

# Soft Soil Brazilian Review

04

O que aterros, solos moles e movimentação de massa tem em comum?

12

Aterros, solos moles e a formação de cargas assimétricas no terreno.

28

Prevenção do efeito Tschebotarioff em aterros sobre solos moles

## 24 Consulta

Gostaria de saber mais informações acerca do efeito tschebotarioff

## O QUE ATERROS, SOLOS MOLES E MOVIMENTAÇÃO DE MASSA TEM EM COMUM?

pág.04





# EDITORIAL

A construção de aterros, sobre solos moles, gera deslocamentos verticais e horizontais no solo de fundação, causando problemas não apenas relacionados à estabilidade do aterro, como também em estruturas adjacentes, especialmente quando apoiadas em fundações profundas. Com a expansão de nossas cidades e da malha rodoviária/ferroviária, a construção de aterros sobre solos moles torna-se um desafio crescente, evidenciando a importância de se prever, corretamente, o comportamento do solo de fundação sob os aterros, de forma a garantir, sua estabilidade e a segurança estrutural das estruturas adjacentes. A geração de esforços, ao longo da profundidade, sobre estacas adjacentes, devido a presença de sobrecargas assimétricas, é conhecido como o "efeito Tschebotarioff". Para sua avaliação, existe uma enorme quantidade de métodos empíri-

cos, analíticos e computacionais disponíveis na literatura. Contudo, devido aos diversos fatores que influenciam esse trágico fenômeno, as estimativas obtidas por diferentes métodos, apresentam grande dispersão, razão pela qual, é fundamental o aprimoramento do conhecimento sobre a influência de cada um dos fatores envolvidos. Procuramos, nesta edição, analisar fatores que o influenciam, por meio informações acerca de análises numéricas e de dados de monitoramentos evidenciando, sempre, a necessidade real do melhoramento do solo mole, solução natural para o problema.

**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  
Eng° Joaquim Rodrigues

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

PUBLICIDADE, ASSINATURA  
Cleide Ferreira

EDITOR DE ARTE  
Sarah Silva

REPRINTS EDITORIAIS  
Mariana Tati

### FALE CONOSCO

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

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

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

## Sumário



O que aterros, solos moles e movimentação de massa tem em comum? **04**

Joaquim Rodrigues



Aterros, solos moles e a formação de cargas assimétricas no terreno **16**

Patricia Karina



Prevenção do efeito Tschebotarioff em aterros sobre solos moles **28**

Thomas Kim

## Capa



Esta mega rutura, associada ao efeito Tschebotarioff, destruiu parte da nova ponte, na ampliação estradal da BR-101 na divisa do Rio Grande do Norte com a Paraíba.

## Seções

Editorial **02**

Agenda **22**

Consulta **24**

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



# O QUE ATERROS, SOLOS MOLES E MOVIMENTAÇÃO DE MASSA TEM EM COMUM?



*Grande rutura em um aterro, elevado sobre depósitos de solos moles, sem melhoramento, desencadeou pelo efeito Tschbotarioff em uma obra de ampliação da rodovia BR-101, no nordeste do país.*

**E** comum depararmos-nos com condições geotécnicas difíceis, pertinentes ao solo de fundação, no leito estradal, em obras rodoviárias. Isso mesmo, é a presença de solos moles, reconhecidamente associado à graves consequências, como a ocorrência de infundáveis recalques diferenciais, além de problemas de instabilidade e, conseqüentemente, ruturas. Define-se solos moles, baseado em seu histórico geológico enfatizando mudanças em suas propriedades, desde sua decomposição, como argilas jovens normalmente



## 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](https://instagram.com/engegraut)



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

VISITE NOSSO SITE: [WWW.ENEGRAUT.COM.BR](http://WWW.ENEGRAUT.COM.BR)

consolidadas, envelhecidas normalmente consolidadas, pré-adensadas, e resistentes na crosta superior. Por apresentar baixa resistência ao cisalhamento, promovem problemas do tipo:

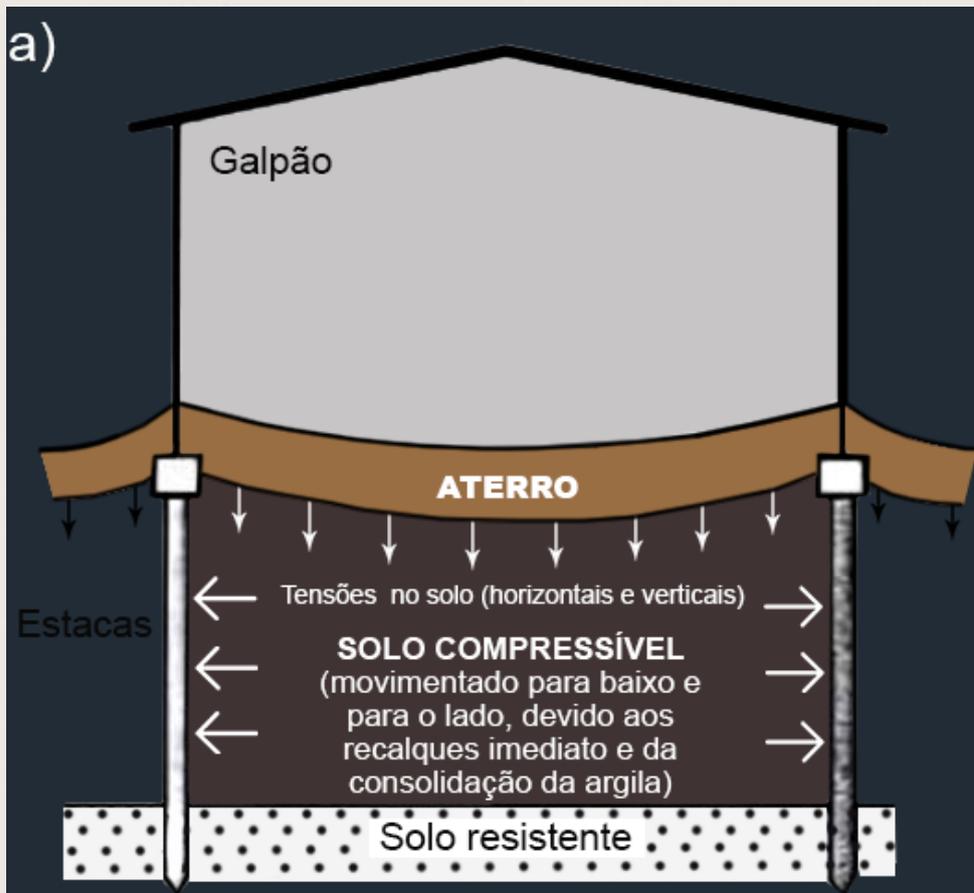
**a) Rutura do solo, durante serviços de terraplenagem, por ausência de suporte necessário.**

**b) Comprometimento de estruturas vizinhas, devido à movimentação de massa, escavação ou aterro no local;**

**c) Surgimento de recalques, comumente diferenciais, ao longo das estruturas implantadas.**

Qualquer aterro, construído diretamente sobre o solo, induz tensões e movimentos de massa em seu interior. Se houver estacas próximas, atuarão como barreira física, contrariando o movimento, sofrendo empuxos horizontais. É o clássico caso de aterros de encontros de pontes, construídos sobre camadas de solos moles compressíveis, que geram movimentos na massa do solo, motivado pelo processo de adensamento da argila, promovendo momentos e deslocamentos nas estacas existen-

tes podendo, se desconsiderado, levar à ruína da estrutura. Este efeito, foi descrito detalhadamente pela primeira vez em 1962, pelo engenheiro russo de sobrenome Tschebotarioff e, a partir de então, passou a ser conhecido como "efeito Tschebotarioff". Posto isso, em casos em que aterros sejam elevados sobre solos moles, por exemplo em encabeçamentos de pontes, faz-se imprescindível, além da preocupação com recalques, advindos do adensamento da argila, a elevação de aterros assimétricos, junto à fundação da estrutura, o que causará deslocamentos horizontais e consequentes momentos fletores nos elementos de fundação profunda. Não é raro, deparar-se com alterações de traçados, buscando-se evitar a passagem da rodovia por solos compressíveis. O estudo do solo mole, infelizmente, ainda é restrito às mesmas intervenções, normatizadas no meio rodoviário, pela normativa de 1998, o DNER-PRO 381/98- Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias. Na grande maioria das vezes, a análise é majoritariamente econômica, e as condições de contorno, da região, são desconsideradas, causando transtornos e/ou ineficiência para soluções adotadas. Para tanto, todas as questões inerentes aos reflexos, causados por "soluções" disponíveis, atualmente, devem ser consideradas buscando-se a eliminação de surpresas, ao longo da construção do empreendimento. Busca-se, portanto, as



seguintes questões:

- **Análise das sondagens, incluindo-se a elaboração de perfis geológico-geotécnicos;**
- **Definição do perfil crítico para cada um dos locais, em função da profundidade das camadas compressíveis e do peso a ser imposto ao solo, pelo aterro a ser construído;**
- **Modelagem numérica computacional, dessas seções aplicando-se, preferencialmente, a solução dos problemas com o melhoramento efetivo do solo mole, com geoenrijecimento, evitando-se técnicas alternativas, quase que adaptadas para, apenas, atenuar os sérios problemas a serem causados, como soluções à base de colunas.**
- **Análise dos resultados, observando-se a deformação total da fundação, a evolução temporal dos recalques e a dissipação da poropressão;**
- **Análise do Efeito Tschebotarioff, gerado nas estacas de fundação, em virtude do adensamento provocado na argila mole. O melhoramento efetivo do solo mole, com geoenrijecimento, neutraliza esta condição, sendo certificada, com inclinômetros, pela própria imposição da sequência executiva.**



*Aspecto do solo mole sendo parcialmente removido para o lançamento do aterro de conquista*

Infelizmente, muitos engenheiros geotécnicos ainda desconhecem as consequências de se elevar aterros sobre terrenos, com depósitos de solos moles, razão pela qual é frequente a surgência de recalques diferenciais ao longo de estradas, como também é rotina a presença de leitos estradais rompidos. em um rápido perfil do solo mole,



atesta-se altos índices para o teor de umidade ( $w$ ), limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), além de baixíssima permeabilidade, com propriedades compressíveis, baixa resistência à penetração, de modo que o alto teor de finos, típico das argilas conferem, também, características coesivas, podendo coexistir matéria orgânica e turfas, com consistência mole ou muito mole, tendo comportamento normalmente adensado ou levemente pré-consolidado. A figura, acima, representa o aspecto de um solo mole evidenciado ao longo da preparação para o seu melhoramento.

Sua resistência ao cisalhamento, depende de vários fatores, destacando-se o índice de vazios, o ângulo de atrito, composição, tensões normais, histórico de tensões, e taxa de deformação. A teoria de entendimento mais difundida, na literatura geotécnica, é o modelo de Mohr-Coulomb, representando a coesão, as tensões normais e o ângulo de atrito. A ruptura do solo de fundação, causado por aterros construídos sobre solos moles, sem melhoramento efetivo do solo, ocorre devido a ausência da capacidade suporte, causando grandes deslocamentos. Além de se verificar a capacidade de carga do solo, torna-se necessário verificar o fator de segurança contra o recalque imediato (expulsão do solo mole). A ruptura da fundação, em obras de aterros sobre solos moles sem melhoramento do solo é, portanto, um problema de capacidade de carga, e sua verificação ocorre de maneira semelhante à fundações superficiais. Desta forma, admite-se que o aterro atue como sapata rígida, sobre a camada argilosa. O aterro é incorporado ao cálculo como sobrecarga e sua resistência é desconsiderada, o que permite utilizar a formulação clássica.

$$Q_{ult} = cN_c + \gamma D N_q + \gamma \frac{B}{2} N_\gamma$$

Onde:

$Q_{ult}$  = capacidade de carga do solo (kPa);

$N_c, N_q, N_\gamma$  = fatores de capacidade de carga obtidos por ábacos;

$D_{fund}$  = altura de embutimento da fundação (m);

$c$  = coesão do solo (kPa);

$\gamma$  = peso específico do solo ( $\text{kN/m}^3$ );

$B$  = largura da fundação (m).

Como  $Q_{ult}$  é igual a sobrecarga do aterro ( $\gamma_{aterro} \cdot h_{aterro}$ ), assumindo-se que o solo possui ângulo de atrito igual a zero,  $N_q$  igual a 1 e resistência não drenada ( $S_u$ ) obtém-se:

$$h_{aterro} = \frac{N_c \cdot S_u}{\gamma_{aterro}}$$

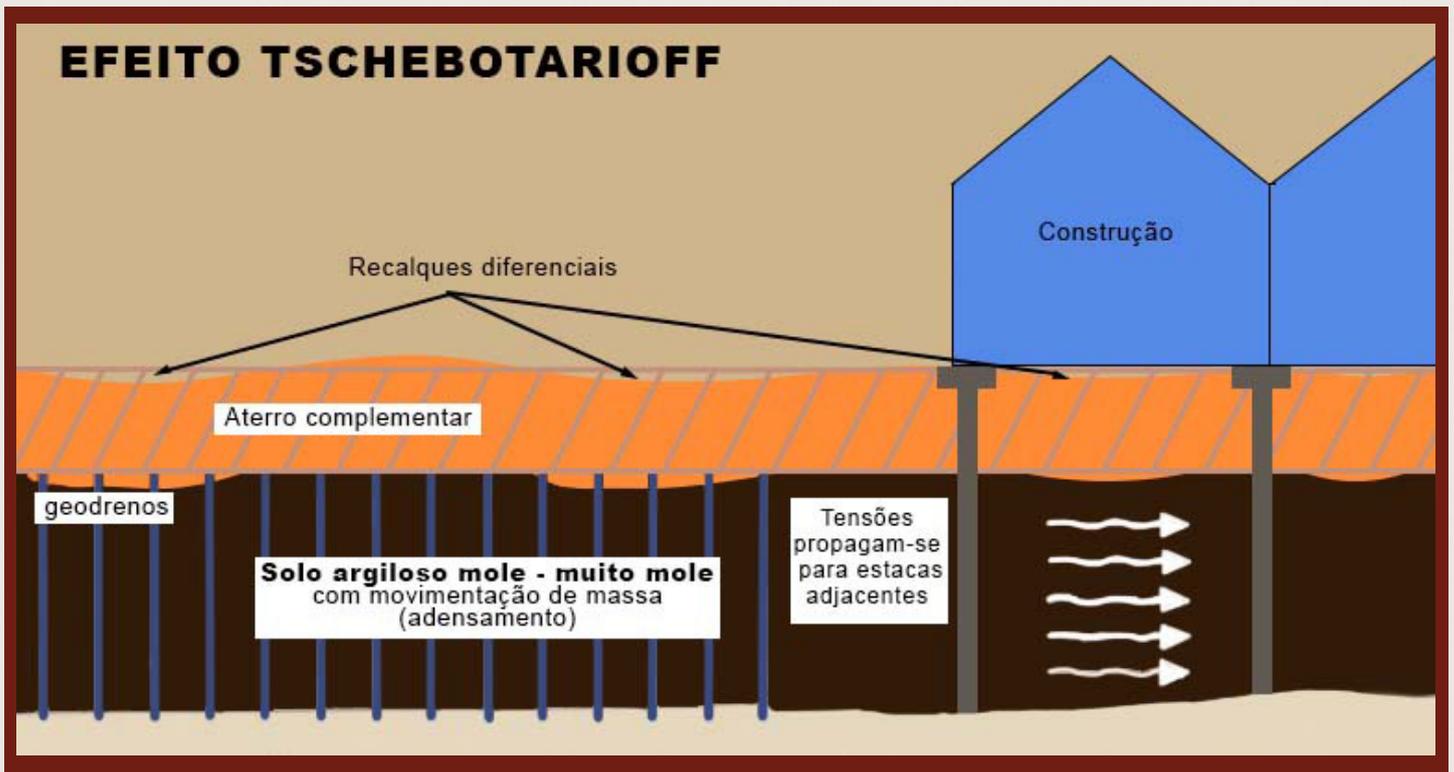
A altura de aterro calculada, refere-se a carga de ruptura do solo, sendo, necessário aplicar fator de segurança ( $F_s$ ) ao cálculo que resulta na equação:

$$h_{adm} = \frac{N_c \cdot S_u}{\gamma_{aterro} \cdot F_s}$$

Pode-se utilizar valores de  $F_s$  igual 1,3 nos casos de condição temporária mas, usualmente, o valor utilizado é maior que 1,5.

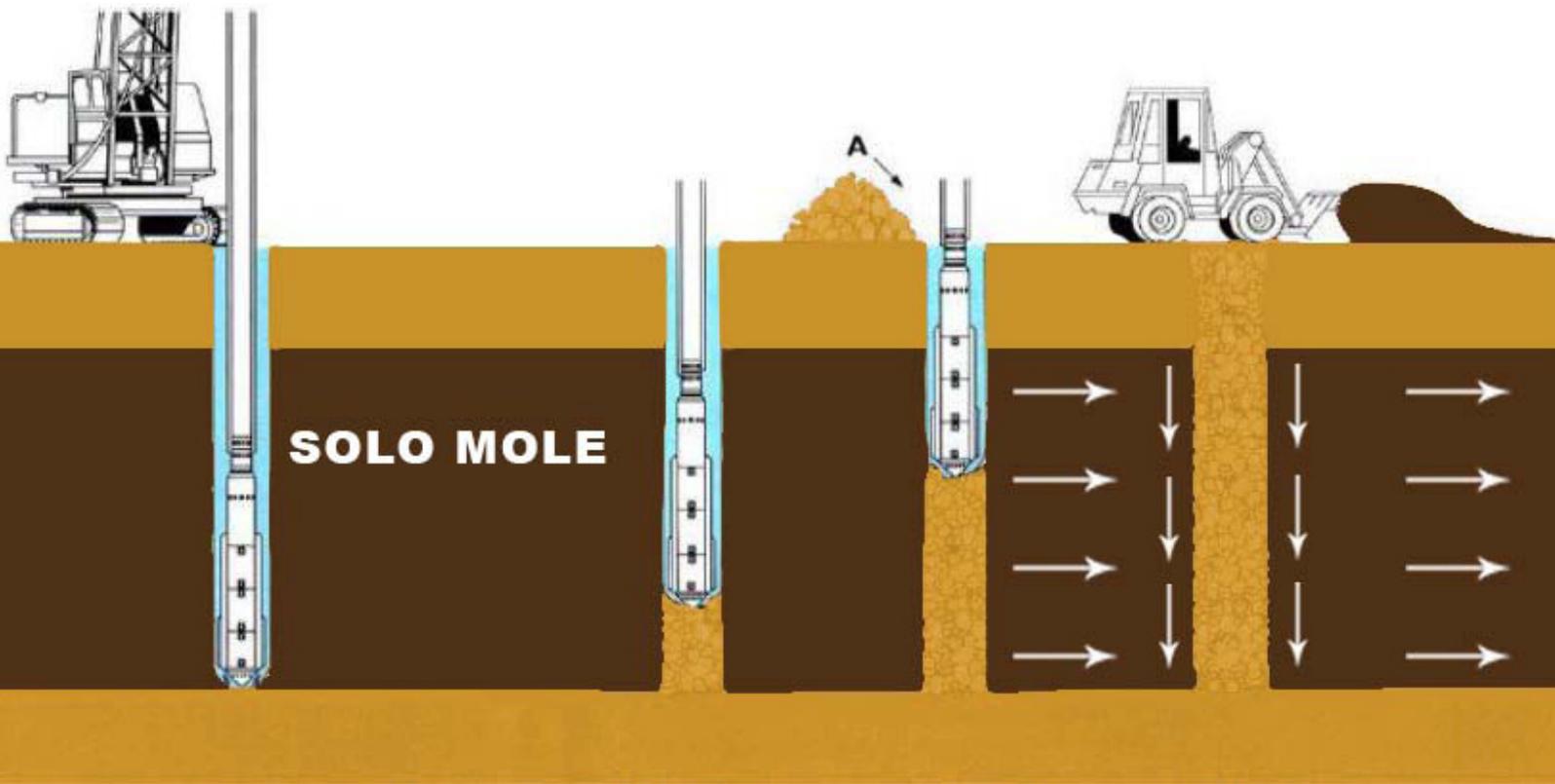
## O efeito Tschebotarioff

Efetivamente, quando há presença de depósitos de solos moles, este fenômeno, adquire grande importância, na medida em que se levanta aterros, perto de pontes e construções.



Solução com aterro de sobrecarga ou pre-carregamento. Imagem que demonstra o efeito Tschebotarioff, em região aterrada. Esta "solução econômica" torna-se imprudente e insensata.

Qualquer aterro elevado sobre um terreno, provoca tensões e deformações verticais e horizontais, em forma de deslocamentos no interior da massa de solo. Para avaliarmos esforços de flexão, em estacas, devido à sobrecargas assimétricas, há que se distinguir duas condições. Na primeira, estacas atravessam solos moles, suscetíveis de deformações e, conseqüentemente, do processo de adensamento das argilas, implicando em grande movimentação, no interior do solo de fundação, estabelecendo-se deslocamentos horizontais (a volume constante) e, na segunda, drenagem do solo, ocorrendo redução de seu volume, e conseqüentes deslocamentos verticais (recalques), afetando duplamente as estacas. Nesta situação, não há outra alternativa, a não ser melhorar, efetivamente, o solo mole, com geoenrijecimento, de modo a evitar ambas situações.



Esquema 'melhoramento do solo mole', com formação de colunas de brita, no solo mole, susceptíveis à movimentos verticais e, claro, ao fenômeno Tschebotarioff. A presença de solo mole-muito mole ao redor, instabiliza as colunas, devido ao pouco confinamento lateral e a movimentos de massa, tanto verticais quanto horizontais. Esta 'solução' não deve ser empregada em aterros de encontros de pontes com depósitos de solos moles

## 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 Engegrout 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.
- De Beer, E.E. 1972. "Forces induced in piles by unsymmetrical surcharges on the soil around the piles". Conference a Caracas, Societe Venezuelienne Fundaciones Franki, Mars.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, PRO 381: "Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias" 1998.
- EGAN, D.; Scott, W.; McCabe, B.A. 2008. "Observed installation effects of vibro-replacement stone columns in soft clay". Proceedings of the 2nd International Workshop on the Geotechnics of Soft Soils- Focus on Ground Improvement, lasgow, pp-23-29.
- Elshazly, H.A., Hafez, D.Mosaad, M. 2006. "Back calculating vibro-installation stresses in stone columns reinforced grounds". s.l: Journal of Ground Improvement 10(2):47-53
- FHWA. Federal Highway Administration. 1983. "Design and construction of stone columns." Vol1. Report FHWA/RD-83/027. Barksdale, R.D. e Bachus R.C. ederal Highway Administration



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



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

*PLAXIS: Simulating Soil Lab Tests*

[www.bentley.com](http://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!**

# ATERROS, SOLOS MOLES E FORMAÇÃO DE CARGAS ASSIMÉTRICAS NO TERRENO.



Rutura do solo de fundação, após pré-carregamento, devido ao peso de aterros levantados de maneira assimétrica, causando o efeito Tschebotarioff em estruturas da nova ponte

Sobrecargas unilaterais, aplicadas sobre solos de fundação, provocam movimentos de massa, na forma de

tensões e deslocamentos no interior do solo, nas direções vertical e horizontal. A presença de estacas, próximas à área carregada, tendem a impedir a deformação do

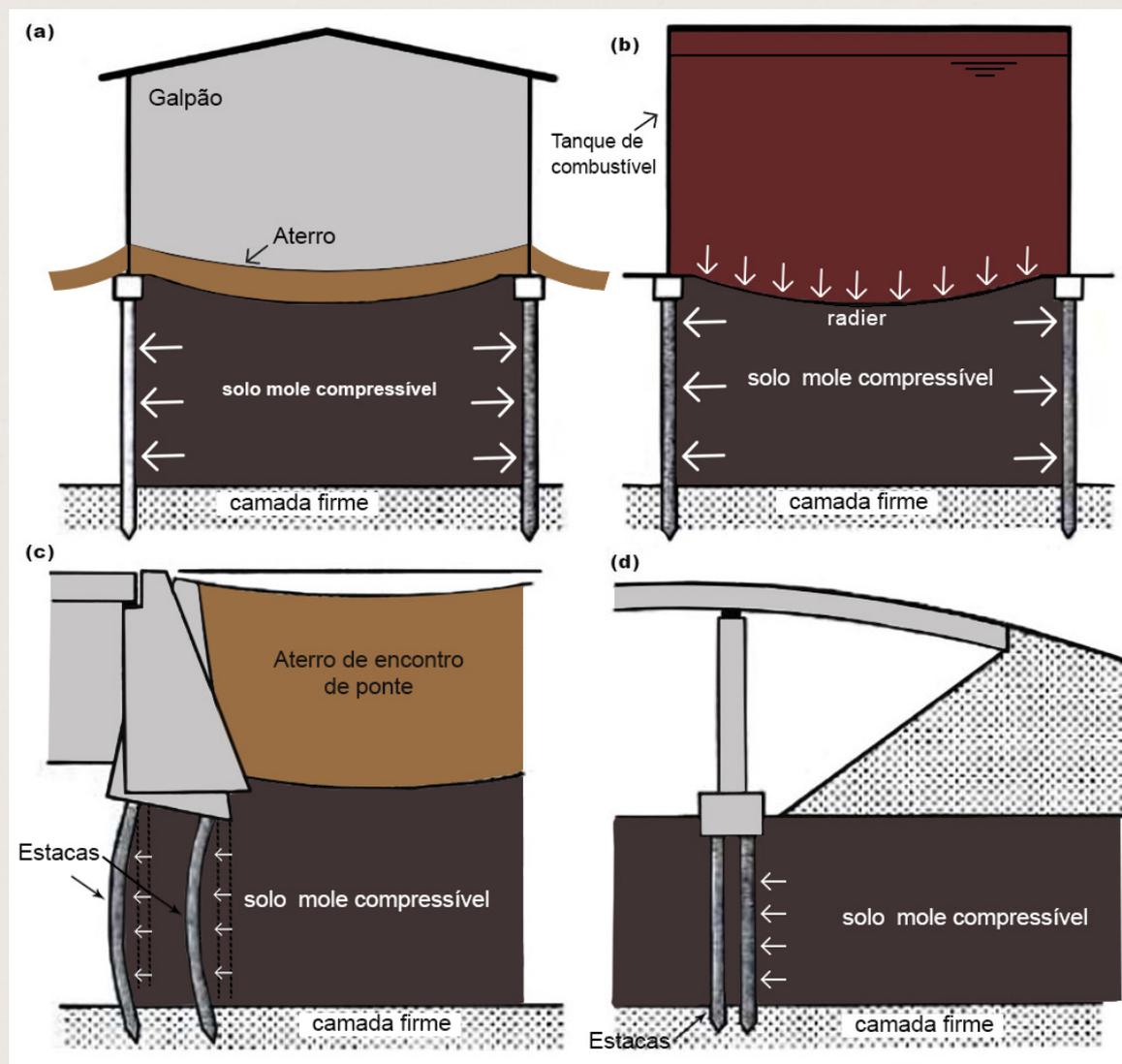
solo, estabelecendo-se esforços provenientes desta restrição. Este efeito, descrito pela primeira vez em 1962, por Tschebotarioff, passou a ser conhecido como efeito

Tschebotarioff (Velloso e Lopes, 2011). Para a determinação dos esforços de flexão nas estacas, provocados por sobrecargas unilaterais, distingui-se entre duas condições, de acordo com o tipo de solo:

**1** Estacas atravessando solos arenosos, fofos: Ocorrem pequenas deformações, sob efeito de sobrecargas assimétricas. Tensões de flexão, nas estacas, serão muito baixas, podendo ser desprezadas. Um estudo, realizado pela empresa Pieux Franki (1963), no entanto, revelou esforços de flexão elevados, nas estacas que atravessam solos arenosos fôfos.

**2** Estacas atravessando depósitos de argila mole: a ação do peso do aterro, sobre o depósito argiloso mole, provocará deslocamentos horizontais (a volume constante) e o natural adensamento da argila (perda d'água e redução de volume). Ambos efeitos causarão consideráveis solicitações nas estacas.

Aparentemente, a presença de solos argilosos moles influencia mais deslocamentos horizontais, particularizados pela resistência ao cisalhamento, compressibilidade e profundidades das camadas. Ou seja, quanto mais compressíveis forem os depósitos de solos moles, além de suas profundidades, maiores serão os deslocamentos horizontais e o efeito nas estacas. Exemplos clássicos, do efeito de sobrecargas assimétricas, são muros de arrimo sobre estacas, aterros de acesso à pontes, tanques de armazenamento de fluidos, estaqueados apenas na periferia, dentre outros. Esta ação lateral nas estacas, é influenciada por diversas fatores, sendo relevantes o fator de segurança à ruptura global (decorrente



Exemplos de Efeito de Tschebotarioff (Velloso e Lopes, 2011)

compressíveis forem os depósitos de solos moles, além de suas profundidades, maiores serão os deslocamentos horizontais e o efeito nas estacas. Exemplos clássicos, do efeito de sobrecargas assimétricas, são muros de arrimo sobre estacas, aterros de acesso à pontes, tanques de armazenamento de fluidos, estaqueados apenas na periferia, dentre outros. Esta ação lateral nas estacas, é influenciada por diversos fatores, sendo relevantes o fator de segurança à ruptura global (decorrente

# SOLOTEST®

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



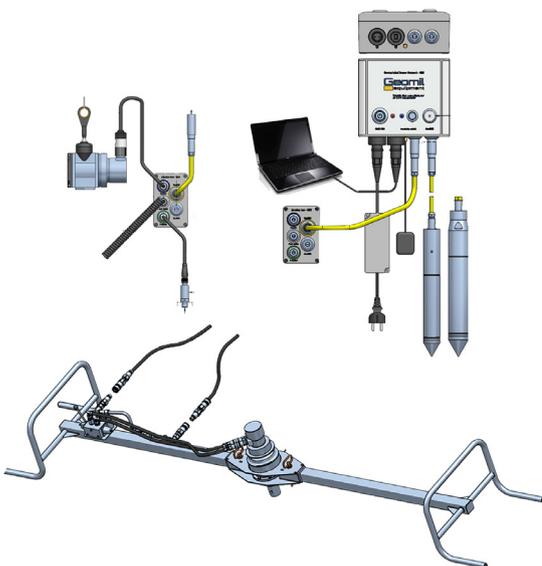
 1.022.250 - Prensa CBR / Marshall Digital Microprocessada



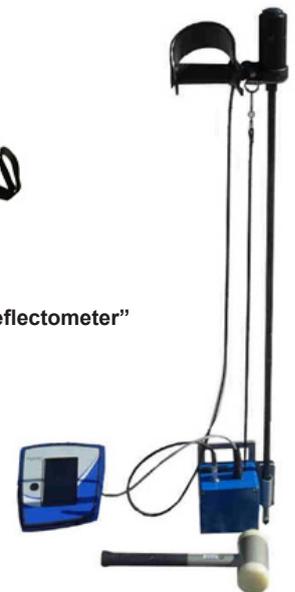
 4.100.030 - Medidor de Densidade de Solo Não Nuclear (SDG)



 4.100.300 - LWD "Light Weight Deflectometer"



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



 4.100.035 - Penetrômetro Dinâmico Eletrônico para Solos Panda

do valor da sobrecarga e das características do solo), a distancia das estacas ao aterro, a rigidez e a geometria do estaqueamento e o fator tempo. Caso se utilize fator de segurança à ruptura global reduzido, o efeito nas estacas será intenso. Desta forma, não sendo possível alterar a sobrecarga e sua distancia ao estaqueamento, recomenda-se melhorar efetivamente o solo mole, com geoenrijecimento, que neutraliza futuros deslocamentos laterais. Jamais utilizar, como solução, pré-carregamento ou geoforço, com soluções do tipo coluna de brita, DSM, etc.

## A movimentação lateral da massa do solo

Em 1961, Heyman registrou, pela primeira vez, os efeitos da elevação de aterros nas proximidades de estacas, em solo de fundação caracterizado por espessa camada de areia, sobreposta a 10m de argila mole. Após a cravação das estacas, construiu-se um aterro hidráulico, em estágios, até a proximidade da fundação. Strain gages e inclinômetros, detectaram movimentos horizontais no solo, com até 27cm, ocorrendo aumento linear do momento fletor máximo nas estacas, a cada elevação do aterro. No ano seguinte, Tschebotarioff, analisou diversas obras de construção de muros de arrimo sobre estacas, que apresentavam problemas de flexão e até rupturas. Sem instrumentação adequada, para avaliar o desenvolvimento e sua quantificação, Tschebotarioff estimou grosseiramente o momento fletor nas estacas, concluindo que as pressões laterais deveriam ser representadas por carregamento triangular, com ordenada máxima no centro da camada compressível (figura ao lado), seguindo a seguinte equação:

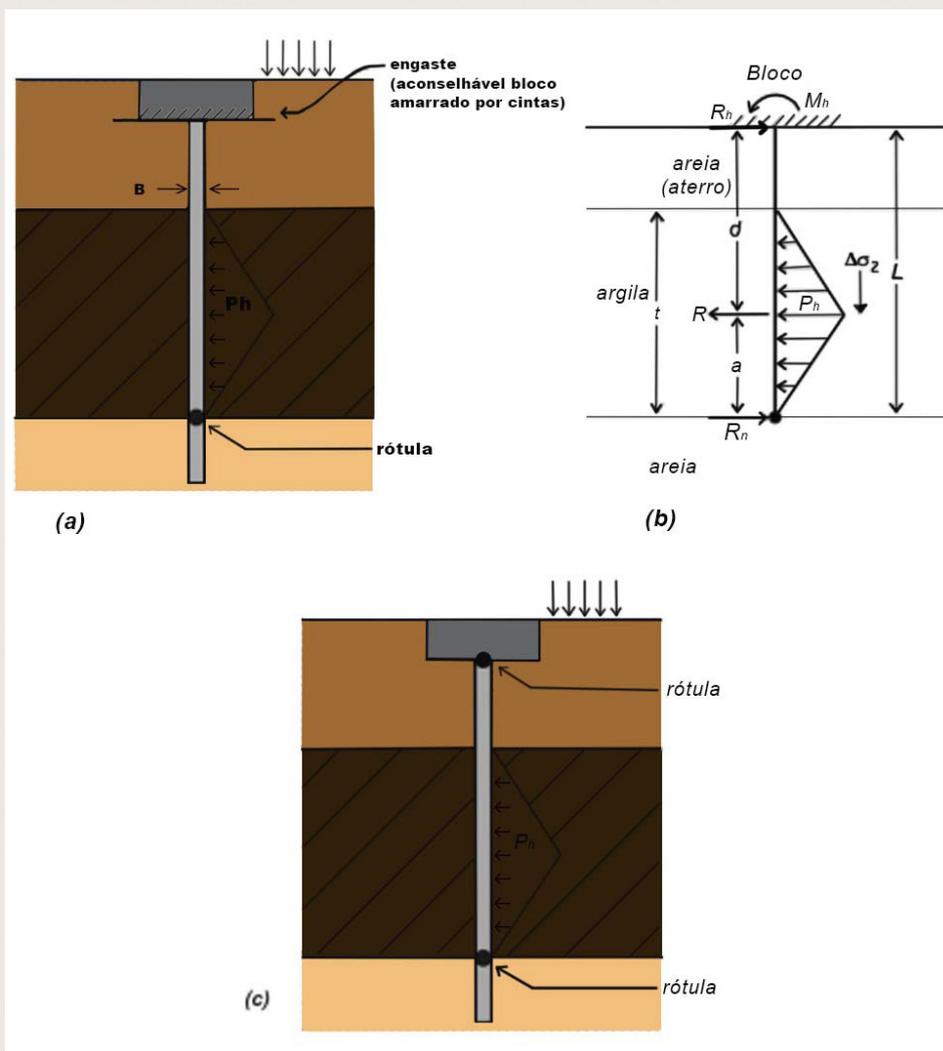
$$P_h = B \cdot K \cdot \gamma \cdot H$$

Onde: B= largura da estaca;

$\gamma \cdot H$  = pressão correspondente a um aterro de altura H;

K = coeficiente de empuxo.

O coeficiente de empuxo K, para um depósito de argila mole, normalmente adensado e não amolgado, pode ser 0,4 ou 0,5 (Velloso e Lopes, 2011). As estacas, mais próximas ao aterro, devem ser dimensionadas como vigas sim-



Proposta de Tschebotarioff: (a) caso em que a estaca pode ser considerada engastada no bloco; (b) Esquema de cálculo para esse caso e (c) caso em que a estaca não pode ser considerada engastada no bloco (Velloso e Lopes, 2011)

plesmente apoiadas, com vão igual à espessura da camada argilosa. Recomenda a utilização de estacas, com alta resistência à flexão e que causem pequeno deslocamento durante a cravação. De acordo com Velloso e Lopes (2010), diversos estudos foram realizados, buscando-se pormenorizar e particularizar este efeito, sendo que o aspecto observacional é fundamental para o avanço teórico do assunto. O natural problema da estabilidade, devido a presença de solos moles, necessita da análise da redução/eliminação da sua compressibilidade, tendo em vista a elevação do aterro. A modelagem numérica ocorre em seções críticas, de acordo com a

condição geológica existente. Para avaliação da criticidade das seções, considera-se as profundidades das camadas compressíveis, somado à altura do aterro previsto substituindo-se, as estacas, por elementos rígidos circulares, com área equivalente e módulo de elasticidade igual a 25.500 kPa. Com o resultado da modelagem numérica das seções, analisa-se o comportamento da fundação, após a estabilização total das deformações, via melhoramento do solo, com geoenrijecimento. A partir daí, considera-se como crítico o ponto de maior deslocamento, evidenciado ao longo do campo de deformações analisando-se, previamente, a evolução dos recalques

uniformes residuais, juntamente com a dissipação da poropressão. Por outro lado, Os métodos de georeforço de solos moles, com colunas, que não são, efetivamente, técnicas de melhoramento de solos moles divergem, entre si, com relação à o metodologias numéricas e empíricas, dificultando a obtenção de valores confiáveis de sobrecargas assimétricas nas estacas de fundação. O programa GEOSTUDIO 2021, software canadense, permite avaliar e compreender diversos problemas práticos. Um outro utilizado é o *slaye/w*, responsável por análises de estabilidade pelo equilíbrio-limite, determinando o fator de segurança para cada caso.

## O melhoramento do solo, com geoenrijecimento, e outras soluções

O melhoramento do solo mole, transforma-o em um solo compósito, de acordo com a teoria do meio homogêneo equivalente, eliminando futuras deformações laterais. Santos (2018) aborda a convergência do comportamento do meio homogêneo equivalente, comparado ao original, para células unitárias axissimétricas. J. Rogrigues (2018) confirma que, após a conversão, o conjunto solo-bulbos, comporta-se como meio elastoplástico perfeito. Comparando-se as técnicas de georeforço e o melhoramento do solo, com geoenrijecimento, verifica-se que as camadas compressíveis não seguem as diretrizes do modelo *cam-clay*

modificado, apenas no geoenrijecimento, em virtude da mudança de suas propriedades, ocasionada pelo adensamento forçado característico. Como o geoenrijecimento promove expansão de cavidades, via bulbos de compressão radial, ao longo de toda a massa mole, esta mutação, em meio homogêneo equivalente, elimina a necessidade da modificação dos modelos axiais em planos. Por fim, se analisarmos aspectos relacionados à questão construtiva, em regiões com solos moles, obter-se-á 3 alternativas de soluções, onde torna-se claro a diferença entre elas. A do georeforço, que utiliza colunas transpassando

o solo mole, deixando-o perigosamente ao redor, já que precisa de seu confinamento, com resistência mínima de 15 kPa, para não embarrigarem ou perderem prumo. A do precarregamento, com geodrenos, antiga técnica de melhoramento de solos, campeã na geração dos maiores esforços assimétricos e ruturas, eficiente só para depósitos de solos moles pouco profundos, em geral 5m, ocorrendo aí, a aceleração do recalque por meio da geração da drenagem radial, onde as tensões de compressão conseguem chegar. A magnitude do recalque ao longo do tempo, é mantida e os parâmetros da compressibilidade permanecem

# PRESSIÔMETRO

Um ensaio geotécnico completo realizado no campo

Fácil de operar e 100 % viável



# ROCTEST

Representante exclusivo no Brasil

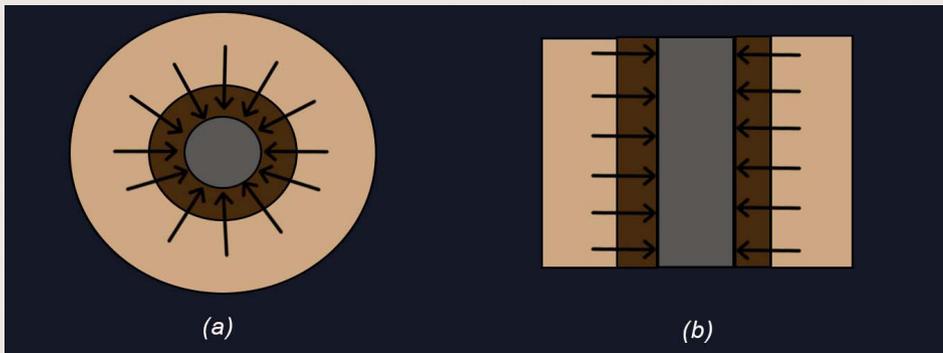
+55 21 2718 3968



vendas@3geotecnologia.com

www.3geotecnologia.com

inalterados. E, finalmente, o geoenrijecimento que, efetivamente melhora as características do solo, readequando-o às necessidades do projeto, o que não ocorre com as demais soluções. Diversos pesquisadores, publicaram modelos empíricos, atrelados à observação de modelos reduzidos, ou de situações reais de estacas instrumentadas, em regiões de aterros construídos sobrejacentes à camadas moles, apresentando propostas diferentes para obtenção dos esforços, em que estacas ficam submetidas à aterros sobrejacentes à camadas moles. Com métodos computacionais, compreende-se melhor os efeitos causados por estes esforços. Problemas geotécnicos, na realidade, comportam-se de forma tridimensional, na maioria dos casos, razão pela qual preocupamo-nos com a dimensão dos problemas na hora da modelagem. Algumas análises comportam-se com boa precisão, com modelos de deformação plana. Outras, no entanto, necessitam de ajustes, minimizando-se distorções indesejadas. Alguns softwares comerciais, como o GeoStudio, permitem apenas modelagem bidimensional, implicando em seções planas, com profundidades iguais a metro, em todos seus elementos. Conseqüentemente obtém-se, como artifício computacional, a criação de modelos axissimétricos (que possuem simetria axial), em elementos unitários de cada solução, com a criação de células unitárias cilíndricas, para a solução proposta, mudando-se para o estado plano, o que possibilita sua condução em termos bidimensionais, conforme figura abaixo.



Representação (a) Célula unitária axissimétrica (b) Estado plano de deformação. (Adaptado de Indraratna e Redana, 1997)



Elevação de aterro após o melhoramento do solo, com geoenrijecimento. Este encontro de ponte apresentava histórico de ruturas profundas que quase danificaram a antiga BR-101.

As soluções, que tem necessidade desta conversão, apresentam comportamento divergente, quando analisa-se o sentido radial e plano. O geoenrijecimento, dispensa tal artifício, em virtude da adoção do meio homogêneo equivalente para sua análise.

## REFERÊNCIAS

·Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoria de solos moles.

·ASMT. "American Society for testing materials". ASTM D7181: Standard test method for consolidated drained triaxial compression test for soil, 2011.

·Bjerrum, L.; Simons, N.E.1960. "Comparison of shear strength characteristics of normally consolidated clays." Norwegian Geotechnical Institute. Publ. 35, 13-22.

·Bjerrum, L. 1973. "Embankment on soft ground. spec conference of performance of Earth and Earth supported Structures". Vol 2, pp.1-54.

·Carvalhais, R.M. 2017. "Comportamento geotécnico de aterros aeroportuários sobre fundações compressíveis: estudos e análises do aterro do aeroporto de Itajubá/MG." Dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em geotecnia. NUGEO. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.

·Cirone, A. 2016a. "Cálculo simples do aumento da resistência não drenada para solos enrijecidos com CPR Grouting". Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia geotécnica, 19-22 outubro 2016. COBRAMSEG.

·Cirone, A. 2016b. "Aterros sobre solos moles enrijecidos com CPR Grouting: análise simplificada". Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia geotécnica, 19-22 outubro 2016. COBRAMSEG.

·Fundações v.2. Dirceu Velloso e Francisco Lopes.

·Indraratna, B. Resana, I.W. 1997. "Plane strain modeling of smear effects associated with vertical drains". Journal of Geotechnical Journal. 1098-1110. DOI:10.1139/t04-054

·Pesquisa bibliográfica de Bernadete Danziger,1990



**SENSORES DE RECALQUE**

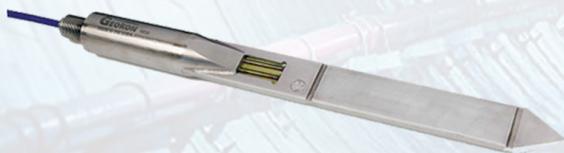


**CÉLULAS DE PRESSÃO  
PARA ATERROS**

# **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](http://g5engenharia.com.br)



01 e 02 de Fevereiro de 2022  
**ICAAAG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia avançada e aplicada** Melbourne - Austrália

01 e 02 de Fevereiro de 2022  
**ICTGSI 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Transporte e Melhoria do Solo** Melbourne - Austrália

04 e 05 de Fevereiro de 2022  
**ICIGUC 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Infraestrutura e Construção Subterrânea** Bangkok - Tailândia

04 e 05 de Fevereiro de 2022  
**ICRACG 2022: Conferência Internacional sobre Avanços Recentes em Geotecnia Computacional** Bangkok - Tailândia

04 e 05 de Fevereiro de 2022  
**ICGRR 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia para Estradas e Ferrovias** Bangkok - Tailândia

08 e 09 de Fevereiro de 2022  
**ICGAG 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica e Geologia Aplicada** Amsterdã - Holanda

08 e 09 de Fevereiro de 2022  
**ICGSRM 2022: Conferência Internacional de Geotecnia, Solo e Mecânica das Rochas** Lisboa - Portugal

08 e 09 de Fevereiro de 2022  
**ICGRR 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Rodovias e Ferrovias** Amsterdã - Holanda

08 e 09 de Fevereiro de 2022  
**ICAGRR 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia Rodoviária e Ferroviária** Lisboa - Portugal

08 e 09 de Fevereiro de 2022  
**ICGRR 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Rodovias e Ferrovias** Amsterdã - Holanda

08 e 09 de Fevereiro de 2022  
**ICAGRR 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia Rodoviária e Ferroviária** Lisboa - Portugal

18 e 19 de Fevereiro de 2022  
**ICOGSMF 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Offshore, Mecânica do Solo e Fundações** Roma - Itália

18 e 19 de Fevereiro de 2022  
**ICOGFSM 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Offshore, Fundações e Mecânica do Solo** Roma - Itália

25 e 26 de Fevereiro de 2022  
**ICGG 2022: Conferência Internacional sobre Geomecânica e Geotécnica** Sydney - Austrália

25 e 26 de Fevereiro de 2022  
**ICTG 2022: Conferência Internacional sobre Tunelamento e Geotecnia** Buenos Aires - Argentina

04 e 05 de Março de 2022  
**ICGGS 2022: Conferência Internacional de Geomecânica e Geotécnica** Rio de Janeiro - Brasil

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 Março de 2022  
**ICGSRM 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica, Solo e Mecânica das Rochas** Bangkok - Tailândia

08 e 09 de Março de 2022  
**ICAMG 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia de Mineração** Bangkok - Tailândia

15 e 16 de Março de 2022  
**ICGEG 2022: Conferência Internacional sobre Geomecânica e Geotécnica Ambiental** Londres - Reino Unido

22 e 23 de Março de 2022  
**ICGG 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica e Geohazards** Praga - Tcheca

22 e 23 de Março de 2022  
**ICCMG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Costeira e Marinha** Dubai - Emirados Árabes

08 e 09 de Abril de 2022  
**ICAMG 2022: Conferência Internacional sobre Medições Avançadas em Geotecnia** Atenas - Grécia

08 e 09 de Abril de 2022  
**ICSMEG 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Geotecnia Ambiental** Atenas - Grécia

08 e 09 de Abril de 2022  
**ICSEGG 2022: Conferência Internacional sobre Engenharia de Solo, Geotecnia e Geologia** Atenas - Grécia

12 e 13 de Abril de 2022  
**ICAPG 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia de Oleodutos** Veneza - Itália

12 e 13 de Abril de 2022  
**ICARG 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia Ferroviária** Veneza - Itália

15 e 16 de Abril de 2022  
**ICGSRM 2022: Conferência Internacional de Geotecnia, Rocha e Mecânica do Solo** Lisboa - Portugal

15 e 16 de Abril de 2022  
**ICGCE 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia, Construção e Meio Ambiente** Lisboa - Portugal

15 e 16 de Abril de 2022  
**ICGEC 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia, Meio Ambiente e Construção** Lisboa - Portugal

15 e 16 de Abril de 2022  
**ICGSS 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Solos Moles** Lisboa - Portugal

15 e 16 de Abril de 2022  
**ICSGR 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia e Pesquisa do Solo** Cidade do Cabo - África do Sul

22 e 23 de Abril de 2022  
**ICEGG 2022: Conferência Internacional sobre Geologia e Geotecnia de Engenharia** Boston - Estados Unidos

22 e 23 de Abril de 2022  
**ICEG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Ambiental** Tóquio - Japão

03 e 04 de Maio de 2022  
**ICAG 2022: Conferência Internacional de Geotecnia Aplicada** Roma - Itália



03 e 04 de Maio de 2022  
**ICMGAD 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Mineração, Análise e Projeto de Minas**  
 Roma - Itália

03 e 04 de Maio de 2022  
**ICAGGM 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Aplicada e Modelagem Geotécnica**  
 Roma - Itália

03 e 04 de Maio de 2022  
**ICGFE 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica e Engenharia Fundamental**  
 Cingapura - Cingapura

09 e 10 de Maio de 2022  
**ICSMEG 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Geotécnica Ambiental**  
 Dubai- Emirados árabes

09 e 10 de Maio de 2022  
**ICSEGG 2022: Conferência Internacional sobre Engenharia de Solo, Geotecnia e Geologia**  
 Dubai- Emirados árabes

09 e 10 de Maio de 2022  
**ICAMG 2022: Conferência Internacional sobre Medições Avançadas em Geotecnia**  
 Dubai- Emirados árabes

13 e 14 de Maio de 2022  
**ICCEGG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia e Geologia de Engenharia Costeira**  
 Amsterdã - Holanda

13 e 14 de Maio de 2022  
**ICEGGE 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Ambiental e Engenharia Geoambiental**  
 Roma - Itália

20 e 21 de Maio de 2022  
**ICCGG 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Computacional, Geomodelagem e Geoinformática**  
 Berlim - Alemanha

07 e 08 de Junho de 2022  
**ICGG 2022: Conferência Internacional sobre Geomecânica e Geotécnica**  
 Sydney - Austrália

07 e 08 de Junho de 2022  
**ICEGR 2022: Conferência Internacional sobre Pesquisa Geotécnica Ambiental**  
 São Francisco- Estados Unidos

07 e 08 de Junho de 2022  
**ICAGE 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Aplicada e Engenharia**  
 São Francisco- Estados Unidos

10 e 11 de Junho de 2022  
**ICSG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia do Solo**  
 Copenhague - Dinamarca

10 e 11 de Junho de 2022  
**ICEGSA 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Ambiental para Aplicações Sustentáveis**  
 Barcelona - Espanha

10 e 11 de Junho de 2022  
**ICEGGA 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Ambiental e Aplicações Geoambientais**  
 Barcelona - Espanha

10 e 11 de Junho de 2022  
**ICSGFE 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia do Solo e Engenharia de Fundação**  
 Copenhague - Dinamarca

10 e 11 de Junho de 2022  
**ICGEG 2022: Conferência Internacional sobre Engenharia Geofísica e Geotécnica**  
 Copenhague - Dinamarca

15 e 16 de Junho de 2022  
**ICSMG 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo em Geotecnia**  
 Toronto - Canadá

15 e 16 de Junho de 2022  
**ICAEG 2022: Conferência Internacional sobre Avanços em Geotecnia Ambiental**  
 Toronto - Canadá

17 e 18 de Junho de 2022  
**ICMGSM 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica Marinha e Mecânica do Solo**  
 Riga- Letônia

24 e 25 de Junho de 2022  
**ICSMGE 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica**  
 Paris - França

24 e 25 de Junho de 2022  
**ICSGR 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia e Pesquisa do Solo**  
 Istambul - Turquia

05 e 06 de Julho de 2022  
**ICMGUM 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia de Mineração e Mineração Subterrânea**  
 Cingapura - Cingapura

08 e 09 de Julho de 2022  
**ICEGR 2022: Conferência Internacional sobre Pesquisa Geotécnica Ambiental**  
 Praga- Tcheca

08 e 09 de Julho de 2022  
**ICSGFE 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia do Solo e Engenharia de Fundação**  
 Praga- Tcheca

15 e 16 de Julho de 2022  
**ICSG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia do Solo**  
 Estocolmo - Suécia

15 e 16 de Julho de 2022  
**ICEGA 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Ambiental e Aplicações**  
 Estocolmo - Suécia

19 e 20 de Julho de 2022  
**ICSGA 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia do Solo e Aplicações**  
 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 Julho de 2022  
**ICAGRR 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Avançada de Estradas e Ferrovias**  
 Helsinque - Finlândia

19 e 20 de Julho de 2022  
**ICSEGG 2022: Conferência Internacional sobre Engenharia de Solo, Geologia e Geotecnia**  
 Copenhague - Dinamarca

19 e 20 de Julho de 2022  
**ICAEGG 2022: Conferência Internacional sobre Geologia e Geotecnia de Engenharia Aplicada**  
 Paris - França

19 e 20 de Julho de 2022  
**ICEG 2022: Conferência Internacional sobre Geotecnia Ambiental**  
 Toronto - Canadá

05 e 06 de Agosto de 2022  
**ICGCRP 2022: Conferência Internacional sobre Geotécnica, Pesquisa Atual e Problemas**  
 Montreal - Canadá

05 e 06 de Agosto de 2022  
**ICGAG 2022: Conferência Internacional de Geotecnia e Geotecnia Aplicada**  
 Amsterdã - Holanda

19 e 20 de Agosto de 2022  
**ICSMGE 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica**  
 Londres-Reino Unido

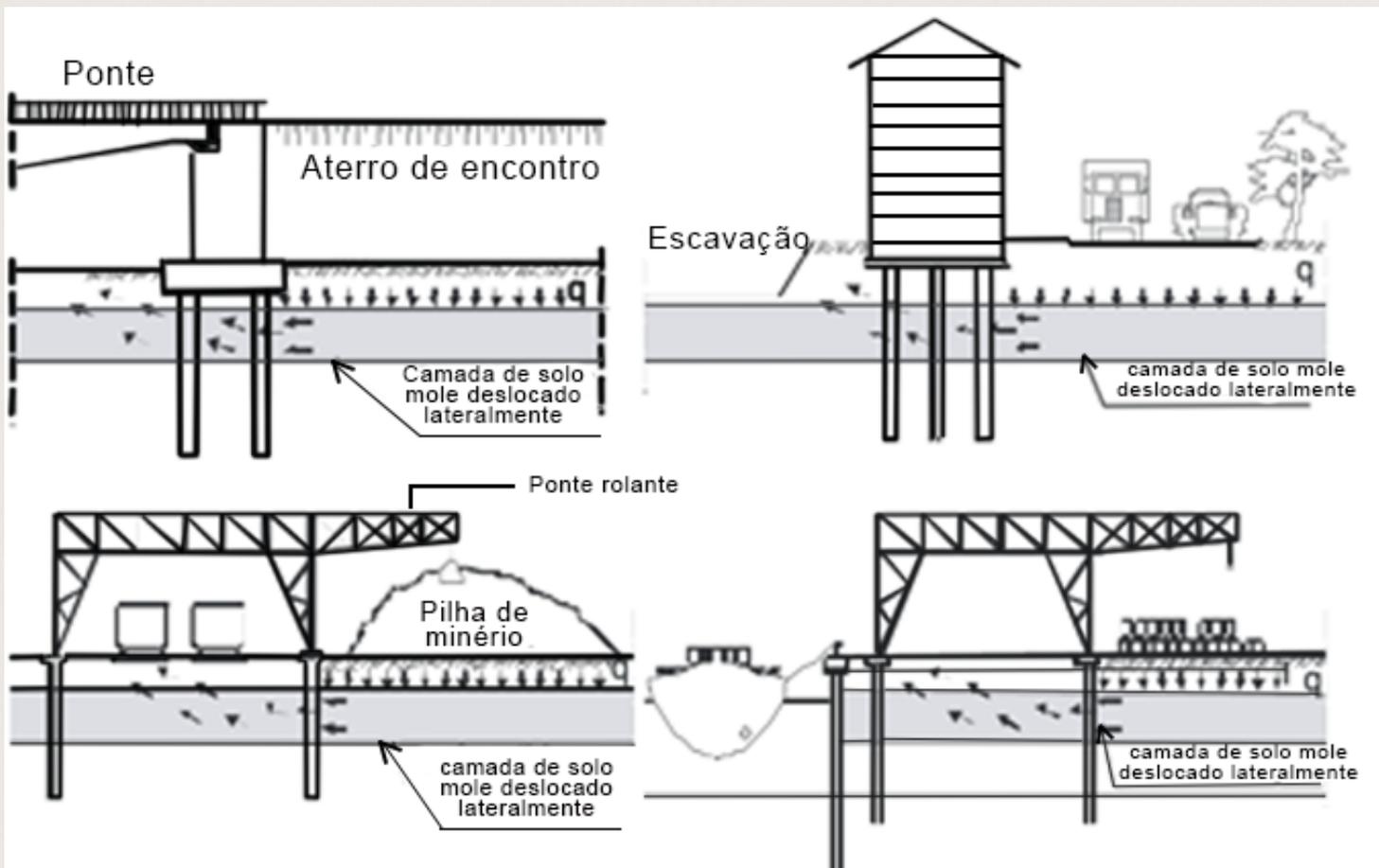
19 e 20 de Agosto de 2022  
**ICSMG 2022: Conferência Internacional sobre Mecânica do Solo e Geotécnica**  
 Londres-Reino Unido

## GOSTARIA DE SABER MAIS INFORMAÇÕES ACERCA DO EFEITO TSCHEBOTARIOFF

**M**ovimentações horizontais, no solo, são geradas por qualquer tipo de intervenção, particularmente carregamentos assimétricos. Caso ocorram, nas proximidades de estruturas existentes, torna-se preocupante o efeito destes movimentos, em suas

fundações, pois a existência de estacas, em camadas de solos susceptíveis à movimentos horizontais, sofrerão tensões representadas pelo impedimento à deformação do terreno. Este fenômeno, conhecido como "Efeito Tschebotarioff", é característico na presença de solos moles. Alguns exemplos típicos, são na construção de

aterros rodoviários ou escavações adjacentes à estaqueamentos. Muito frequentemente, pilhas de minérios adjacentes à estaqueamentos de trilhos, de pontes rolantes ou ferrovias, no interior de indústrias, dão motivo a este efeito. Veja as fotos à seguir:



Exemplos da ocorrência do fenômeno "Tschebotarioff".



Cravação de estacas metálicas em solos moles, seguindo-se a formação de carregamento assimétrico dentro desta obra, na construção de um shopping no Rio de Janeiro. O peso dos aterros, provocou empuxos horizontais no solo mole, causando o efeito Tschebotarioff nas estacas metálicas curvando-as.

Estacas, submetidas a carregamentos transversais do solo, ao longo de sua profundidade, contra seus fustes, são conhecidas como “passivas”, análogo ao fenômeno do atrito negativo, pelo movimento vertical do solo, causado pelo processo de adensamento da argila mole. Como estacas são, normalmente, projetadas considerando-se a segurança estrutural e geotécnica, levando em conta sua capacidade de carga axial, deve-se atentar para os casos em que são carregadas lateralmente, a fim de se evitar o aparecimento de esforços de flexão, não previstos inicialmente. Apesar de inúmeros casos trágicos, relatados na literatura, torna-se super importante estimar, corretamente, os esforços desenvolvidos. Os principais fatores, que influenciam solicitações laterais, são a inten-

sidade do carregamento, o fator de segurança, características de camadas compressíveis, características das estacas, a distância das estacas ao carregamento, o efeito de grupo, o tempo e, claro, o adensamento da argila. Para avaliação dos esforços, desenvolvidos nas estacas, provenientes do “Efeito Tschebotarioff”, existe uma enorme quantidade de métodos empíricos, analíticos e computacionais disponíveis. Contudo, devido a diversos fatores que o influenciam, a estimativa obtida por diferentes métodos, ainda apresenta grande dispersão. Comparando-se os esforços estimados, por meio de diferentes métodos analíticos e computacionais, com os obtidos por meio de retro-análises, dos deslocamentos medidos, por inclinômetros observa-se, também, baixo ajuste compara-

tivo, o que significa estimativas muito conservadoras ou, por outro lado, subestimativas perigosas. Esta falta de precisão, gera incertezas e insegurança no projeto de aterros, construídos próximos a grupos de estacas. Para contornar esta situação, uma única medida prática pode ser tomada, a fim de minimizar ou mesmo evitar o efeito de sobrecargas assimétricas, em estacas próximas. É o melhoramento do solo, readequando-o, de modo a anular os consequentes empuxos horizontais criados a serem gerados. Os principais influenciadores são:

## 1 INTENSIDADE DO CARREGAMENTO

Logicamente, quanto maior a intensidade do carregamento assimétrico, maior será os

deslocamentos horizontais no terreno e, conseqüentemente, maiores serão os esforços desenvolvidos ao longo dos fustes das estacas. Ou seja, quanto maior for a sua altura, maior será sua influência no “Efeito Tschebotarioff”. Existe, no entanto, um valor de carregamento para o qual o solo atinge sua pressão limite e, a partir daí, não haverá mais incremento da tensão horizontal, que o movimento do solo aplica nas estacas. Isto, porque quando a pressão limite é atingida, ocorre a plastificação do solo, ao redor das estacas e o fluxo de solo mole, ao redor. Estima-se que a pressão limite do solo, no caso de estacas isoladas, é de aproximadamente  $10S_u$ .

## 2 FATOR DE SEGURANÇA

O fator de segurança, à ruptura global, é um dos fatores mais importantes para o fenômeno do “Efeito Tschebottarioff”, associado à superfícies que atinjam o estaqueamento e não, simplesmente, ao fator mínimo, associado à uma superfície distante. Quando o fator de segurança é reduzido, o efeito nas estacas é muito

intenso. Recomenda-se atenção especial aos esforços de flexão nas estacas, quando a pressão induzida pelo aterro, superar três vezes a resistência não drenada das camadas argilosas, o que corresponde a um fator de segurança 1,7.

## 3 CARACTERÍSTICAS DAS CAMADAS COMPRESSÍVEIS

Solos moles, mais resistentes, estão mais longe da ruptura e solicitarão menos as estacas, por outro lado, caso o peso do aterro seja suficientemente alto, um solo mais resistente tem capacidade de provocar maiores empuxos nas estacas, ao se plastificar, em seu entorno. Por exemplo, uma argila mole com  $S_u=40\text{kPa}$ , quando se plastifica entorno da estaca, é capaz de exercer maior empuxo contra seu fuste, do que uma argila mais mole com  $S_u=10\text{kPa}$ .

## 4 CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS

Observando características das estacas, a maior influência devido ao “Efeito Tschebota-

rioff”, dever-se-á ao módulo de rigidez à flexão da seção transversal (EI), a largura da estaca na direção perpendicular ao deslocamento do solo e sua inclinação. Estacas mais rígidas possuem momento resistente mais alto e se deformam menos. Por outro lado, absorvem mais carga para uma mesma deformação. Estacas mais largas, terão maior área submetida ao empuxo lateral, de forma que a força de “arraste”, resultante, será maior. Outro fator de influência é a inclinação da estaca pois, dependendo de sua orientação, esforços adicionais, provocados por deslocamentos verticais, poderão tanto aumentar quanto reduzir esforços atuantes.

## 5 DISTÂNCIA DAS ESTACAS AO CARREGAMENTO

Quanto mais próxima uma estaca estiver da borda do aterro, maiores serão os deslocamentos e esforços atuantes. Deslocamentos horizontais máximos, ocorrem ao longo da profundidade, localizada ao pé do talude e diminuem a medida em que se afasta do aterro.

## 6 EFEITO DE GRUPO

Raramente, estacas encontram-se posicionadas isoladamente. Quase sempre, são em grupos, com seus topos interligados por meio de blocos de coroamento, lajes ou vigas. Para se analisar o efeito de grupo, em estacas, compararam-se os resultados de testes de laboratório, realizados em estacas isoladas, com resultados obtidos em duplas de estacas, posicionadas tanto paralelamente à direção do movimento do solo (colunas), como posicionadas perpendicularmente à direção do movimento do solo (fileiras). Testou-se o espaçamento entre estacas de 3B e 5B, sendo B o diâmetro da estaca. Avaliou-se o efeito de grupo por meio de um fator de grupo ( $F_p$ ), através de relação, entre a pressão no limite de plastificação do solo, para uma estaca em dupla ( $p_{uc}$ ), e para uma estaca isolada ( $p_{us}$ ),  $F_p = p_{uc}/p_{us}$ . Consequentemente, quanto menor o fator de grupo, maior a influência deste efeito. Com esta metodologia, observa-se que para duplas de estacas, posicionadas em fileiras, o fator de grupo é de 0,67 para o espaçamento de 3B e de 0,81 para 5B. Já para estacas posicionadas em colunas, com espaçamento de 3B,

obtem-se  $F_p=0,77$  para a estaca mais próxima do carregamento e  $F_p=0,41$  para a estaca mais atrás. Para espaçamento de 5B, obtem-se  $F_p=0,67$ , para a estaca mais próxima do carregamento, e  $F_p=0,76$  para a estaca mais atrás. Para duplas de estacas, em colunas, observa-se que a estaca mais recuada também exerce influência significativa na estaca frontal.

## 7 TEMPO/ADENSAMENTO

Com o passar do tempo, embora haja acréscimo da resistência do solo argiloso mole, devido ao adensamento, fator favorável, há, também, aumento das deformações devido ao adensamento e à fluência do solo (creep), resultando em efeito desfavorável.

### REFERÊNCIAS

- Coutinho, R.Q.; A.T.J.; OLIVEIRA, J. T. R. Conferência Palheta: Experiência, Tradição e Inovação. In: Seminar on Special Foundation Engineering and Geotechnics. SEFE IV, São Paulo, Brasil. 200. p. 53-79.
- DEVOS, M; WHEMAN, V. WORKPACKAGE 3- Innovative Design Methods in Geotechnical Engineering. GeoTechNet - European Geotechnical Thematic Network, 2005, 90p., Site: <http://citeseerx.ist.psu.edu>.
- DUNNICLIFF, J.; GREEN, G.E. Geotechnical instrumentation for monitoring field performance. 1988.
- BEDESCHI, Marcus Vinicius Rios. Recalques em aterro instrumentado construído sobre depósito muito mole com drenos verticais na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro. 2004. Tese de doutorado. Dissertação e mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. Fundações por estacas: projeto geotécnico. Oficina de Textos, 2011.
- AOKI, N. Esforços horizontais em estacas de pontes provenientes da ação de aterros de acesso. IV COBRANSEG, v.1, 1970.
- BJERRUM, L. Embankments on soft ground: State-of-art Report. Proceeding speciality conference on performance of earth and earth-supported structures, ASCE, v.2, pp. 1-54, 1972.
- DE BEER, E.E. Forces induced in piles by unsymmetrical surcharges on the soil around the piles. Conference à Caracas, Société Venezuelienne fundaciones franki, mars, 1972.
- DE BEER, E.E. The effects of horizontal loads on piles due to surcharge or seismic effects. Proceedings of special section 10-9 th international conference on soil mechanics and foundation engineering, pp. 547-553, 1977.
- FRANÇA, H.F., Estudo teórico e experimental do efeito de sobrecargas assimétricas em estacas. Dissertação de mestrado, COPPE, UFRJ, RJ, 2014.
- HEYMAN, L.; BOERSMA, L. Bending moments in piles due to lateral earth pressure. Proceedings 5th ICSMFE, v.2, pp. 425-429, Paris, 1961.

# Prevenção do efeito Tschebotarioff em aterros sobre solos moles

## PROBLEMA

Profunda rutura no solo, e o efeito Tschebotarioff, destruíram parte de uma nova ponte.

## SOLUÇÃO

### MELHORAMENTO DO SOLO COM GEOENRIJECIMENTO

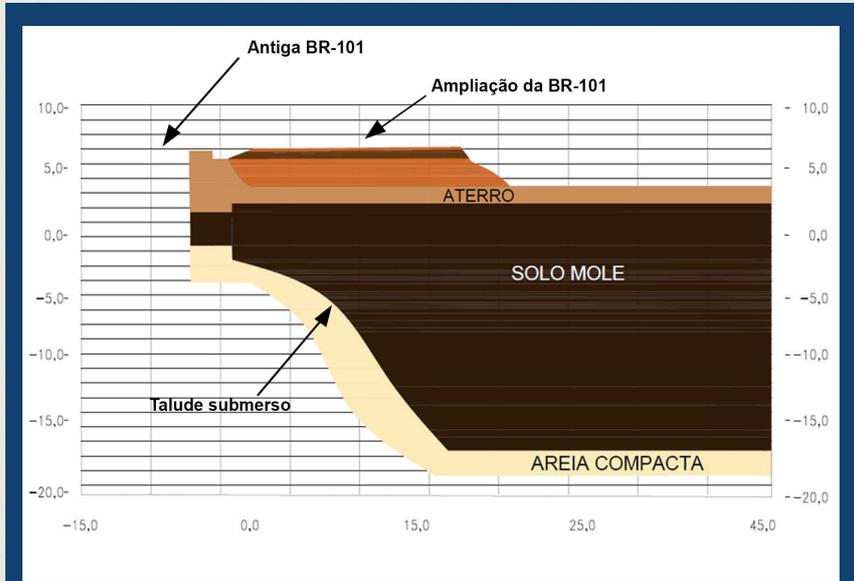
Um segmento de aterro, para duplicação da BR-101, no acesso norte da ponte sobre o rio Curimataú, na divisa do Rio Grande do Norte com a Paraíba, tinha um histórico de várias ruturas, desde sua implantação. A primeira ocorrência foi em julho de 1974, durante período das

chuvas, quando um segmento do aterro da pista existente, sofreu escorregamento de grandes proporções, interrompendo o tráfego por vários dias. Sua reconstrução, foi feita com expulsão do solo mole, utilizando-se material proveniente de cortes próximos. No mês de outubro de 2008, com o advento da ampliação do corpo estradal, e com geodrenos já cravados, instrumentos de controle instalados, monitoramento

e o aterro em andamento, com uma altura de 2,0m, um segmento, apresentou fratura na semi-pista direita, sinalizando ruptura localizada. Este fato causou mais preocupação, uma vez que todos os aterros sobre solos moles, desse lote, apresentavam comportamento normal. Diante disso, projetou-se campanha de sondagens à percussão, em cinco aterros sobre solos moles, objetivando-se conhecer seus



*A elevação do aterro, sobre profundas camadas de solo mole, para efeito de precarregamento, em local com histórico de problemas, promoveu esta mega rutura que, após o melhoramento do solo, devido a proximidade com a antiga BR-101, impossibilitou a necessária construção do escalonamento.*

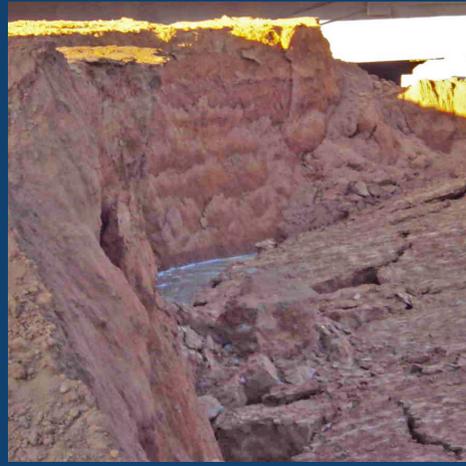


*Perfil evidenciando o profundo talude submerso, sob a plataforma da futura ampliação da BR-101, o que explica as sucessivas ruturas no local, submetidas a aterros*

perfis geológicos transversais. Os resultados indicaram que, em quatro deles, o solo mole ocorria em camadas aproximadamente horizontais, exceto em um segmento, onde a camada de solo mole aparecia de forma errática, com profundidade da ordem de 7,0m, no eixo da futura pista e de 21,0m na borda da pista antiga, estabelecendo-se um profundo talude submerso, com superfície preferencial de deslizamento. Em setembro do ano seguinte, nesse mesmo trecho, houve novo deslizamento, levantando a margem do córrego existente, que dista 50m do bordo direito de sua plataforma,



Outra rutura, provocou movimentação lateral da massa de solo, bloqueando parcialmente o Rio Curimataú.

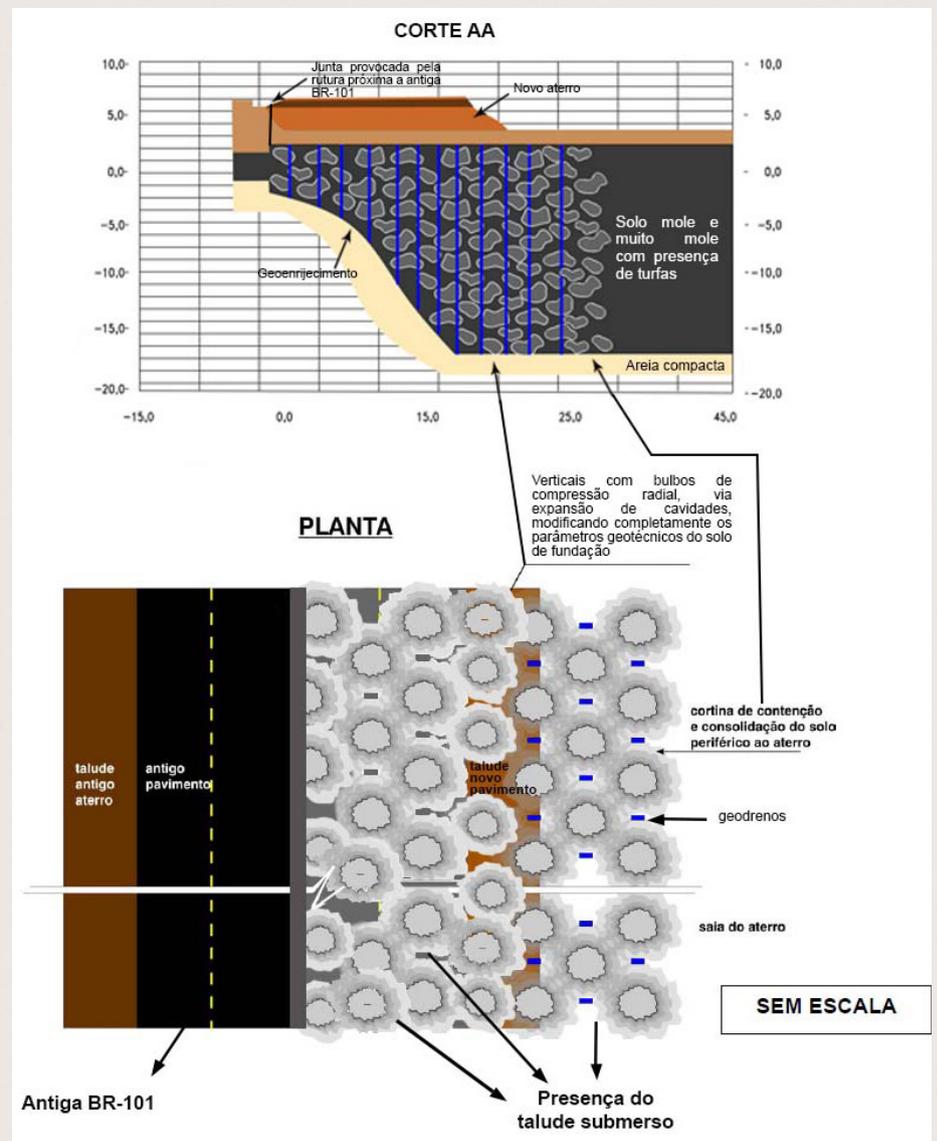


Área à jusante atingida pelo deslizamento, devido a segunda rutura.



A movimentação lateral da profunda massa de solo mole, destruiu estacas e toda a estrutura superior, via efeito Tschebotarioff.

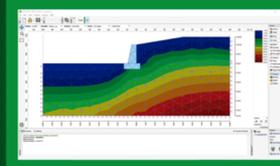
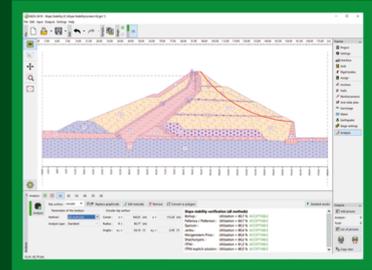
sinalizando grande profundidade. Novas sondagens complementares foram realizadas e os resultados confirmaram, também, a presença de taludes submersos, zonas de debilidade e anisotropia, presença de água subterrânea e resistência praticamente nula. A combinação destes fatores, determinou condições de ruptura ao longo de vários trechos, em diferentes profundidades, provocando enormes movimentos de massas. A última ruptura, ocorrida na forma de superfície circular profunda, passou bem abaixo do pé do talude, estabelecendo deslizamentos profundos (levantando parte da seção do Rio local), estados críticos de amolgamentos, fluxos plásticos cisalhantes, e extremamente compressíveis, além de fluxos transientes d'água do solo, de difícil compreensão. Diante dos fatos, evidenciou-se que a



Esquema do melhoramento do solo mole, com geoenrijecimento, nesta crítica região estradal, tendo em vista sua ampliação.

## 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@solucoescad.com.br](mailto:comercial@solucoescad.com.br)

Distribuído por:

**SOLUÇÕES** CAD  
BIM

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

presença de volumes de solos instáveis, sob aterros rompidos, exigia o imediato melhoramento do solo. Com a presença de profundos movimentos de massa, ainda em andamento e, sobretudo, deslocamentos horizontais que poderiam afetar a antiga BR-101, estabeleceu-se a estratégia do melhoramento do solo, com geoenrijecimento, de modo à promover a imediata alteração dos parâmetros geotécnicos, de maneira rápida, começando-se pela cravação de intensa malha de geodrenos verticais profundos, inserindo-se verticais com, bulbos de geogROUT, tendo diâmetro médio de 1,50m, circundados por cerca de 6 geodrenos, em malha quadrada de 3,0m de lado, homogeneizando-se o solo de baixo para cima, comprimindo, confinando e adensando toda a massa mole, aumentando sua resistência e rigidez, certificados, com análises pressiométricas, estabelecendo-se coeficiente de segurança favorável. Por outro lado, a continuidade do efeito compressivo radial, no solo mole, via expansão de cavidades, até a base do aterro, neutralizou, reduziu drasticamente a compressibilidade do solo mole, homogeneizando todo o solo de fundação. Estudos elaborados a partir dos ensaios de campo, envolvendo as análises pressiométricas, apresentaram resultados indicando que o comportamento estrutural, da camada de solo mole, até as profundidades de 23,0m estava absolutamente estável, adquirindo resistência e rigidez desejadas para suportar as cargas provenientes de 5m do novo aterro e dos veículos, que solicitariam na ampliação da importante rodovia. Com a instalação



#### Vista lateral

Última rutura, e o efeito Tschebotarioff: deslocamento e destruição de parte da nova infraestrutura da ponte.



#### Vista longitudinal (próximo à ponte nova)

O deslocamento da nova estrutura pelo efeito Tschebotarioff



#### Vista longitudinal(em ponto mais longe)

O deslocamento da nova estrutura pelo efeito Tschebotarioff, e a abrangência/magnitude da rutura.



Após o corte da infraestrutura, comprometida, (visualizando-se as antigas estacas), e a remoção do aterro, iniciou-se o geoenrijecimento



Visão panorâmica da região, com rio ao fundo, promovendo-se o geoenrijecimento do solo mole.



Após a remoção do aterro rompido, iniciou-se o geoenrijecimento

de inclinômetros, estrategicamente posicionados, elevou-se os aterros, sem qualquer processo deformativo lateral atuante. Os resultados dos estudos, do estado de estabilidade, evidenciaram três cenários:

**1**

A profundidade atingida pelos últimos deslizamentos, na tentativa de se elevar os aterros, alcançou cerca de 22,0m ou mais, chegando a levantar áreas distantes, 50,0m do aterro rompido. Fato comprovado, durante o geoenrijecimento, onde o processo de formação dos bulbos de compressão radial do solo, praticamente dobrou, superando as previsões nessas cotas, considerando-se estado de plastificação em que se encontrava o solo mole, principalmente na faixa de profundidade entre 13,0-20,0m.

**2**

O estudo de estabilidade mostrou, claramente, que os círculos de deslizamentos mínimos, mais abrangentes, atingiram profundidade de 12,0m, significando que entre 12,0m e 20/22,0m, a camada considerada crítica atingiu nível alto de estabilidade sustentável. O fator de segurança mínimo foi de  $FS=3,92$ . Os parâmetros,  $S_u$ , foram obtidos pela pressiometria.

**3**

O estudo de estabilidade considerou parâmetros de cisalhamento,  $S_u$ , provenientes dos ensaios Palheta (Vane Test) iniciais. Os resultados encontrados, para os fatores de segurança, indicaram círculo de deslizamento mínimo, com  $FS=3,68$ , e outro mais abrangente com  $FS=5,27$ . Neste, a profundidade atingida chegou a 13,0m, confirmando que a camada abaixo, atingiu capacidade suporte, que garante ao conjunto do solo melhorado total estabilidade.



Remoção da cabeça das estacas, blocos e travessas, do lado de cá da ponte, na região de destruição pelo efeito Tschebotarioff



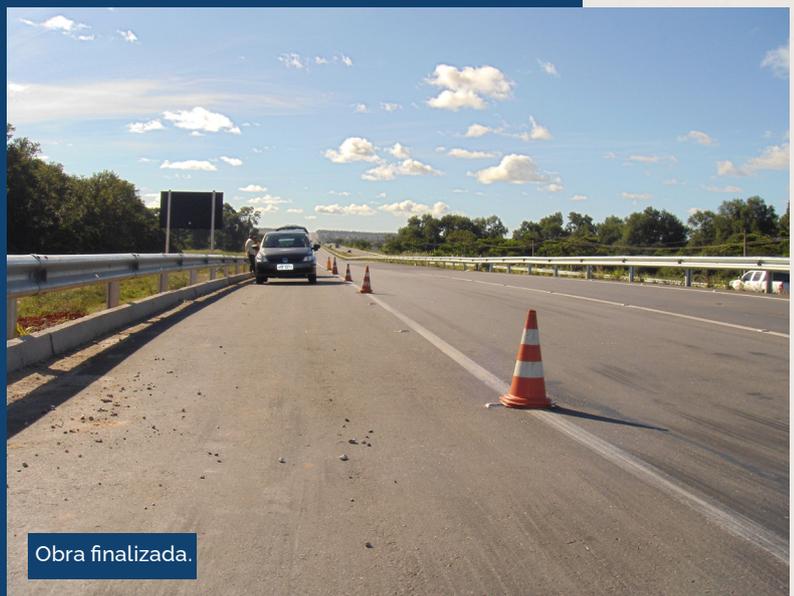
O geoenrijecimento sendo realizado em um dos dois trechos



Execução do geoenrijecimento próximo ao rio.



O novo aterro foi elevado, após a execução do geoenrijecimento, que teve como função modificar todo o depósito de solos moles com histórico antigo e recente de ruturas. Repare que não houve espaço, para interligar adequadamente com escalonamento, o novo aterro ao antigo.



Obra finalizada.

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

*ou cinzenta. Para torná-lo rijo faça*

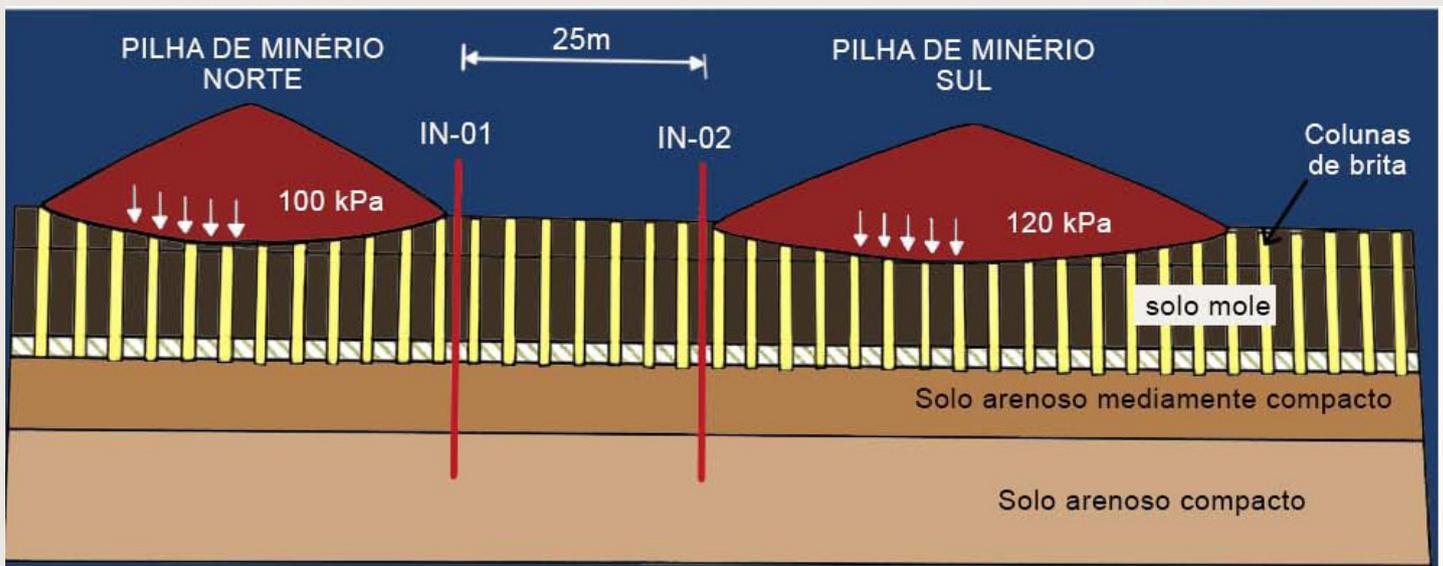
**MELHORAMENTO DE SOLO**

## "MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES" COM COLUNAS DE BRITA. E O EFEITO TSCHEBOTARIOFF.

Pesquisas nacionais e internacionais descrevem, experimentalmente e numericamente, o comportamento flexional de colunas de brita, mostrando que o comportamento é similar ao de estacas convencionais. Esta forma de intervenção é feita com o objetivo de transferir as cargas verticais, dos futuros aterros, para camadas mais profundas e resistentes, gerando, de forma característica, efeitos de arqueamento e transferência de carga. Fica lógico que, pesquisas sobre o comportamento mecânico de colunas de brita referem-se, apenas, à deformações verticais no aterro que suporta, analisando-se a evolução dos recalques. Movimentos horizontais da massa de solo mole, são pouco ou nada investigados. Um exemplo, foi em

uma indústria siderúrgica, localizada no Rio de Janeiro, construída em área com extensos e profundos depósitos de solos moles. O solo de fundação foi "melhorado", com colunas de brita, cujo desempenho foi minuciosamente investigado, por grupos de pesquisa. O comportamento, das colunas de brita, foi monitorado com intensa instrumentação geotécnica de campo e simulada, via análise numérica, pelo método de elementos finitos (MEF). As cargas foram pilhas de minério (totalizando tensão vertical média aplicada de 100-120kPa). As colunas de brita, foram instaladas com espaçamento variável de 1,75m a 2,20m, em uma disposição quadrada, até 12m de profundidade, em média. A figura, a seguir, apresenta a solução geotécnica adotada, a geometria do pátio de minério e o

modelo utilizado, inclusive a posição dos inclinômetros. Os deslocamentos horizontais foram medidos com inclinômetros e simulados numericamente. O gráfico, obtido nas análises numéricas, indica a influência do carregamento das pilhas, em ambos os inclinômetros, com a pilha Sul, de maior altura, com maior influência nos resultados dos INs. Esta influência também foi observada nos dados de campo. Devido a maior dimensão, a Pilha Sul conseguiu afetar as leituras no inclinômetro IN01, situado no pé da Pilha Norte, tornando negativa as leituras. Isso indica que as colunas de brita não conseguem contrastar a propagação de movimentos horizontais, que atingiram até o IN-01, posicionado a cerca de 25m de distancia da Pilha Sul.



Modelo geotécnico com colunas de brita, pilhas de minérios e inclinômetros.



## 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 MCI 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 MCI – 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 MCI'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

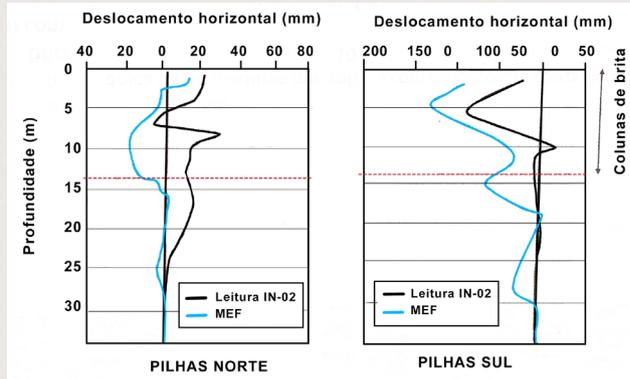
Leica Geosystems AG

CH-9435 Heerbrugg

Switzerland

[media@leica-geosystems.com](mailto:media@leica-geosystems.com)

Ficou evidente que colunas de brita comportam-se como estacas carregadas lateralmente. Além disso, quanto mais esbelta for a coluna, mais sujeita estará à flexão. Assim, ao se ultrapassar sua resistência lateral, que por si só é muito baixa, as deformações aumentarão, levando o solo à ruptura. A experiência brasileira mostra que movimentos horizontais não são impedidos por colunas de brita, que acompanham o deslocamento do solo, ficando susceptível à instabilidades.



Deslocamento horizontal medido e simulado pelo modelo numérico (MEF).

## REFERÊNCIAS

- Thomas Kim é engenheiro civil e trabalha com melhoramento de solos moles.
- Almeida, M.S.S., Oliveira, J.R.M.S. e Spotti, A.P., "Previsão e desempenho de aterro sobre solos moles: estabilidade, recalques e análises numéricas" In: Encontro técnico previsão de desempenho x comportamento real, anais, São Paulo, ABMS, p.69-94,200.
- Besançon et al., "analyse des paramètres de calcul intervenant dans l'è dimensionnement des colonnes ballastées" Renforcement en place des sols et des roches. Outubro. Paris, 1984.
- Almeida, M.S.S., Marques, M.E.S., "aterros sobre solos moles- projeto e desempenho". São Paulo: Editora oficina de textos, vol.1.p.254,2010
- Aoki, N., "Esforços horizontais em estacas de pontes provenientes da ação de aterros de acesso". Anais, 4º CBMSEF, RJ, Vol.1, Tomol.,1970.
- Bigot, G.,Bourges,F., Frank, R., et Guegan, Y., "Action du déplacement latéral du sol sur unpieu", Proceedings, 9th. ICSMFE,Tokio, vol.1, p.407-410,1977

# 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 tonou-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 modernissima tecnologia (com preço atrativo)**

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



## 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](http://www.engegraut.com.br/geoenrijecimento/MC_v1.0.rar)

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



### PARCEIROS



TRUSTED MEASUREMENTS®

