and Nüslein, K., 2006. Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(11), 1381–1392.
- DeJong, J.T., Mortensen, B.M., Martinez, B.C. and Nelson, D.C., 2010. Bio-mediated soil improvement. • • *Ecological Engineering*, 36(2), 197–210.
- DeJong, J.T., Mortensen, B., Soga, K., Banwart, S.A., Whalley, W.R., Martinez, B. and Kavazanjian Jr, E., 2011. *Harnessing Bio-Geotechnical Systems for Sustainable Ground Modification*. GeoStrata Magazine, ASCE.
- DeJong, J.T., Soga, K., Kavazanjian, E., Burns, S., Van Paassen, L.A., Al Qabany, A., Aydilek, A., Bang, S.S., Burbank, M., Caslake, L.F. and Chen, C.Y., 2014. *Biogeochemical processes and geotechnical applications: Progress, opportunities and challenges*.
- In *Bio-and Chemo-Mechanical Processes in Geotechnical Engineering: Géotechnique Symposium in Print 2013* (pp. 143–157). London, UK: Ice Publishing.



## Crie sua própria Planilha de Dimensionamento de Geoenrijecimento para Solos Moles



The logo for Soft Soil Brazilian Institute (SSBi) features the letters 'SSBi' in a bold, sans-serif font. 'SS' is in a light green color, while 'Bi' is in white with a dark green outline. The entire logo is set against a dark green rounded rectangular background.

SOFT SOIL  
BRAZILIAN  
INSTITUTE

O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você a entender solos moles

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias sofisticadas. Cada obra é um caso específico que exige solução diferenciada.

[softsoilbrazilianinstitute.com.br](http://softsoilbrazilianinstitute.com.br)



**PARCEIROS**



**SOLOTEST**

**GEOKON**

SOLUÇÕES CAD  
BIM

TRUSTED MEASUREMENTS

**AB  
MS**

**Leica**  
Geosystems

**TRAGERTEC**

**ENGEGRAUT**  
ENGENHARIA ESTRUTURAL

**ROCTEST**