

Soft Soil Brazilian Review

REVISTA GEOTÉCNICA DE SOLOS MOLES

04

A criação de uma nova área portuária, em São Luiz, MA, exige o melhoramento do solo mole de fundação.

13

Extenso loteamento, com solos moles, na grande Recife, PE, vai ser preparada para ser um grande bairro.

28

Estudo geotécnico, e análise de soluções para uma grande área, sobre solos moles, onde será implantado um novo loteamento, com urbanização, em um município catarinense.

24 - Consulta

A falta de projeto, o desconhecimento geotécnico sobre solo mole e a ausência de acompanhamento da obra são os principais problemas do engenheiro. Quais direções devem ser seguidas, considerando-se a inevitável presença de solos moles, na futura obra a ser urbanizada?

Urbanização de Grandes Áreas

E A PRESENÇA DE SOLO MOLE





Urbanização e aproveitamento de grandes áreas e a presença de solos moles.

CARTA DO EDITOR

A universalização do saneamento e da gestão urbana, se deve a expectativa de que, com o ingresso do setor privado na prestação de serviços de saneamento/urbanização, promovida pela lei federal 14.026/2020, com o aporte de recursos financeiros, está sendo suficiente para cumprir as metas de universalização estabelecidas no Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) e, assim, incentivar o aproveitamento de grandes áreas, com presença de solos moles, além de áreas poluídas, para a construção de estradas, áreas portuárias, logísticas e residenciais. Depósitos de solos moles são, comumente, encontrados em costas oceânicas e em várzeas ribeirinhas de diversas cidades, como por exemplo, Recife-PE, Goiana-PE, Rio de Janeiro- RJ, Santos- SP, Porto Alegre- R S, Belém-PA, dentre outras cidades, caracterizadas por apresentarem alta compressibilidade, baixa condutividade hidráulica e baixa resistência ao cisalhamento, resultando em um conjunto de características que constituem um desafio à Engenharia Civil. A região metropolitana do Recife, por exemplo, é composta pela capital pernambucana, Recife, e outros 14 municípios vizinhos ou próximos, sendo a 5ª região metropolitana mais populosa do Brasil. A planície sedimentar quaternária, localizada entre os municípios de

Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, possuía presença de alagados com solos moles, tornando primordial o conhecimento da formação geológica, solos e minerais que compõe, bem como resulta em uma diversidade de estudos geológicos-geotécnicos, peculiaridade do material em cada local e engenhosidade, frequentemente necessário nas soluções destes problemas. A realidade é que a urbanização desordenada e a alta densidade populacional, resultaram em construções sobre espessas camadas de solos moles. Obras viárias por sua vez, são de grande extensão, percorrem mais de um ambiente geológico e, muitas vezes, transpe relêvos adversos, resultando em soluções de engenharia distintas para cada trecho específico. Aterros construídos sobre solos fracos e muito compressíveis da ao projetista, geralmente, quatro alternativas: (i) evitar o solo mole, através da relocação do aterro ou do uso de estrutura elevada (viadutos); (ii) remover o solo mole e substituí-lo por material adequado; (iii) Melhoramento do solo, readequando suas propriedades; e, (iv) projetar o aterro de acordo com o solo fraco. A escolha da solução depende de diversos fatores, cujo perfil geológico-geotécnico é a variável mandatória.

Boa Leitura
M.Sc. Joaquim Rodrigues.



SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE

Rua Correia de Araújo, 12- Barra da Tijuca
Rio de Janeiro/ RJ- Brasil- CEP 22611-070

Tel: (21) 3851-6218

EDIÇÃO

DIRETOR EDITORIAL
Engº Joaquim Rodrigues

DIRETORES ADJUNTOS
Engº Thomas Rodrigues
Engº Roger Kim
Engª Patricia Tinoco

PUBLICIDADE, ASSINATURA
Cleide Ferreira

EDITOR DE ARTE
Victor Peres

REPRINTS EDITORIAIS
Mariana Tati

FALE CONOSCO

softsoilgroup.com.br

@engegraut

(21) 3154-3250

atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br

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



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

30

EDIÇÃO- JULHO-AGOSTO 2023

Sumário

A criação de uma nova área portuária, em São Luiz, MA, exige o melhoramento do solo mole de fundação. 04

M.Sc Joaquim Rodrigues

Extenso loteamento, com solos moles, na grande Recife, PE, vai ser preparada para ser um grande bairro. 13

Eng. Patricia Karina

Estudo geotécnico e análise de soluções, para uma grande área, sobre solos moles, onde será implantado um novo loteamento, com urbanização, em um município catarinense. 28

Eng. Thomas Kim



Capa



A demanda crescente de obras civis, em grandes centros urbanos, inevitavelmente, exige a construção em áreas cujos subsolos apresentam baixa ou mínima capacidade de suporte e alta compressibilidade, caracterizado por espessos depósitos de argila mole. Em face dessa demanda, é fundamental conhecer as características, parâmetros de compressibilidade, de deformabilidade e de resistência dos solos argilosos moles.

Seções

Editorial 02

Consulta 24

Agenda 23

softsoilbrazilianinstitute.com.br

A CRIAÇÃO DE UMA NOVA ÁREA PORTUÁRIA EM SÃO LUIZ, MA, EXIGE O MELHORAMENTO DE SOLO DE FUNDAÇÃO.

O complexo portuário da Baía de São Marcos, em São Luis, MA, também denominado complexo Portuário de São Luis ou ainda, Complexo portuário do Maranhão, hoje é constituído pelo porto do Itaqui (Porto organizado, administrado pela EMAP), pelo terminal privado da Alumar (administrado pelo consorcio Alumar) e pelo terminal privado de

Ponta da Madeira (administrado pela VALE). Ao mesmo tempo, dois novos projetos portuários, já se encontram em curso: o Porto São Luis, e o Porto de Alcantara. Outras instalações, de pequeno porte, especialmente dedicadas ao transporte de passageiros e atividades de pesca podem, igualmente, serem consideradas como parte desse complexo. A importância do complexo por-

tuário da Baía de São Marcos é indiscutível para a atividade portuária nacional. Atualmente, quase 20% do volume de carga movimentada nos portos terminais brasileiros passam por esse complexo e, portanto, pela cidade-portuária de São Luis. Empreendimentos portuários ocupam extensas áreas horizontais, cobrindo dezenas de milhares de metros quadrados, caracterizadas por estruturas hori-

zontais leves, com cargas de compressão muito pequenas, geralmente com tensões que mal chegam a 5ton/m². Neste contexto, não justifica-se a utilização de elementos de fundação profunda. A presença de solo pouco resistente é perfeitamente equalizada com melhoramento do solo mole, utilizando-se o geoenrijecimento. As regiões pertinentes à este novo porto são as seguintes:

Terminal (a)

Nessa região do porto, haverá influência da maré, aparentemente sem necessidade de melhoramento do solo.

Terminal (b)

Há presença de alteração de rocha no local, sinalizando que o terminal ficará assentado em solo resistente e sobre solos moles.

Terminal (c)

Há regiões de corte e aterro, com camada superficial de 2m de profundidade, com características de solo mole. A partir dos 5m, surgem 30 golpes no SPT. Há necessidade de melhorar o solo com baixa capacidade de carga antes de promover o aterro.

Terminal (d)

Na região mais baixa há presença de solo mole até profundidades de 8m. O nível d'água é aflorante e influenciado pelo mangue. Há necessidade de melhorar o solo com baixa capacidade de carga antes de introduzir o aterro.

Análise das soluções

A escolha das soluções geotécnicas, destes solos pouco resistentes (solo mole), por conta de sua baixa capacidade suporte, necessita de avaliação técnica, tanto para questões de estabilidade, como de deformações. Por esta razão, a existência de diferentes soluções necessita de estudo, a fim de garantir compatibilidade, menor tempo e resultados adequados, tanto de resistência quanto de rigidez. Por esta razão, este estudo compara as seguintes alternativas de soluções geotécnicas:

A Deep soil mixing

Solução à base de colunas, onde transfere-se as cargas da superfície para camadas resistentes, misturando-se cimento com solo, mas mantendo-se o solo mole ao redor, em estado passivo, o que causa problemas de recalques diferenciais. A presença de matéria orgânica e água salobra, compromete a mistura e as reações de hidratação do cimento com solo, podendo-se consumir cerca de 500kg/m³. Utiliza aterro granular com diversas camadas de geogrelhas para se fazer a plataforma de transferência de carga sobre as colunas, com intuito de diminuir a questão do recalque.

B Estaqueamento

Em decorrência dos aterros a serem feitos, e das pequenas cargas atuantes, especificar fundação profunda, torna-se solução onerosa, pouco efetiva, dentro da equação custo-benefício. A solução, com estaqueamento, apenas das fundações da estrutura dos terminais, gera enormes problemas, já que promove contrastes de rigidez entre estrutura e pavimento, amplificando os efeitos negativos decorrentes dos recalques diferenciais entre áreas internas e externas não estaqueadas e a estrutura. Por isso, não é aconselhável optar esta solução. O melhoramento do solo atende perfeitamente esta questão técnica.

Pêra ferroviária e área administrativa

Nestes locais, há geração de grandes cortes. Na região de aterros, constata-se presença de solos moles, que deverá ser melhorado com níveis de rigidez compatíveis, de modo a evitar recalques diferenciais, para receber aterros.

Outras áreas

Nestas áreas, de baixada, concentrar-se-á as obras de arte. Há, evidentemente, presença de solos moles com profundidades em torno de 5m, que deverão ser melhoradas.



Figura 2 - Além das campanhas de sondagens, há também, necessidade de se avaliar o tipo de aterro existente que, muitas vezes trata-se de pseudo lixões.

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>

C

Substituição do Solo

Torna-se crítico, na atual realidade mundial, devido ao aspecto ambiental, tanto de escavação quanto de bota fora. O nível d'água do solo é, também, crítico porque a escavação, incide em problemas inerentes nos taludes e levantamento do fundo, devido a ausência de critérios normativos, assim como de compactação das camadas de aterro.

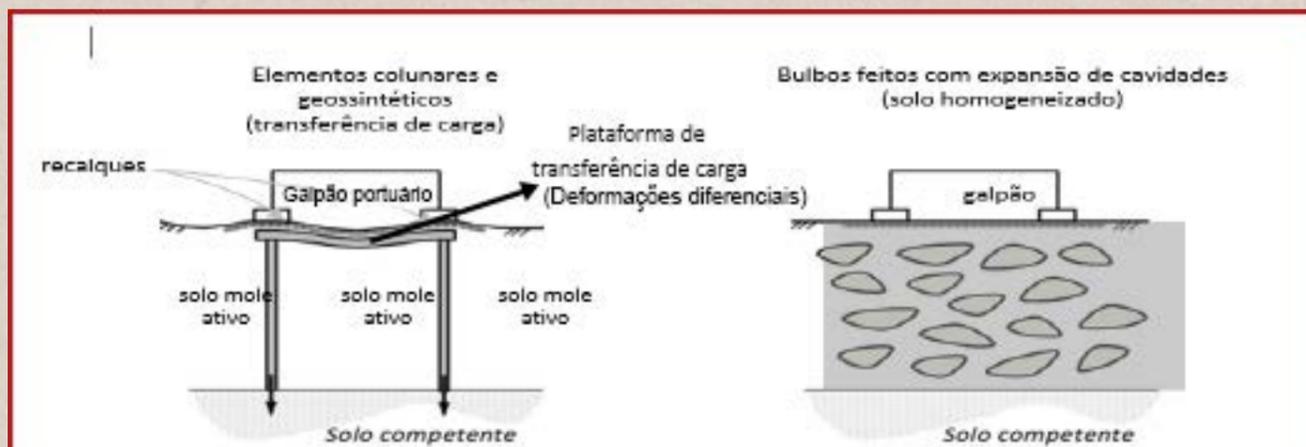


Figura 2. Dois conceitos totalmente diferentes: transferência de carga com colunas ou estacas e o melhoramento do solo mole com geoenrijecimento (CPR Grouting.)

D

Melhoramento do solo mole

Também denominado de geoenrijecimento, faz uso do máximo potencial de inovação tecnológica, objetivando modificar a condição do solo argiloso mole, utilizando-se não mais tensões verticais, e sim tensões radiais ao longo de toda a altura do depósito de solo mole. Sua altíssima eficiência, em razão do grande poder da homogeneização do solo, elimina a compressibilidade em prazos ultrarrápidos. O resultado são maciços homogêneos, com características geotécnicas de resistência e rigidez preestabelecidas, garantido fundação direta sobre todo o depósito de solo mole, com total segurança e rapidez.

Desta maneira, áreas internas, externas e estruturas, sobre o aterro tornam-se um único bloco, eliminando qualquer possibilidade de recalque diferencial. Conforme mostrado na Figura 2, o geoenrijecimento não promove colunas, mas sim um solo homogêneo. Testes pressiométricos permitem checar a capacidade de carga do solo de fundação, por meio da correlação entre a pressão limite líquida e a tensão admissível na fundação. Testes tomográficos do solo, com imagens, também atestam os níveis de resistência e rigidez obtidos. A solução integrada geoenrijecimento-fundação direta está esquematizada na figura a baixo.

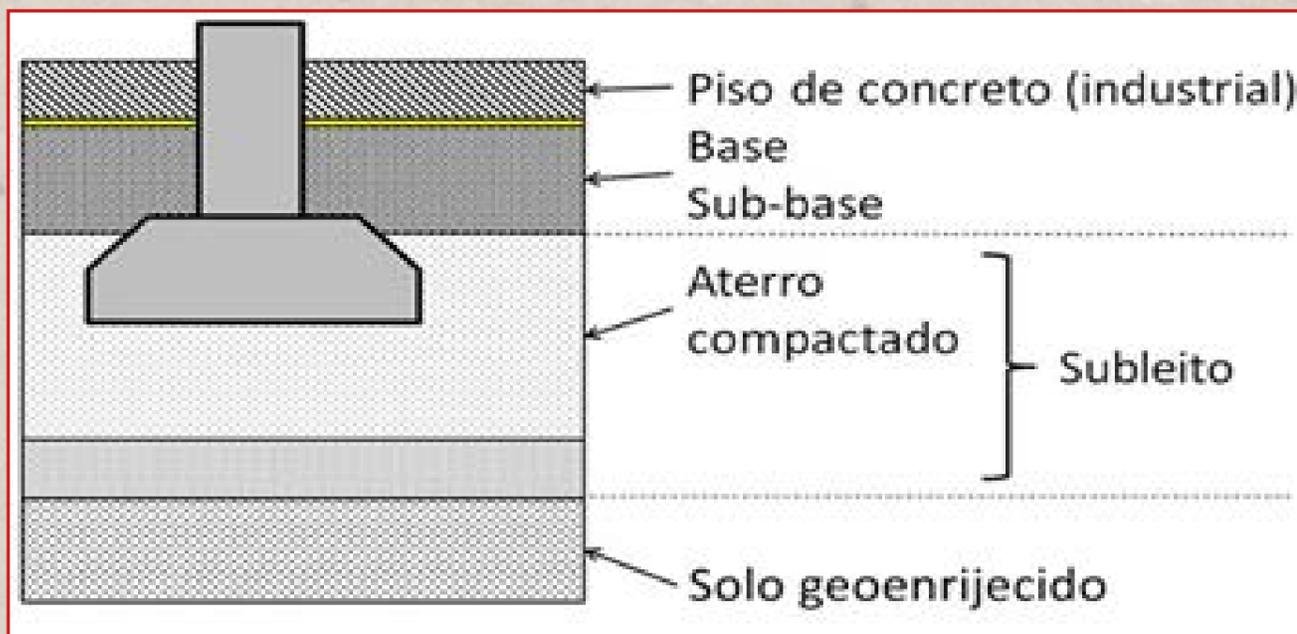


Figura 3. O solo mole geoenrijecido, com CPR Grouting, fica apto a receber as cargas do aterro, do pavimento e da estrutura sem qualquer deformação.

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

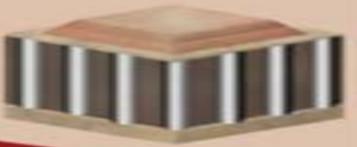
Tire todas as dúvidas com profissionais do mercado, gratuitamente.



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



	RECALQUES	TEMPO DE EXECUÇÃO	CONSTRUÇÃO	GEODRENOS	MONITORAMENTO	OBRAS DE ARTE	DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES	EFICIÊNCIA	PLATAFORMA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA
DEEP SOIL MIXING 	<ul style="list-style-type: none"> Grande e lenta quantidade de recalques. Apenas nas camadas superiores 	<ul style="list-style-type: none"> Relativamente rápido, dependendo do controle da resistência das colunas 	<ul style="list-style-type: none"> A reação de hidratação do cimento com o solo orgânico e sua água é fator limitante. 	<ul style="list-style-type: none"> Não utiliza. 	<ul style="list-style-type: none"> Aterro teste 	<ul style="list-style-type: none"> Impróprio quando há OAEs 	<ul style="list-style-type: none"> Concentração de tensões nas colunas com arqueamento sobre o solo mole 	<ul style="list-style-type: none"> Bastante baixa ~50%, devido ao envolvimento com solo mole 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliza para minimizar recalques entre colunas.
SIBSTITUIÇÃO DE SOLO 	<ul style="list-style-type: none"> Ausência de compactação em camadas gera recalques. 	<ul style="list-style-type: none"> Depende do tempo. 	<ul style="list-style-type: none"> Planejamento rigoroso. 	<ul style="list-style-type: none"> Não utiliza. 	<ul style="list-style-type: none"> Exigência de solo compactado. Controle de lançamento e compactação. 	<ul style="list-style-type: none"> Impróprio quando há OAEs. 	<ul style="list-style-type: none"> A presença de solo mole sob o novo aterro gera tensões compressivas e recalques. 	<ul style="list-style-type: none"> Pouco eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> Não utiliza.
CPR GROUTING 	<ul style="list-style-type: none"> Resposta rápida dos recalques imediato e primário ao longo de todo o depósito de solo mole 	<ul style="list-style-type: none"> Rápido e efetivo 	<ul style="list-style-type: none"> Rápida mesmo em dia de chuva. Ausência de limitações 	<ul style="list-style-type: none"> Ao longo de toda a profundidade 	<ul style="list-style-type: none"> Intrínseco ao serviço com pressiômetro e tomografia por imagem 	<ul style="list-style-type: none"> Perfeitamente projetado para junto a OAEs 	<ul style="list-style-type: none"> Solo envolvente totalmente tensionado (ativo) Não há contraste de rigidez Não há transmissão de carga Não há efeito de arqueamento Solo homogeneizado 	<ul style="list-style-type: none"> Alta Eficiência 95% 	<ul style="list-style-type: none"> Não utiliza

* Johnson, S.J. 1970 - precompression for improving foundation soils. (NHI Manual chapter 8.6, embankments on soft ground and WSDOT geotechnical design manual, 9.3.1 staged construction dec 2014)

A análise das soluções geotécnicas deixam evidentes as seguintes conclusões:

A remoção do solo mole e sua substituição, com material granular só é viável, tecnicamente, para pequenas profundidades (até 3 m) e por áreas pouco extensas. Ou seja, neste caso não é, principalmente porque o NA é variável de 0,30m a 7m.

Solução com colunas de deep soil mixing deixam recalques, pois funcionam com base em transferência de carga, que leva ao indesejado efeito de arqueamento, com o solo mole envolvente. A presença de solos orgânicos é fator limitante. Exige execução de espessa camada granular, com diversas camadas de geogrelha, para atenuar o inevitável processo de recalque diferencial.

O estaqueamento, apenas da estrutura dos empreendimentos portuários, criará problemas de recalques diferenciais entre áreas internas e externas, já que o aterro é comum a todas.

A presença de solo mole orgânico e profundidades superiores a 5mts, inviabiliza o emprego de aterro de sobrecarga, que ficará sujeito a recalques secundários importantes e descontrolados.

O geoenrijecimento representa a solução, atuando em toda a profundidade onde há solo mole, eliminando o problema de sua compressibilidade, promovendo solo homogeneizado. Desta maneira:

Evita-se atrito negativo em estacas, efeito de arqueamento, efeito Tschebotarioff, recalques diferenciais ou seja, não há patologias.

Eliminam-se recalques diferenciais entre estrutura, pavimento de concreto, e infraestrutura externa, devido ao aterro comum.

A execução de fundações e pavimento tornam-se facilitadas, já que ficam apoiadas no aterro comum.

Liberação imediata para sequência da obra.

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 melhoramento 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, em todo o país.
- JEWELL, R.A. (1988). "The mechanics of reinforced embankmentson soft soils." Geotext. Geomembr., 7: 237-273.
- KEMPFERT, H., G., GOBEL, C., ALEXIEW, D., and HEITZ, C. (2004). "German recommendations for reinforced embankments on pile- similar elements." EuroGeo3^UThird European Geosynthetics Conference, Geotechnical Engineering with Geosynthetics Munich, Germany 279-284
- LAWSON, C. R. (1995). Basal reinforced embankment practice in the United Kingdom. The practice of soil reinforcing in Europe, 173
- MATOS FERNANDES, M. e ALMEIDA e SOUSA, J. (2003). Deep excavation in soft soils. Classical and new solutions to constrol the movements. In The Challenges of Engineering in Portugal, www.odebrecht.com, pp. 203-214
- CHEN, Y. M., CAO, W. P., and CHEN, R. P. (2008a). "An experimental investigation of soil arching within basal reinforced and unreinforced piled embankments." Geotextiles and Geomembranes 26: 164-174.

Soft Soil Group
Apresenta

Webinars
solos moles

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



Extenso loteamento, com solos moles, na grande Recife, PE, vai ser preparado para ser um grande bairro.

O empreendimento se insere em uma área de 400.000 m², situado na grande Recife, PE. Prevendo a implantação de vias de acesso, para loteamentos, é composto de 11 vias, numa extensão total de 3,26 km. Possuirá ciclovias e passeios, destinados a uso comercial, residencial e industrial, além de áreas de lazer e importantes ligações com bairros e rodovias ao redor. A área receberá aterros com até 3 m de altura, de modo a se alcançar o greide de projeto. Na região há depósitos de solos argilosos moles, com profundidade média de 32m, que possuem insuficientes características geotécnicas (i.e. baixa resistência e elevada compressibilidade). O propósito desta investigação e análise é avaliar como o solo e as condições geológicas afetam o futuro projeto. Para se avaliar as propriedades geotécnicas destes depósitos de solos moles, realizaram-se campanhas de investigação geotécnica, compreendendo:



Figura 1 - O solo superficial sendo preparado.

Retirada de amostras indeformadas com Shelby, nos mesmos furos onde foram executados os ensaios de palheta, para execução de ensaios em laboratório.

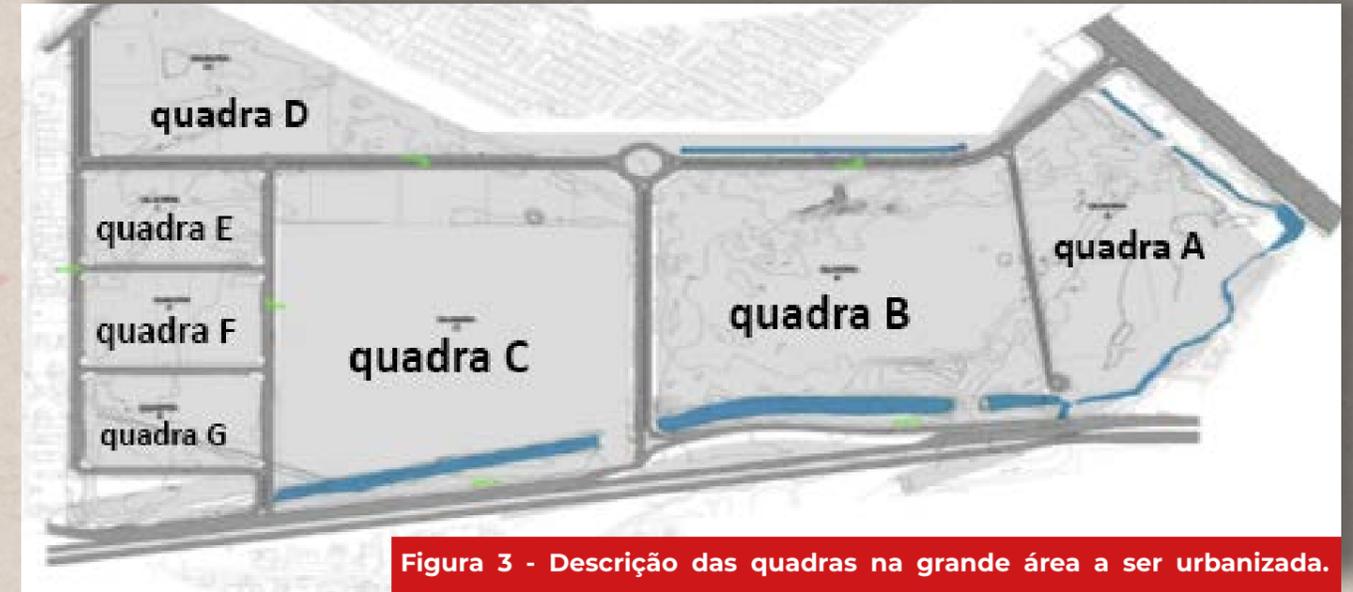


Figura 3 - Descrição das quadras na grande área a ser urbanizada.

O local apresenta solos sedimentares com granulometria variada, pertinente à argilas, areias e pedregulhos, o que compõe depósitos predominantemente argilosos rasos, profundos, heterogêneos e extremamente complexos do ponto de vista geológico e geotécnico.

A seguir sondagem típica da região:

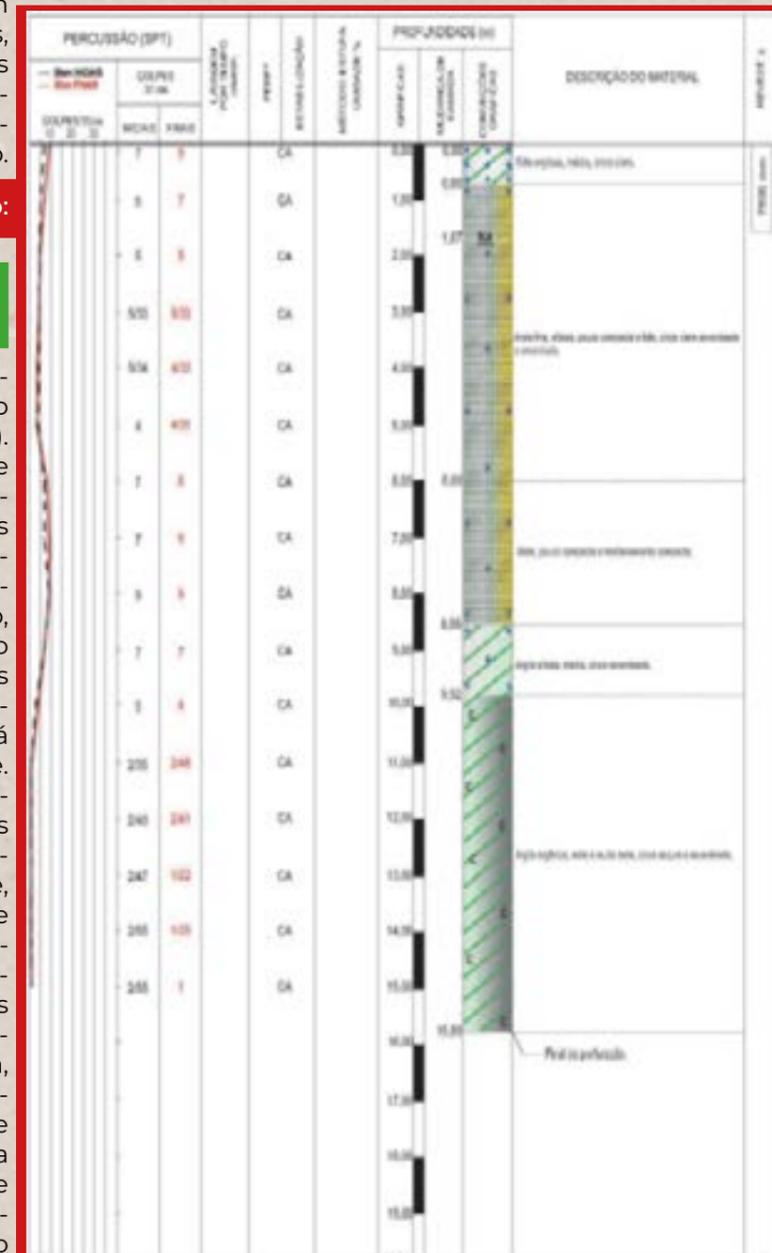


Figura 4 - Sondagem típica do local.

O aterro necessário

Há intensão de se projetar um aterro, com cerca de 3m de altura, ao longo de toda a região em questão, apenas lançando-o (sem controle). Esta condição implicará ruturas no solo de fundação, tornando-o ainda menos resistente, além de posteriores recalques pertinentes ao próprio aterro, considerando-se a ausência da compactação necessária. Melhoramento do solo mole de fundação é ponto pacífico, de modo a evitar ruturas durante a construção do aterro, evitando ou minimizando recalques e nas construções a serem realizadas. O recalque proveniente do aterro, portanto, deverá ser evitado, compactando-o adequadamente. Solos para execução de aterros são provenientes de escavações, com pertinentes ensaios de laboratório, de modo a se determinar propriedades de resistência e compressibilidade, dimensionando-se suas camadas e o grau de compactação indispensável. O necessário controle tecnológico, deverá ser feito durante a execução do aterro, considerando-se as condições geotécnicas críticas do solo de fundação, sugerindo-se o lançamento de aterro de conquista, necessário ao tráfego dos equipamentos pesados, necessários ao melhoramento do solo. Este aterro de conquista deverá ter uma espessura mínima de 50cm. A frágil condição do solo superficial poderá exigir a aplicação de um geocomposto de modo a evitar a rápida perda do aterro de conquista. Uma vez melhorado o solo

1 Cinquenta e sete (57) sondagens de reconhecimento tipo SPT

4 Retirada de amostras indeformadas com Shelby, nos mesmos furos onde foram executados os ensaios de palheta, para execução de ensaios em laboratório.

2 Sete (07) ensaios de piezocone (CPTu), com ensaios de dissipação da poropressão;

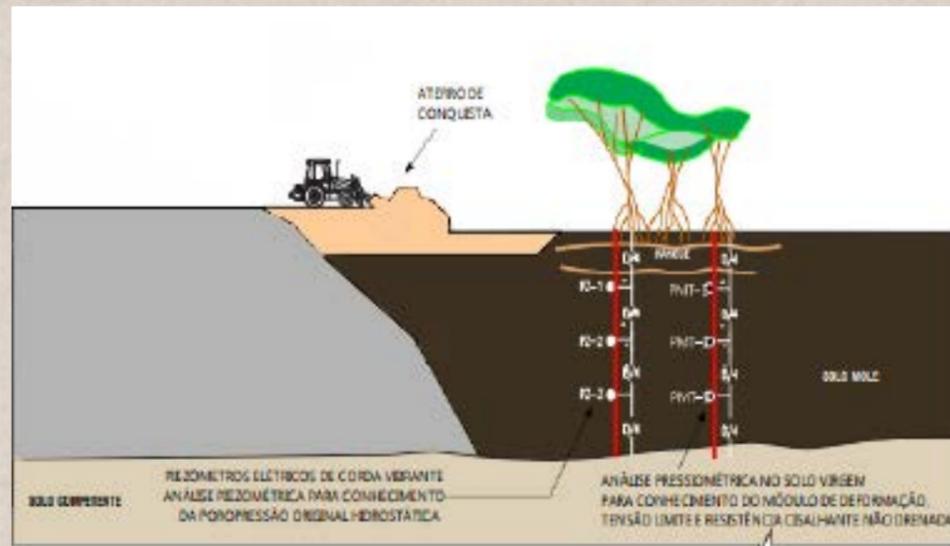


Figura 2 - Preparação do aterro e sondagens complementares

3 Ensaios palheta (VST), distribuídos em seis (06) verticais, onde foram realizadas, em três profundidades diferentes, medidas para obtenção da resistência indeformada e amolgada;

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.



de fundação, iniciar-se-á a construção do aterro, com diretrizes normativas, particularmente o processo mecânico de compactação, de modo a reduzir vazios do solo lançado em camadas, aumentando-se sua massa específica, resistência e rigidez. Esta condição será fundamental para futuras construções no empreendimento exigindo-se, apenas, fundação direta, o que torna atraente a venda imobiliária.

Estudo das soluções pra melhorar o solo de fundação.

A decisão sobre a metodologia a ser empregada, de modo a obter-se a resistência e a rigidez necessárias, está diretamente relacionada aos seguintes fatores:

- 1 Perfil geológico-geotécnico
- 2 Magnitude e tempo de estabilização dos recalques
- 3 Prazos e custos envolvidos
- 4 Materiais, mão obra e equipamentos disponíveis

A seguir, apresenta-se a análise de soluções geotécnicas.

- 1 Aterro sobre solo mole sem qualquer melhoramento
- 2 Aterro de sobrecarga com drenos verticais
- 3 Melhoramento do solo mole com Geoenrijecimento

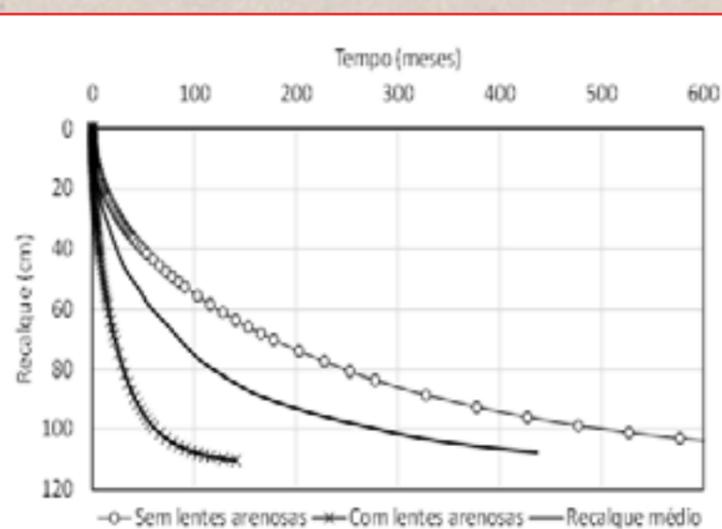


Figura 1. Recalque por adensamento primário considerando o solo sem qualquer melhoramento.

O simples lançamento, do necessário aterro, sobre solo sem qualquer tratamento incorrerá em ruturas e em recalques provenientes do próprio aterro lançado (sem compactação) e do solo de fundação, devido sua elevada compressibilidade e pouca resistência. O tempo necessário para ocorrência dos recalques dependerá da permeabilidade do solo (muito baixa) e das condições de drenagem, naturalmente presentes (camadas arenosas). Para o modelo de elementos finitos, calculou-se o recalque no topo (nível do terreno), considerando-se um carregamento vertical uniforme de 46 kPa. Para avaliar o efeito da drenagem natural, rodou-se duas análises, uma contendo camadas arenosas e a outra não. Desta forma, o recalque final, correspondente a um carregamento de 60 kPa, sobre solo sem qualquer melhoramento, seria de 109 cm. O estudo do desenvolvimento

do recalque com o tempo, mostrou que para que se atinja 95% do adensamento, será necessário entre 10 e 50 anos. Portanto, conclui-se que 95% do recalque por adensamento primário ocorrerá, em média, após 30 anos. As curvas de recalques, obtidas pelo modelo numérico, apresentam-se na figura acima.

O estudo das alternativas de solução são as seguintes:

Aterro de sobrecarga com drenos verticais

Aterro de sobrecarga significa adicionar carga sobre o aterro de projeto. A cravação de geodrenos verticais, objetiva encurtar o caminho de drenagem da água, ausente na argila impermeável, tornando o fluxo vertical predominantemente horizontal (radial), juntamente com aterro adicional de sobrecarga, pós execução do aterro de projeto, objetivando-se acelerar o processo de adensamento primário. O processo de cravação de geodrenos não interfere no valor do recalque total, nem na resistência do solo como um todo, apenas acelera o processo com o tempo. A ausência de dissipação da poropressão, durante o lançamento do aterro de projeto e do de sobrecarga, considerando-se a baixíssima condutividade hidráulica da argila cinza mole, presente nas camadas superficiais, antevê altíssima probabilidade da ocorrência de ruturas, já no primeiro aterro, particularmente devido a presença de matéria orgânica e turfa nas camadas mais superficiais do terreno. O dimensionamento dos geodrenos é feito com base no conceito da célula unitária axissimétrica. O sistema de drenagem axissimétrico, pode ser convertido para o estado plano de deformação, em paredes de drenagem paralelas equivalentes, de acordo com a conversão de Hird et al. (1992), permitindo a modelagem de drenos verticais nas análises de elementos finitos. Segundo Hird et al. (1992), é possível manter o mesmo espaçamento, de drenagem alterando o coeficiente de permeabilidade de acordo com a seguinte expressão:

$$\frac{k_{pl}}{k_{ax}} = \frac{2}{3 \left[\ln\left(\frac{n}{s}\right) + \frac{k}{k_s} \ln(s) - \frac{3}{4} \right]}$$

onde, para um espaçamento de 1,50 m x 1,50 m, em malha triangular, tem-se $n=22,5$, $s=3$ e $k/k_s = 3$. Estes últimos dois parâmetros, levam em conta o efeito do amolgamento gerado pelo mandril da cravação. Segundo a proposta de Hird et al. (1992), a permeabilidade horizontal, no estado plano de deformações, deverá ser reduzida dividindo-a por 6,84

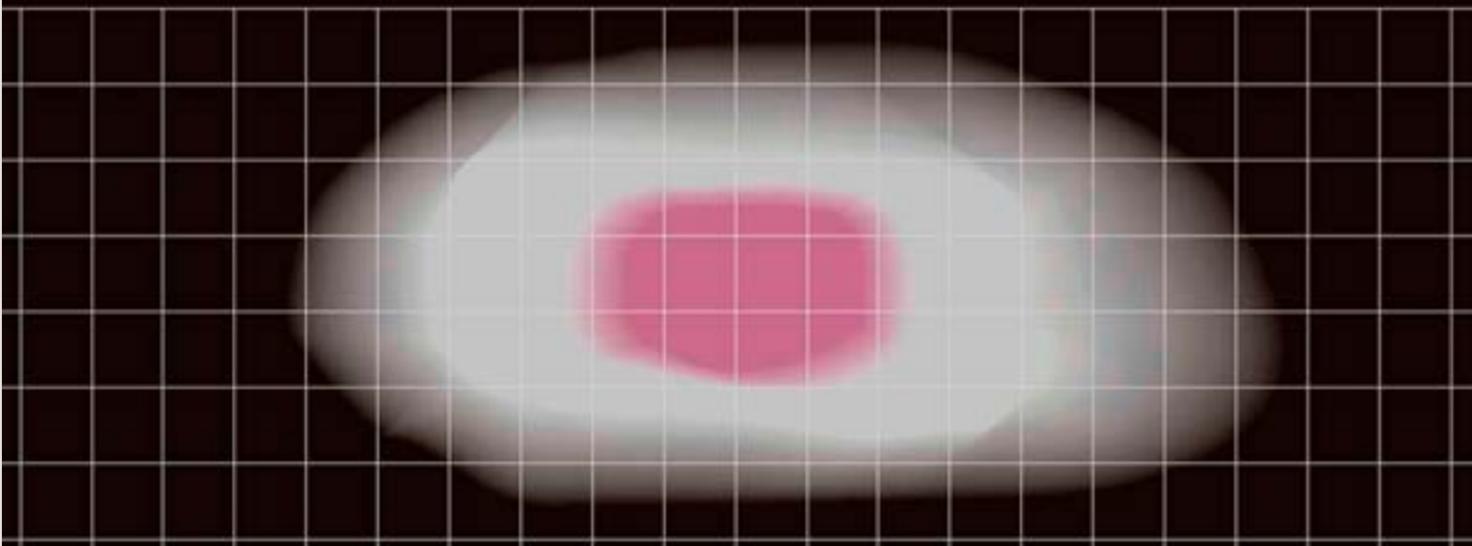
A curva de recalque, obtida pelo modelo numérico, apresenta-se no item a seguir, juntamente com outras curvas de recalques calculadas, tanto para o solo na condição virgem, quanto com geoenrijecimento. O aspecto mais importante, do melhoramento do solo com aterro de sobrecarga, é o monitoramento geotécnico de sua estabilidade, do comportamento do recalque e da poropressão. Para tanto, dever-se-á monitorar o recalques a partir da base e do topo do aterro, movimentos horizontais a partir do seu pé e a poropressão a diversas profundidade e em diferentes locais abaixo do futuro aterro. A frequência de monitoramento deverá ser previamente definida, podendo-se espaçá-la com o tempo. A gradual elevação do aterro de sobrecarga também deverá ser

monitorada de modo a minimizar possíveis ruturas. Sua execução com geodrenos verticais, levará mais de 20 meses para estabilizar o recalque primário. De maneira mais concreta, o tempo de permanência do aterro de sobrecarga será de aproximadamente dois anos desconsiderando-se, ainda, os recalques diferenciais que ocorrerão ao longo das áreas tratadas desta maneira. Decorrido este tempo, a sobrecarga poderá ser removida e a obra iniciada. Em todos os casos, piezômetros de cordas vibrantes, instalados em diferentes pontos e a diferentes profundidades, serão fundamentais para confirmar a dissipação dos excessos de poropressão. Assim, e só desta maneira, poder-se-á proceder à remoção da sobrecarga.

O melhoramento do solo mole com geoenrijecimento

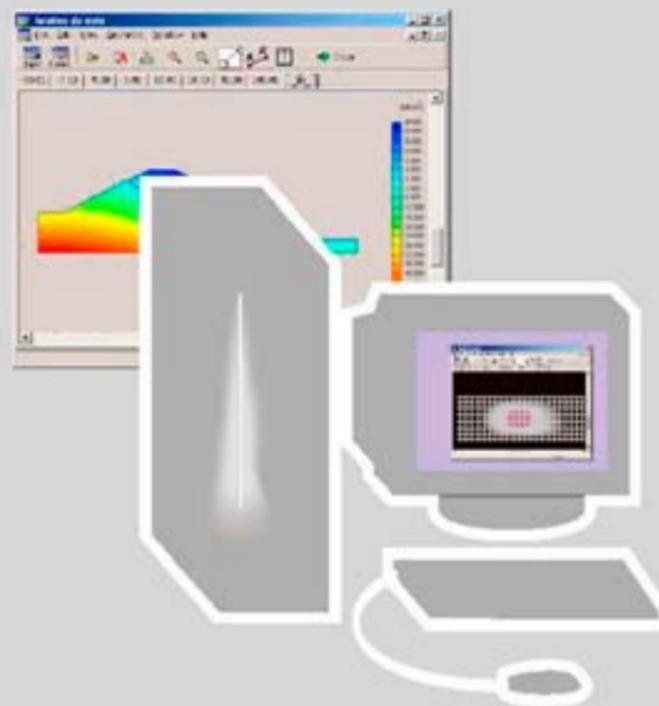
O Geoenrijecimento tem como objetivo principal aumentar, de forma significativa, a resistência/rigidez de depósitos de solos moles, reduzindo/eliminando recalques e impondo total estabilidade. O fundamento teórico do Geoenrijecimento baseia-se no princípio da compressão radial do solo, utilizando-se expansão de cavidades, o que possibilita o adensamento do solo de forma rápida e segura, assegurando a total dissipação da poropressão por meio drenante artificial (geodrenos). O processo de formação das verticais, do Geoenrijecimento, é realizado de baixo para cima, com bulbos que geram compressão radial no solo, utilizando-se geogROUT, o que assegura resistência e rigidez necessárias. O resultado final, portanto, é um solo adensado, confinado e comprimido entre bulbos de geogROUT, totalmente homogeneizado. A intervenção consiste, inicialmente, na cravação de geodrenos, em malha projetada. Em seguida, são formadas verticais de adensamento/enrijecimento, expandindo-se bulbos que comprimem radialmente o solo, utilizando-se geogROUT (argamassa seca de areia, silte e aglomerante), a cada metro de profundidade, de baixo para cima, controlando-se os processos de deformação e de tensão impostos. O processo de certificação, com análise tomográfica e piezométrica, é inerente ao desenvolvimento do geoenrijecimento. A seguir, apresenta-se memória de cálculo para avaliar o desempenho do geoenrijecimento quanto a recalques e ganho de resistência. O dimensionamento foi feito utilizando a planilha MC_v1.2.xlsx. Introduzimos parâmetros para o solo (na condição virgem) de acordo com os resultados da investigação geotécnica já realizada.

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.



1. Solo mole pré-GEOENRIJECIMENTO

1.1	Perfil geotécnico	5	(usuário)
1.2	Espessura da camada de solo mole	H =	32,0 m
1.3	Resistência não drenada	$s_u =$	15,0 kPa
1.4	Coefficiente de adensamento	$c_v =$	2,2 m ² /ano
1.5	Rigidez (módulo elástico)	E =	1.000 kPa
1.6	Condições de drenagem		dupla

Sem distinção

Parâmetros definidos pelo usuário

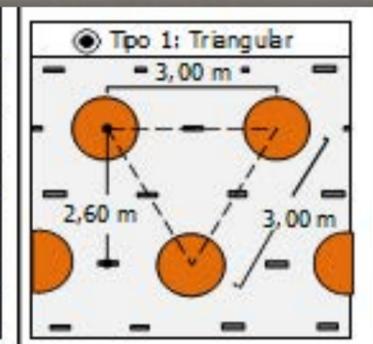
$C_c =$ 1,09

$e_0 =$ 2,43

Em seguida, optou-se por malha de geodrenos em formato triangular com espaçamento de 1,50 x 1,50 m e verticais de adensamento, também em malha triangular, com espaçamento igual ao dobro dos drenos. Desta forma, ter-se-á 6 drenos ao redor de cada vertical. O volume de projeto, dos bulbos de compressão radial do solo, idealizado, foi de 900 litros. A execução dos bulbos terá início no solo competente arenoso ou, no máximo, a 32 de profundidade, até aproximadamente 1,5m da superfície do terreno. Será executado um bulbo de compressão radial a cada metro de profundidade. O projeto é, esquematicamente, representado a seguir

2. GEOENRIJECIMENTO

2.1	Tipo de malha	1	Triangular
2.2	Espaçamento de geodrenos	$S_{geo} =$	1,50 m
2.3	Volume de geogROUT por metro de profundidade	$V_g =$	900 l/m
2.4	Resistência à compressão do geogROUT	$f_c =$	1,0 MPa
2.5	Coefficiente de redução volumétrica por adensamento	$\lambda_c =$	0,5
2.6	Profundidade de geoenrijecimento	$z =$	32,0 m
2.7	Espaçamento entre verticais	$S_v =$	3,00 m
2.8	Razão de substituição	$R_s =$	11,5%



Desta forma, o meio homogêneo equivalente terá as seguintes características:

Parâmetros pós-GEOENRIJECIMENTO : Meio Homogêneo

Resistência não drenada	$s_{u,eq} =$	46 kPa
Rigidez (módulo elástico)	$E_{eq} =$	3.690 kPa
Coefficiente de adensamento equivalente	$c_{v,eq} =$	167,6 m ² /ano
Tensão admissível	$\sigma_{adm} =$	1,27 kg/cm ²
Fator de redução de recalques	$\beta =$	3,7



Medidor Portátil do Perfil de Recalques

Este equipamento mede, precisamente, recalques e levantamentos através de aterros, estradas, tanques, etc. O perfilômetro tem sonda conectada com cabo sinalizador e tubo inclinômetro. Quando a sonda passa através do tubo inclinômetro ou qualquer tubo de PVC, analisa a pressão existente, calculando-a como deslocamento vertical.

Aplicações

- Aterros rodoviários e barragens.
- Reservatórios de água.
- Pontes e viadutos.
- Recalque do solo de fundação.



Para maiores informações, acesse: www.reparato.com.br ou atendimento@reparato.com.br





**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. Solicite nossos Webinars para adquirir informações adequadas e valiosas. Entre em contato agora conosco pelo número (21) 99359-9105.

Estes parâmetros foram introduzidos no modelo numérico, considerando-se o melhoramento do solo com geoenrijecimento até 15 m de profundidade. Os resultados obtidos, em termos de curvas de recalques, estão apresentados na figura a seguir.

O solo geoenrijecido apresentou recalque máximo da ordem de 20 cm, completamente estabilizado em menos de 6 meses. O melhoramento idealizado foi o do tipo “flutuante”, posicionado sobre camada de argila média, na profundidade máxima de 32m. Esta solução, permitiu minimizar os recalques decorrentes do adensamento primário, pertinente à camada de argila mole superior, responsável por 95% do recalque total. O recalque remanescente das camadas inferiores (argila média e argilas profundas) resultou praticamente desprezível.

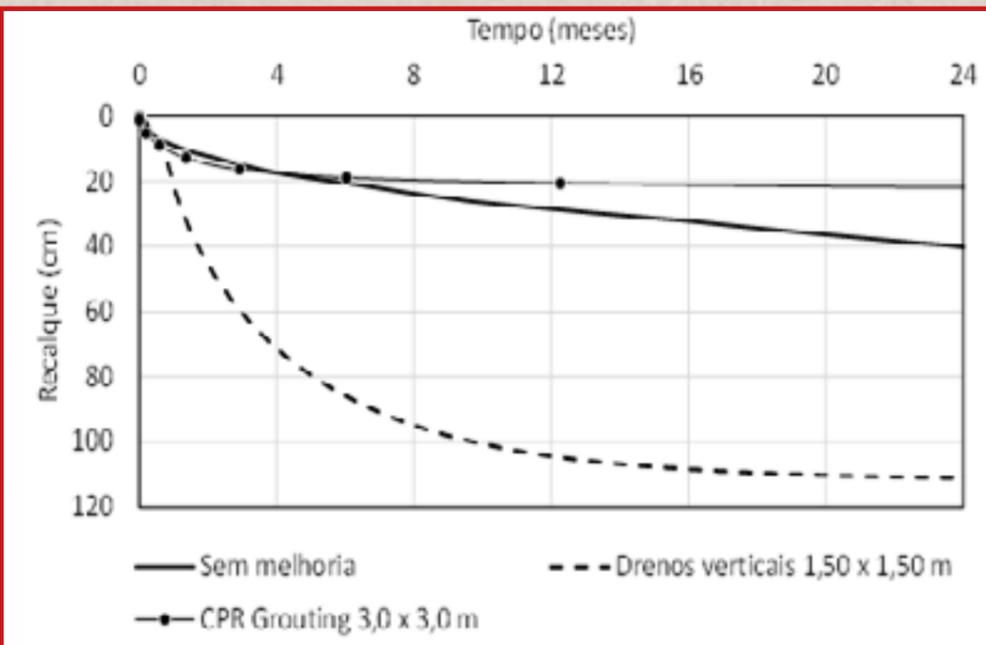


Figura 2. Comparação entre curvas de recalques para as três alternativas consideradas.

Os resultados da análise das soluções são os seguintes:

1º Resultado obtido

O recalque, por adensamento primário, relativo a uma carga de 46 kPa, será da ordem de 109 cm, desenvolvendo-se ao longo de aproximadamente 30 anos. Este recalque resultou quase que totalmente concentrado nos primeiros 32 m de profundidade, sendo a camada de argila mole responsável por 95% do recalque total obtido.

2º Resultado obtido

Camadas arenosas ou de cascalhos (depósitos aluvionares), deverão induzir ondulações na superfície, devido a extraordinária variação da profundidade das camadas moles compressíveis, exatamente pela imposição de diferentes tempos de adensamento, função das condições de drenagem, quase que imprevisíveis, de uma região para outra

3º Resultado obtido

A cravação de geodrenos verticais reduzirá o tempo de adensamento para cerca de 2 anos. Os recalques continuarão na ordem de 109 cm.

Com o geoenrijecimento do solo, este tempo cairá para 6 meses, tempo mínimo do serviço de melhoramento do solo, e os recalques para apenas 20cm, sem nenhum efeito na etapa de construção do empreendimento.

Entre as metodologias apresentadas, portanto, recomenda-se o Geoenrijecimento do solo, alternativa tecnicamente adequada e interessante em termos de custo benefício. A construção do aterro poderá ser feita, simultaneamente, em uma única etapa, com considerável ganho no prazo de obra. Não haverá necessidade da instalação de geogrelhas, nem uso de sobrecargas ou bermas laterais. Não haverá problemas com serviços e instalações, pela eliminação dos recalques diferenciais. A informação mais importante, no entanto, é que desta maneira, exigir-se-á apenas fundação direta para as construções a serem realizadas.

REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Bello, M. I. M. 2004. Estudo de ruptura em aterros sobre solos moles: aterro do galpão localizado na BR 101-PE. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil. 231p. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5692>.
- Bello, M. I. M. 2011. Parâmetros geotécnicos e banco de dados de argilas moles: o caso de Suape. Tese de Doutorado em Engenharia Civil UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil. 319p.
- Bello, M. I., Marques, C. V., Coutinho, R. Q., & Noberto, A. S. (2019). Evaluation of sample quality and correction of compressibility and strength parameters experience with Brazil soft soils. *Soils & Rocks*. São Paulo 42 (3), 245-263. http://www.soilsandrocks.com.br/soils-androcks/SR42-3_245-263.pdf
- Bressani, L. A., Núñez W.P. Schmitt, L. A., Rizzon, M. M. Victorino, A. R. Hirsch, F., Brito L., Vitorello, T. (2011). Caracterização de depósitos de argilas moles na região metropolitana de Porto Alegre e estudo preliminar de melhorias desses solos por meio da adição de cal *Revista Antt.*, 3 (2), 1-10.
- Cadete, A. N. M. (2016). Avaliação da resistência não drenada de uma argila orgânica mole do bairro de Chão de Estrelas em Recife-PE. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Pernambuco, Brazil. 164p. <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/22324/4/DISSER-TA%C3%87%C3%83O%20Ana%20Nery%20de%20Macedo%20Cadete.pdf>.
- Carvalho, J. B. A. (1975). Algumas propriedades físico-químicas e de engenharia de uma argila orgânica mole do Recife. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, UFPB, Campina Grande, Paraíba, Brasil. 152p. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1857>.
- Coêlho, L. B. M. (1997). Considerações a respeito de um ensaio alternativo para determinação do coeficiente de adensamento horizontal de solos. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 164p. <http://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/97-1997/1414-luciana-bezerra-de-mello-coelho>.
- Costa, A. J. (1960). O subsolo do Recife. Separata do Boletim Técnico da Secretaria de Viação e Obras / ITEP. Recife, Pernambuco, Brasil.
- Coutinho, R. Q. (1976). Características de adensamento com drenagem vertical e radial em argila mole da Baixada Fluminense. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 213p. <https://pantheon.ufrj.br/browse?type=author&value=Coutinho%2C+Roberto+Quental>.
- Coutinho, R. Q. (1980). Estudo da caracterização geotécnica da argila orgânica do Recife. Pesquisa CNPq, Relatório de Atividades. Recife, Pernambuco, Brasil.
- Coutinho, R. Q. (2007) Characterization and Engineering Properties of Recife Soft Clays – Brazil. In: Tan, Phoon, High and Leroueil (editors). Characterization and Engineering Properties of Natural Soils. In: Proceeding of the Second International Workshop on Characterization and Engineering Properties of Natural Soils. Taylor & Francis/Balkema, 3, 2049-2100.
- Coutinho, R. Q., Oliveira, J. T. R. & Danziger, F. A. B. (1993). Caracterização geotécnica de uma argila mole do Recife. *Solos e Rochas*, 16 (4), 255-266.
- Ferreira, S. R. M. (1982). Compressibilidade de uma argila mole do Recife. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 212p. <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/3268/1/156938.pdf>.
- Ferreira, S. R. M., Amorim Jr, W. N & Coutinho, R. Q. (1986). Argila orgânica do Recife – contribuição ao banco de dados. In: VIII Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. de Fund., ABMS, 1.183 –197. Porto Alegre, Brasil



Regeo/Geossintéticos23

 Data: 18/07/2023

 Local: Bahia (BA)

DAMSWEEK 2023

 Data: 27/08/2023

 Local: Foz do Iguaçu, Paraná

XXVI Congreso Argentino de Mecánica de Suelos

 Data: 30/08/2023

 Local: Argentina

World of Digital Built Environment 2023

 Data: 19/09/2023

 Local: Estônia/ Finalândia

15th International ISRM Congress 2023

 Data: 09/10/2023

 Local: Áustria

First International Conference on Geotechnics of Tailings and Mine Waste

 Data: 24/10/2023

 Local: Ouro Preto (MG)

GEONORTE2023

 Data: 07/11/2023

 Local: Palmas (TO)

13º Simposio Internacional de Estructuras, Geotecnia y Materiales de Construcción

 Data: 13/11/2023

 Local: Cayos de Villa Clara

GEOSUL 2023

 Data: 22/11/2023

 Local: Ponta Grossa (PR)

SEFE 10

 Data: 04/12/2023

 Local: São Paulo

Agenda de eventos geotécnicos

2023

aterros não compactados;

argilas moles;

areias fofas e muito fofas;

solos colapsíveis;

solos expansivos



Figura 3 - Extensas áreas estão sendo adequadas para fins logísticos, comerciais e residenciais. Em comum o solo mole.

As cargas que devem ser consideradas em projetos logísticos são:



Figura 4 - O melhoramento do solo mole é a alternativa correta para depósitos de solos moles.

- Cargas Permanentes
- Cargas de Vento
- Ações devidas aos ventos,
- Peso próprio da estrutura, das telhas, etc., conforme NBR 6120.

Cargas das Pontes Rolantes

conforme NBR 6123.

Previsão para instalações e manutenção da cobertura, conforme NBR 8800.

Sobrecargas

Ações verticais e horizontais e coeficientes de impacto, conforme NBR 8800 e os catálogos dos fabricantes das pontes.

Os principais elementos estruturais são:

Pilar do pórtico e pilares do fechamento lateral e frontal;

Contraventamento vertical e no plano das terças;

Vigas inclinadas do pórtico e suas mísulas;

Vigas de rolamento e consoles;

Viga de beiral e cumeeira;

Terças e vigas de tapamento;

Tirantes flexíveis (correntes) e tirantes rígidos;

Placas de base e chumbadores

O ideal é que o empreendimento logístico tenha pé-direito de 10 a 15 metros livres, de modo que atenda bem à acomodação das mercadorias empilhadas.

Uma altura desse porte, possibilita a boa disposição dos porta-pallets, permitindo uma boa verticalização do espaço para armazenar vários tipos de carga, facilitando o rápido acesso por parte dos funcionários e das empilhadeiras. O nível de carga, envolvido nas circulações exige que o pavimento suporte as mercadorias armazenadas sem trincar ou ceder, idealmente apresentando capacidade mínima para suportar 6 toneladas por metro quadrado, suportando bem não só a carga distribuída, mas também a movimentação das empilhadeiras, de outras máquinas e, obviamente, das pessoas. A área de pátio ideal varia de acordo com a demanda, existindo no mercado extensões que vão de 4 mil metros quadrados até algumas dezenas de milhares de metros quadrados. Serviços pertinentes à áreas logísticas de alto nível não se resumem ao que ocorre apenas em seu interior, devendo apresentar, por exemplo, estacionamento adequado para comportar veículos pequenos e de grande porte, incluindo rampas de acesso para o piso da área de depósito. A presença de solos moles seja na fase de projeto ou para corrigir problemas de recalque em empreendimentos logísticos é comum. Na fase de projeto é frequente, infelizmente, a elaboração de fundação profunda para o empreendimento, permitindo-se que o restante da área, também aterrada, sofra recalques, particularmente na área de estacionamento, depreciando-o. De igual maneira,

projeta-se estaqueamento para a estrutura do empreendimento, deixando-se seu pavimento apoiado no solo, o que gera recalques diferenciais entre um e outro. Há casos insólitos de ausência de melhoramento do solo mole, construindo-se aterro e o empreendimento, seguido da paralisação porque os pilares pré-moldados saem de prumo ou da cota de assentamento. Infelizmente, a situação mais trivial é a da surgência de recalques em diversas regiões do empreendimento logístico obrigando-se, na maioria dos casos, a paralisar-se a atividade produtiva para efetuar-se o geoenrijecimento do solo, adequando-o.

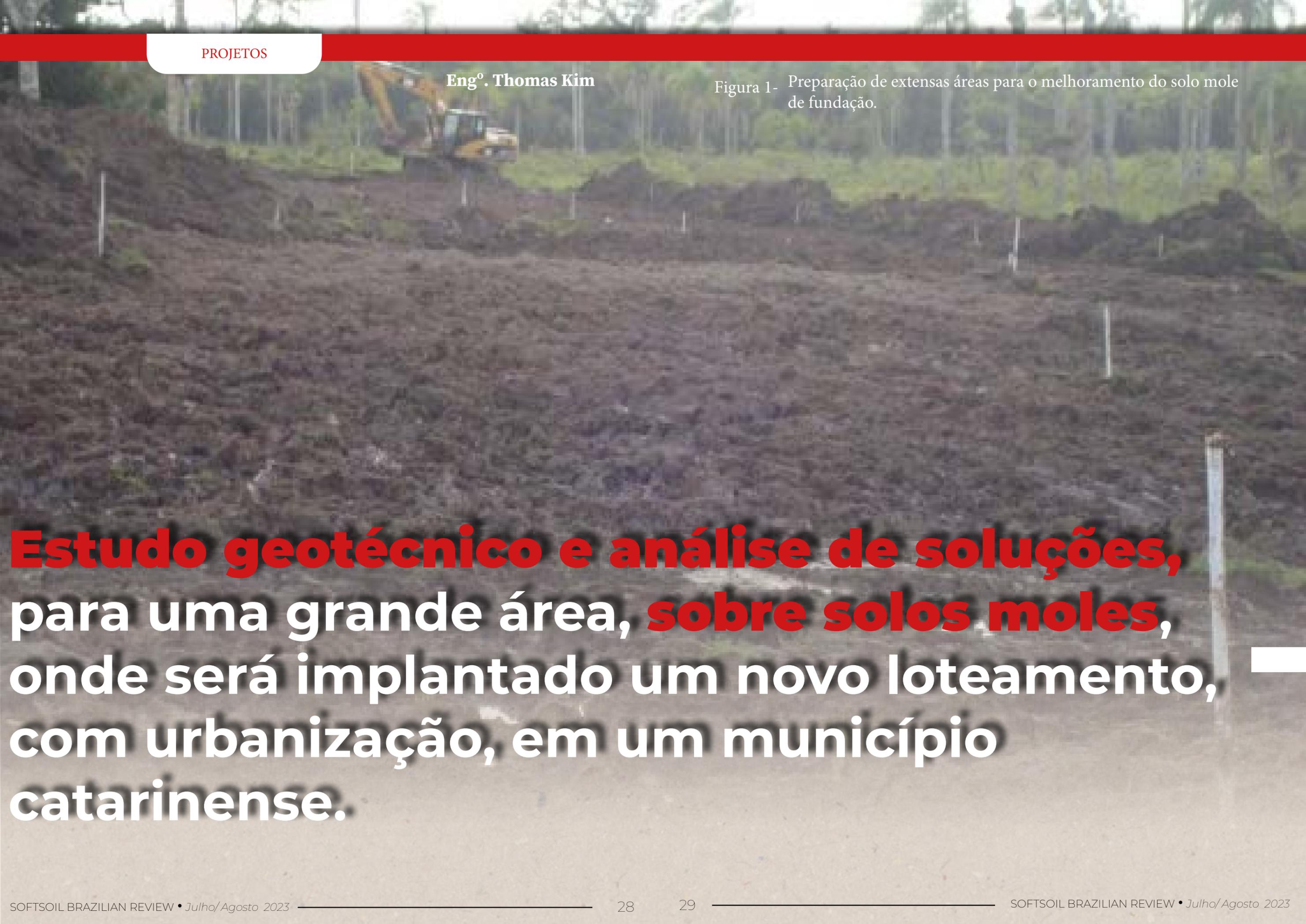


REFERÊNCIAS

- 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.
- ABDULLAH, C.H. (2006). Evaluation of Load Transfer Platforms and Their Design Methods for Embankments supported on geopiers. Dissertação de Doutorado, University of Wisconsin.
- CABE, Bryan A. 2007, Ground Improvement Using The Vibro-Stone Column Technique, Department of Civil Engineering, National University of Ireland, Galway.
- 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
- CDIT Coastal Development Institute of Technology (2002). The deep mixing method.

Eng^o. Thomas Kim

Figura 1- Preparação de extensas áreas para o melhoramento do solo mole de fundação.



Estudo geotécnico e análise de soluções,
para uma grande área, **sobre solos moles,**
onde será implantado um novo loteamento,
com urbanização, em um município
catarinense.

O empreendimento será implantado em um terreno posicionado ao longo da Rodovia BR-101, em um município catarinense. O empreendimento prevê a implantação de loteamentos destinados a uso residencial e industrial, além de áreas de lazer, vias de acesso e importantes ligações com bairros e rodovias. A área receberá aterros com até 2 m de altura para realizar toda a infraestrutura necessária. No estado atual, o terreno é utilizado para atividade agrícola, sendo atravessado por sistema de canais de drenagem. O aterro servirá para elevar a cota do terreno, acima do nível d'água de possíveis enchentes.



Figura 2. A presença de pedregulhos no aterro, costuma dificultar a cravação de geodrenos no solo mole, para iniciar o melhoramento do solo mole.

Na região há depósitos de solos argilosos muito moles, que possuem pobres características geotécnicas (i.e. baixa resistência e elevada compressibilidade).

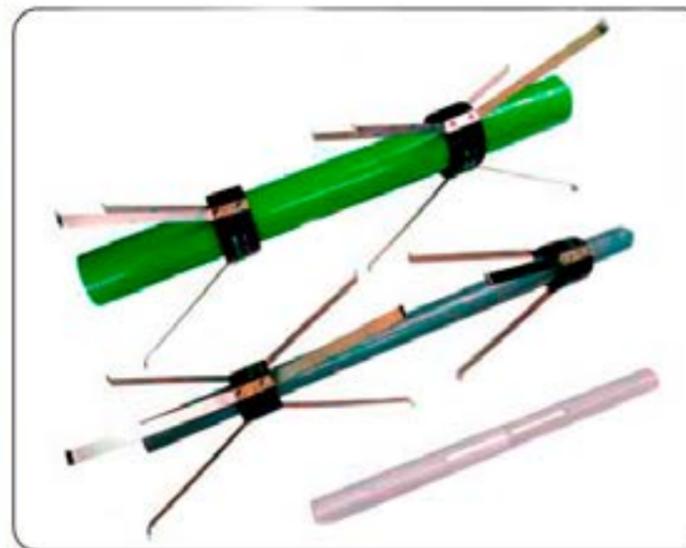
Investigação geotécnica

Para avaliar as propriedades geotécnicas dos depósitos de solos moles, foi feita campanha de investigação geotécnica, compreendendo:

1. Vinte e três (23) Sondagens de reconhecimento tipo SPT;
2. Sete (07) ensaios de piezocone (CPTu), com ensaios de dissipação da poropressão;
3. Ensaios palheta (VST), distribuídos em três (03) verticais;
4. Retirada de amostras indeformadas com Shelby, para execução de ensaios em laboratório.

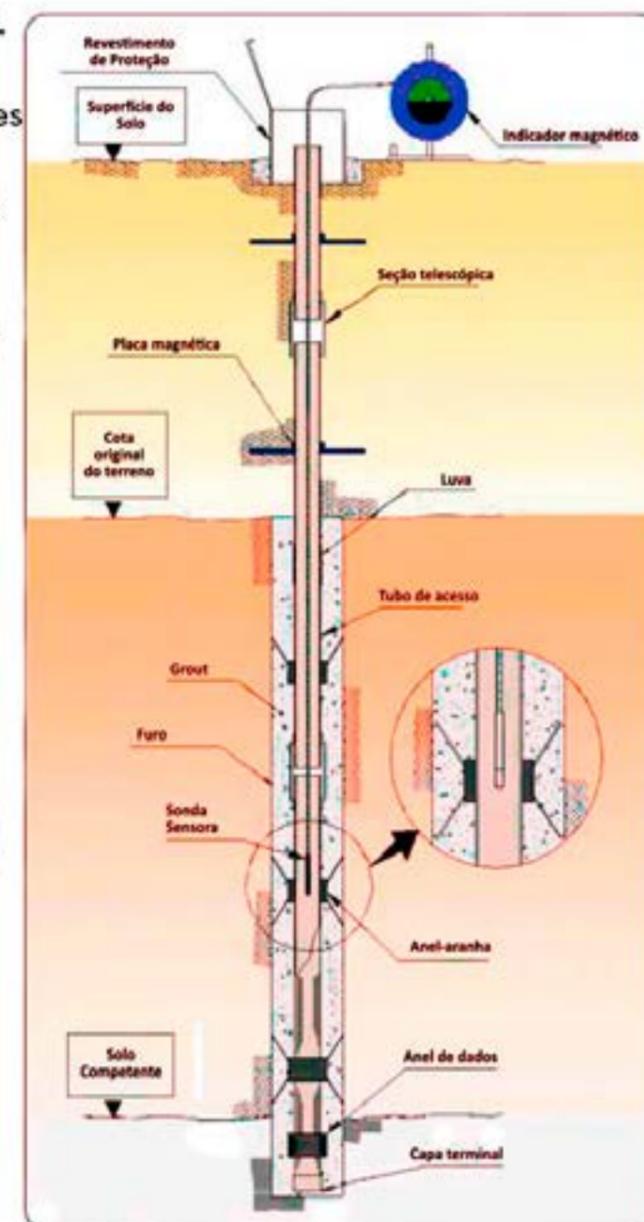
Você conhece as Aranhas Magnéticas?

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.



para maiores informações acesse: www.rogertec.com.br ou atendimento.rogertec.com.br

A campanha foi realizada para fins de projeto. O local apresenta solos sedimentares, com granulometria variada (argilas, areias e pedregulhos), compondo depósitos predominantemente argilosos, marcadamente profundos, heterogêneo e extremamente complexo do ponto de vista geológico e geotécnico. Em algumas sondagens, a profundidade dos depósitos de solos muito moles supera os 40 m. Em outras, o solo resultou impenetrável ao SPT poucos metros abaixo do nível do terreno. O sondador classificou o impenetrável como pedregulho

ou matacão. O nível d'água pode ser tomado coincidente com o nível do terreno. A figura a seguir, um perfil geotécnico, elaborado a partir das informações obtidas nas sondagens SPT e CPTu. Distinguem-se, em geral, três camadas argilosas. Há argila cinza mole (NSPT = 2) até os 15 m de profundidade; em alguns locais, no lugar desta argila são presentes camadas aluviais ou lentes arenosas (compactas). Abaixo, encontra-se argila com consistência média (NSPT de 6 a 10) intercalada com lentes arenosas até os 23 m de

profundidade. Esta condição permite drenagem muito boa e altos coeficientes de adensamento, conforme apresentado a seguir. Mais abaixo dos 23 m, até os 37,5 m de profundidade, (em média), podem ser encontradas argilas variegadas (tanto na consistência como na coloração), que aqui foram classificadas como argilas profundas. Em sua base, o depósito apresenta areias silto-argilosas, com 2 m de espessura, sobrepostas a solos com granulometria mais grossa, resultando impenetráveis ao SPT.

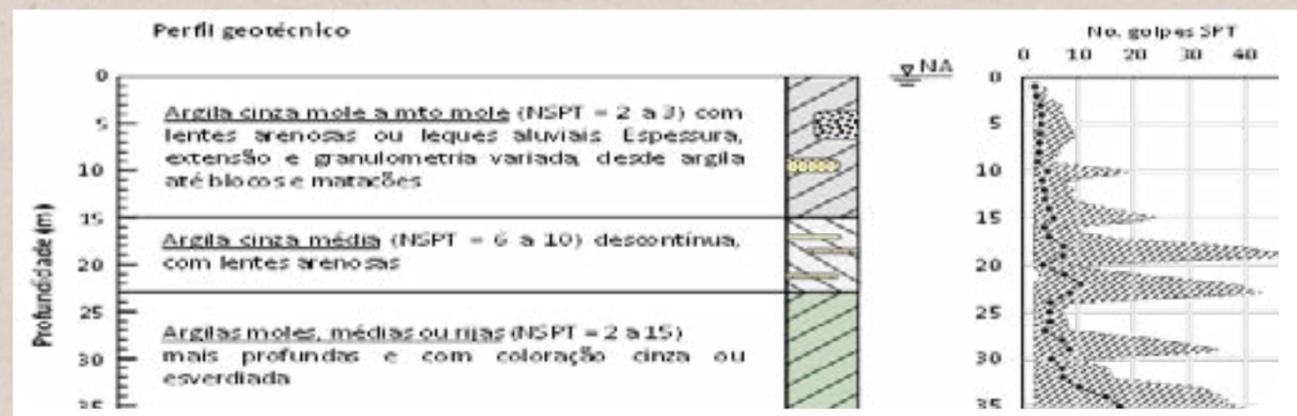
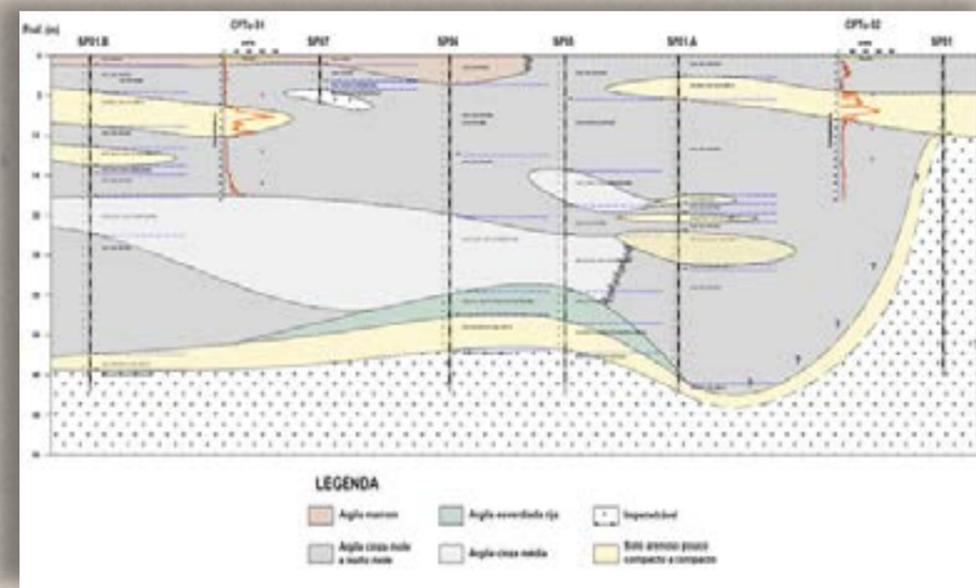
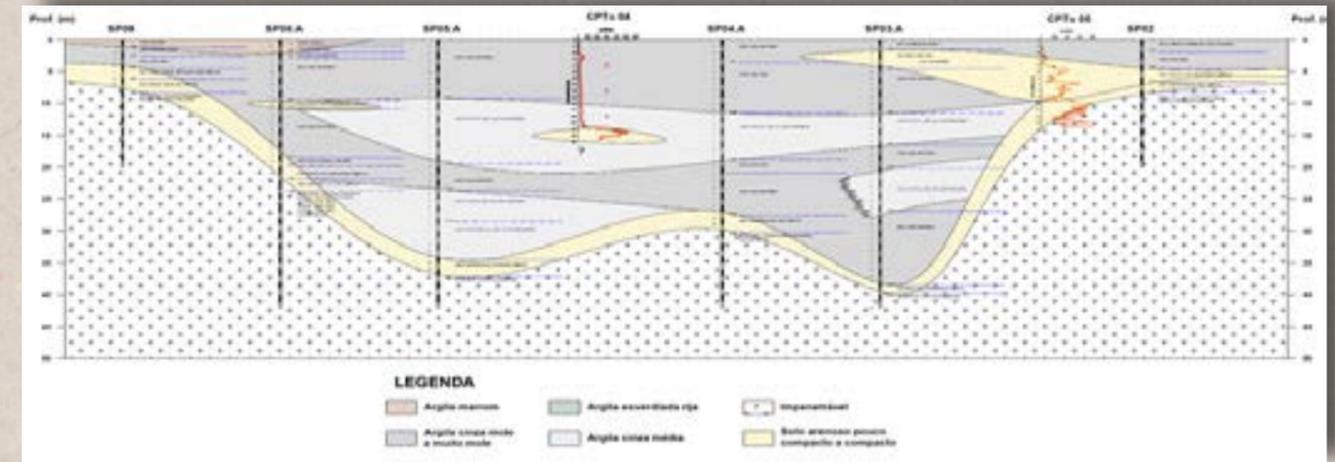


Figura 3. Perfil geotécnico obtido com ensaios SPT e CPTu executados no local.



grossos e compactos (cascalhos, pedregulhos, blocos ou até matações). As figuras a seguir, mostram os perfis geotécnicos 2D. Fica clara a extensão e complexidade dos depósitos.

Como se vê, o índice médio de resistência à penetração (No. golpes SPT) aumenta gradativamente com a profundidade, mostrando que o solo melhora medianamente suas características, especialmente abaixo dos 15 m de profundidade. Solos mais resistentes correspondem a depósitos de camadas aluviais, caracterizadas por sedimentos mais



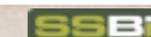
A resistência não drenada da argila, obtida em ensaio palheta, até 11 m de profundidade, é da ordem de 18 kPa. Sua sensibilidade é média, com valores entre 3 e 6. Verifica-se que a resistência não drenada, na condição natural (pré-geoenrijecimento) não varia muito com a profundidade.

Prof. (m)	S_u (kPa)	$S_{u,r}$ (kPa)	Sensibilidade
3,0	21,0	6,0	3,5
4,0	14,0	3,5	4
4,0	16,0	4,2	3,8
5,0	18,0	4,0	4,5
6,0	13,5	3,7	3,6
7,0	23,0	5,0	4,6
8,0	16,0	2,8	5,7
10,0	22,0	6,2	3,5
11,0	55,0	8,8	6,3

A compressibilidade da argila é alta, com razão de compressão, $CR = C_c / (1+e_0)$, da ordem de 0,3. Este valor justifica sua consistência mole a muito mole.

Identificação	Prof. (m)	e_0	W_w (%)	γ (kg/m^3)	σ'_{vc} (kPa)	C_c	Cr	$C_c / (1+e_0)$	$Cr / (1+e_0)$	c_v (m^2/ano)
CPTu 04 AM 01	4,30	2,11	76,1	1500	47	1,02	0,11	0,328	0,035	4,7
CPTu 04 AM 02	8,30	3,22	117	1370	55	1,42	0,18	0,336	0,043	4,9
CPTu 07 AM 03	5,30	1,97	70,7	1550	51	0,83	0,10	0,279	0,034	2,4

Obs: O coeficiente de adensamento é a média dos valores obtidos nos carregamentos de 100 kPa e 200 kPa.



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.



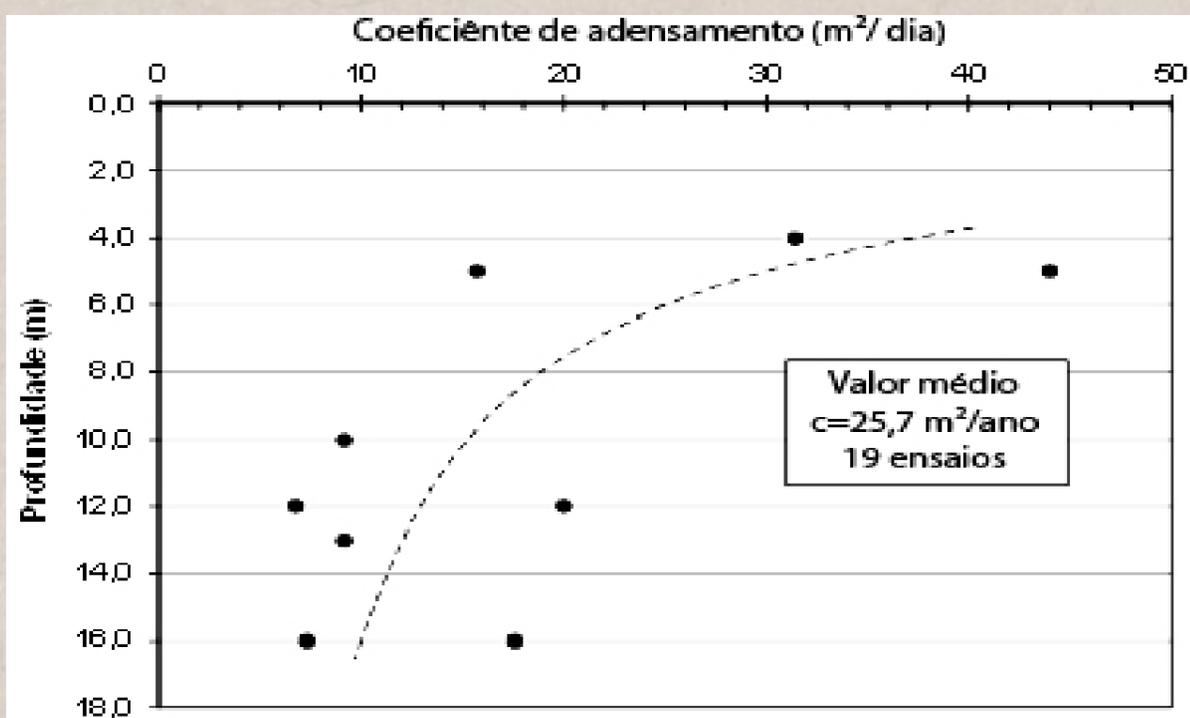
Para maiores informações, acesse: www.rogertec.com.br ou atendimento@rogertec.com.br



Durante a execução do ensaio CPTu paralisou-se a penetração para realizar ensaios de dissipação. A análise forneceu 25,7 m²/ano (81,5 x 10⁻⁴ cm²/s) como valor médio do coeficiente de adensamento horizontal. A Figura 6 mostra que o coeficiente de adensamento tende a diminuir com a profundidade. O pré-adensamento nas camadas superiores, justifica esta tendência.

CPTu n ^o	Prof.	NA	u ₁₅₀	u ₀	u ₅₀	t ₅₀	c _h	
	m	m	kPa	kPa	kPa	s		
01	5,0	0,0	50	118	84	1400	15,7	
01	12,0	0,0	120	350	235	1100	20,0	
01	16,0	0,0	150	400	280	1250	17,6	
02	13,0	0,0	130	350	245	2400	9,2	
04	4,0	0,0	40	90	65	700	31,4	
04	12,0	0,0	120	300	210	3250	6,8	
06	10,0	0,0	100	400	250	2400	9,2	
06	16,0	0,0	150	510	335	3000	7,3	
07	5,0	0,0	50	130	90	500	44,0	
Valor médio								25,7

Parâmetros geotécnicos adotados



Os parâmetros geotécnicos adotados considerou a campanha da investigação geotécnica complementar, e por meio de correlação empírica com o índice de resistência à penetração NSPT, considerando-se granulometria, compactidade e condições hidrogeológicas. Assim, foram definidas as características de resistência e deformabilidade das camadas para a realização da simulação numérica. A Tabela, a seguir, apresenta os parâmetros geotécnicos adotados.

Are you looking for a soil improvement in portuguese?

BEST SELLER

MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



Adquira seu exemplar através do email: ofitexto@ofitexto.com.br ou atendimento@softsoilgroup.com.br ou pelo site www.lojaofitexto.com.br

Camada (Linear Elastic)	γ_{sat} [kN/m ³]	k [m/dia]	E [MPa]	ν [-]	C_v [m ² /dia]
Argila média	16,5	5E-05	16	0,35	0,128
Argila profunda	17,5	5E-05	4-30	0,35	0,032
Lente arenosa	20	1,0	20	0,30	-
Solo geoenrijecido	16,5	4,73E-03	3,2	0,35	2,4

Camada (Soft Soil Model)	γ_{sat} [kN/m ³]	k [m/dia]	λ^* [-]	κ^* [-]	ν_{ur} [-]	$K_{0,ur}$ [-]
Argila mole	15	1,5E-04	0,1365	0,0162	0,15	0,577

Alternativas para melhoramento do solo

A decisão sobre a metodologia a ser empregada para obter-se a resistência e a rigidez necessárias, está diretamente relacionada aos seguintes fatores:

Perfil geológico-geotécnico

Magnitude e tempo de estabilização dos recalques

Materiais, mão obra e equipamentos disponíveis

Prazos e custos envolvidos

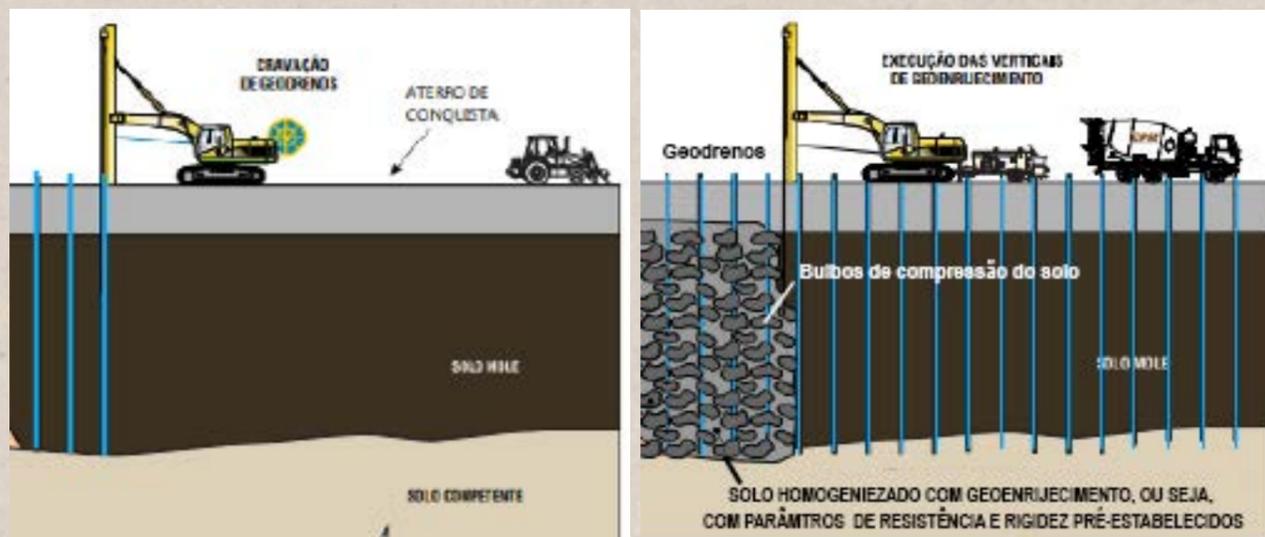


Figura 4 - Situação típica em grandes áreas que estão sendo loteadas e urbanizadas: melhoramento do solo mole, onde usam-se geodrenos, seguindo da formação de verticais de bulbo de compressão do solo mole, promovendo sua homogeneização.

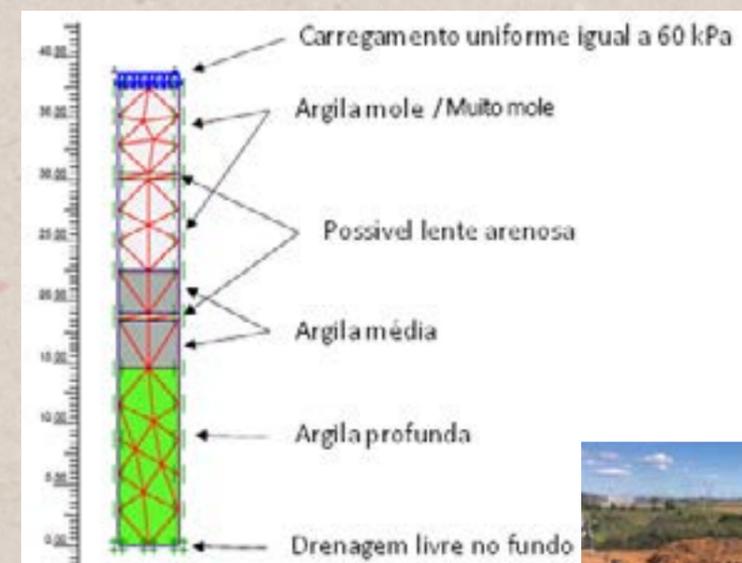
A seguir são apresentadas soluções geotécnicas sugeridas e analisadas:

Aterro sobre solo mole sem qualquer melhoramento

Aterro de sobrecarga com drenos verticais

Melhoramento do solo mole com geoenrijecimento

Para cada alternativa realizou-se previsão de recalques através de método baseado em elementos finitos, fazendo uso de modelo unidimensional simplificado (coluna de solo) mostrado a seguir.



anteriormente apresentado foi calculado o recalque no topo (nível do terreno) considerando-se carregamento vertical uniforme de 60 kPa. Para avaliar o efeito da drenagem natural, rodou-se duas análises, uma contendo as lentes arenosas e a outra não. Desta forma, o recalque final, correspondente a um carregamento de 60 kPa sobre solo sem qualquer tratamento seria de 111 cm. O estudo do desenvolvimento de recalque, com o tempo, mostrou que para que se atinja 95% do adensamento, poderão ser necessários de 10 a 50 anos. Portanto, pode-se concluir que o 95% do recalque, por adensamento primário, ocorrerá em média após 30 anos. As curvas de recalques, obtidas pelo modelo numérico, estão apresentadas na figura abaixo.

Aterro sobre solo mole sem melhoramento

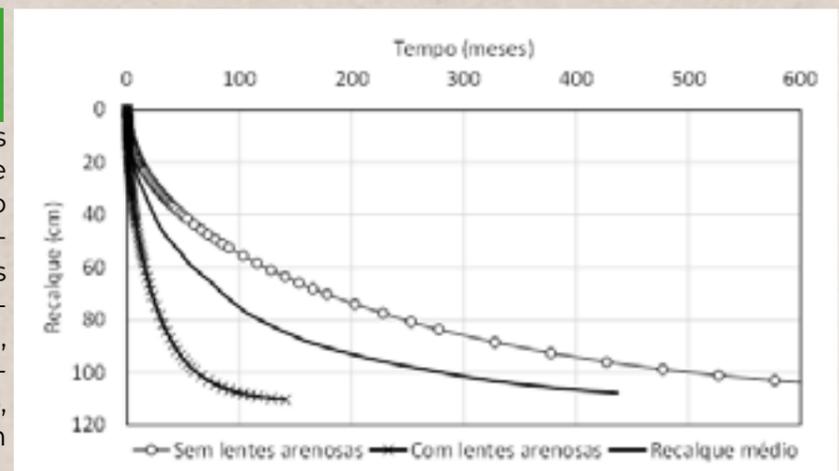
A deposição de aterro sobre solo sem algum melhoramento gera recalques devido à sua elevada compressibilidade. O tempo necessário para ocorrência dos recalques depende da permeabilidade do solo (que, por sua vez, é muito baixa) e das condições de drenagem naturalmente presentes (possíveis lentes arenosas). Para o modelo de elementos finitos



Figura 5 - Grandes áreas, com presença de solos moles, estão sendo urbanizadas.

Uso de drenos verticais

A cravação de geodrenos verticais objetiva encurtar o caminho de drenagem da água, tornando o fluxo de vertical para predominantemente horizontal (radial). Estes elementos são utilizados conjuntamente com aterro de sobrecarga, com o objetivo de acelerar o processo de adensamento primário, quando não for compatível com os prazos estabelecidos da obra. O processo de cravação de geodrenos, não interfere no valor do recalque total, nem na resistência do solo como um todo. Sua influência se limita à aceleração dos recalques com o tempo. O dimensionamento dos geodrenos é feito com base no conceito de célula unitária axissimétrica. O sistema de drenagem axissimétrico pode ser convertido para o estado plano de deformação,



em paredes de drenagem paralelas equivalentes, de acordo com a conversão de Hird et al. (1992), permitindo a modelagem de drenos verticais, nas análises de elementos finitos. Segundo Hird et al. (1992), é possível manter o mesmo espaçamento de drenagem, alterando o coeficiente de permeabilidade de acordo com a seguinte expressão:

$$\frac{k_{pi}}{k_{ax}} = \frac{2}{3 \left[\ln\left(\frac{n}{s}\right) + \frac{k}{k_s} \ln(s) - \frac{3}{4} \right]}$$

onde, para um espaçamento de 1,50 m x 1,50 m, em malha triangular, tem-se $n=22,5$, $s=3$ e $k/k_s = 3$. Estes últimos dois parâmetros levam em conta o efeito de amolgamento gerado pelo mandril de cravação. Segundo a proposta de Hird et al. (1992), a permeabilidade horizontal, no estado plano de deformações, deverá ser reduzida dividindo-a por 6,84. A curva de recalque, obtida pelo modelo numérico, está apresentada no próximo item, juntamente com as outras curvas de recalques calculadas, tanto para o solo na condição virgem (sem algum tratamento – recalque médio), como para com geoenrijecimento.

Melhoramento do solo mole com geoenrijecimento

O melhoramento do solo mole tem como objetivo principal incrementar a resistência/rigidez de depósitos de solos moles, reduzindo/eliminando recalques e impondo total estabilidade,

baseando-se no princípio da consolidação acelerada, mediante compressão do solo, utilizando-se a expansão de cavidades, o que possibilita adensamento radial do solo de forma rápida e segura, assegurando a dissipação da poropressão por meio drenante artificial (geodrenos). O processo de formação das verticais de adensamento, de baixo para cima, com bulbos de compressão, com geogROUT, assegura a rigidez necessária ao solo. O resultado final do Melhoramento do solo mole é um solo adensado, confinado e comprimido entre os bulbos de geogROUT.

A intervenção consiste inicialmente na cravação de geodrenos, em malha projetada. Em seguida, são formadas as verticais de adensamento/enrijecimento, expandindo os bulbos de compressão, utilizando-se geogROUT (mistura de areia, silte e aglomerante), a cada metro de profundidade, de baixo para cima, controlando-se os processos de deformação e de tensão impostos. O processo de certificação, com análise pressiométrica e piezométrica, é inerente ao desenvolvimento do geoenrijecimento. A seguir, apresenta-se a memória de cálculo para avaliar o desempenho do geoenrijecimento, quanto a recalques e ganho de resistência. O dimensionamento foi feito utilizando a planilha MC_v1.2.xlsx, anexada a este relatório, disponível na internet.

Foram introduzidos parâmetros do solo (na condição virgem) de acordo com os resultados da investigação geotécnica.

1. Solo mole pré-CPR			
1.1	Perfil geotécnico	5	(usuário)
1.2	Espessura da camada de solo mole	H =	15,0 m
1.3	Resistência não drenada	$s_u =$	18,5 kPa
1.4	Coefficiente de adensamento	$c_v =$	4,7 m ² /ano
1.5	Rigidez (módulo elástico)	E =	857 kPa
1.6	Condições de drenagem		uma face

Sem distinção

Parâmetros definidos pelo usuário

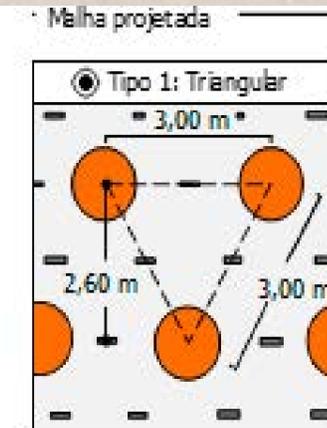
$C_c = 1,09$

$e_0 = 2,43$

Em seguida, optou-se por uma malha de geodrenos, em formato triangular, com espaçamento de 1,50 x 1,50 m, e verticais de adensamento também em malha triangular com espaçamento igual ao dobro dos drenos. Desta forma, ter-se-ão 6 drenos ao redor de cada vertical. O volume de projeto, dos bulbos de compressão escolhido, foi de 900 litros. A execução dos bulbos terá início em solo competente arenoso ou, onde este não for encontrado, a partir dos 15 m de profundidade, terminando entre 2 e 3 metros abaixo do nível do terreno. Será executado um bulbo a cada metro a profundidade, do impenetrável até a superfície.

O projeto é, esquematicamente, representado a seguir, de acordo com a planilha disponível no link de acesso: <https://www.engegraut.com.br/planilhadimensionamento>

2. CPR Grouting		
2.1	Tipo de malha	1 Triangular
2.2	Espaçamento de geodrenos	$S_{geo} = 1,50$ m
2.3	Volumen de geogROUT por metro de profundidade	$V_g = 900$ l/m
2.4	Resistência à compressão do geogROUT	$f_c = 1,0$ MPa
2.5	Coefficiente de redução volumétrica por adensamento	$\lambda_c = 0,5$
2.6	Profundidade de geoenrijecimento	$z = 15,0$ m
2.7	Espaçamento entre verticais	$S_v = 3,00$ m
2.8	Razão de substituição	$R_s = 11,5\%$



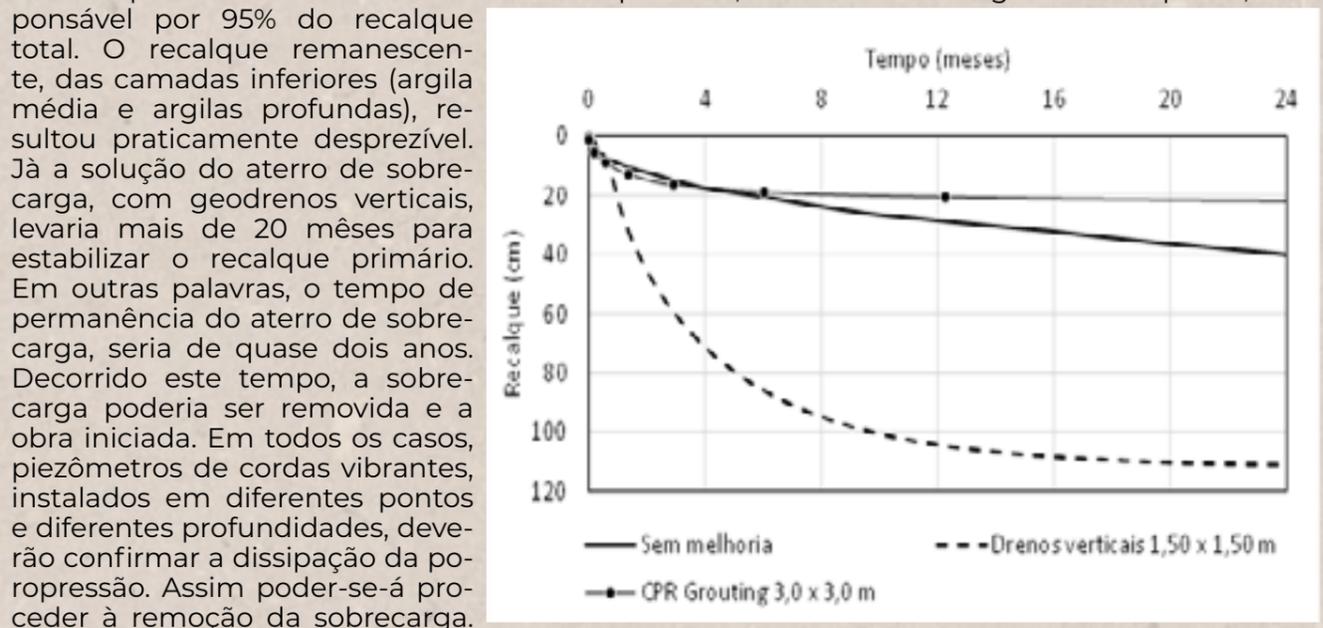
Desta forma, o meio homogêneo equivalente terá as seguintes características:

3. Parâmetros pós-CPR : Meio Homogêneo Equivalente			
3.1	Resistência não drenada	$S_{u,eq} =$	53 kPa
3.2	Rigidez (módulo elástico)	$E_{eq} =$	3.162 kPa
3.3	Coefficiente de adensamento equivalente	$C_{v,eq} =$	878,1 m ² /ano
3.4	Tensão admissível	$\sigma_{adm} =$	1,45 kg/cm ²
3.5	Fator de redução de recalques	$\beta =$	3,7



Figura 6 - Presença de aterros "sujos" é uma constante ao longo das grandes áreas, o que dificulta o trabalho de melhoramento do solo mole

Estes parâmetros foram introduzidos no modelo numérico, considerando-se o geoenrijecimento até 15 m de profundidade. Os resultados obtidos, em termos de curvas de recalques, estão apresentados na figura a seguir:



sobre camada de argila média, até a profundidade de 15 m. Esta solução, permitiu minimizar os recalques decorrentes do adensamento primário, da camada de argila mole superior, responsável por 95% do recalque total. O recalque remanescente, das camadas inferiores (argila média e argilas profundas), resultou praticamente desprezível. Já a solução do aterro de sobrecarga, com geodrenos verticais, levaria mais de 20 meses para estabilizar o recalque primário. Em outras palavras, o tempo de permanência do aterro de sobrecarga, seria de quase dois anos. Decorrido este tempo, a sobrecarga poderia ser removida e a obra iniciada. Em todos os casos, piezômetros de cordas vibrantes, instalados em diferentes pontos e diferentes profundidades, deverão confirmar a dissipação da poropressão. Assim poder-se-á proceder à remoção da sobrecarga.



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

 @engegraut

 www.engegraut.com.br

Visite nosso site: WWW.ENEGRAUT.COM.BR

Ou entre em contato: (21) 994163979

Conclusão

Possibilitou-se analisar soluções geotécnicas, no loteamento em questão, localizado em um município Catarinense. Sondagens executadas no local detectaram profundo depósito de solo mole,

pouco resistente e altamente compressível, extremamente complexo do ponto de vista geológico e geotécnico. Os sedimentos, foram depositados em ambiente deltaico flúvio-marinho. Para urbanização da área, será necessário lançar aterro com pelo menos dois metros de altura, o que gera uma pressão no solo de força de 40kpa (0,4Kg/cm²)

De posse dos parâmetros extraídos das sondagens executadas, realizaram-se análises, determinando-se curvas de recalques, com objetivo de selecionar a solução geotécnica mais apropriada. Foram obtidos os seguintes resultados:

1 O recalque por adensamento primário, relativo a uma carga de 60 kPa, será da ordem de 110 cm, ocorrendo ao longo de cerca de 30 anos. Este recalque resultou quase que totalmente concentrado nos primeiros 15 m de profundidade, sendo a camada de argila mole responsável por 95% do recalque total calculado.

2 Lentas arenosas ou cascalhos poderão induzir ondulações na superfície devido à variação de espessura da camada mole e compressível. Inclusive, haverá diferentes tempos de adensamento, em função das condições de drenagem, quase que imprevisíveis, de um local para o outro.

3 A cravação de drenos verticais reduzirá o tempo de adensamento para cerca de 2 anos. Os recalques continuarão da ordem de 110 cm.

4 Com o melhoramento do solo mole, com geoenrijecimento, o tempo cairá para 6 meses e os recalques para 20 cm, finalizando ainda durante a obra.

REFERÊNCIAS

Entre as metodologias apresentadas, recomenda-se o melhoramento do solo mole com geoenrijecimento, (CPR Grouting). O recalque residual homogêneo estimado, da ordem de 20 cm, cessará em 4 - 8 meses, ainda durante a obra. A construção do aterro poderá ser feita em uma única etapa, com considerável ganho no prazo de obra. Não será necessário instalação de geogrelha, nem uso de sobrecarga ou bermas laterais. Não haverá problemas com os necessários serviços e instalações de infraestrutura, com postes, bueiro, carros e etc, pois serão eliminados os recalques diferenciais.

- 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.

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. The letters are set against a dark green 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



PARCEIROS



Bentley
Institute
Product Training Partner

SOLOTEST

GEOKON

SOLUÇÕES CAD BIM

TRUTH IN MEASUREMENT.

**AB
MS**

Leica
Geosystems

RT
TROGERTEC

ENGEGRAUT
ENGENHARIA ESTRUTURAL

ROCTEST