

Fundações

e Obras Geotécnicas

Ano 8 | Nº 84 | Setembro de 2017



Rudder

editora
www.revistafundacoes.com.br
ISSN 2178-0668 | R\$ 27,00

EXECUÇÃO DE *JET GROUTING* SE DESTACA NA CONSTRUÇÃO DA LINHA 5 DO METRÔ



Obras de
aterros sobre
SOLOS MOLES

GEOEXPANDIDO
em aplicações
geotécnicas

Projeto inovador para a
PONTE FERROVIÁRIA
AYROSA GALVÃO



Campanha de ensaios e instrumentação

OBRAS DE ATERROS SOBRE SOLOS MOLES

Solos moles são aqueles que possuem baixa capacidade de suporte ($NSPT < 4$), são altamente compressíveis, em geral saturados, de matriz argilosa e pouco permeáveis. São solos de origem recente, do quaternário, formados por depósitos sedimentares. Podem ocorrer em regiões de depósitos sedimentares fluviais. Os aluviões que ocorrem nas planícies de inundação dos rios ou nas regiões de depósitos marinhos são oriundos da deposição de sedimentos pelas variações do nível dos mares ao longo dos últimos milhares de anos, presentes em todo o litoral brasileiro.

Atualmente, a necessidade da construção de aterros sobre este tipo de solo tem se tornado muito mais comum em função da escassez de áreas para construção e das limitações impostas por questões ambientais e de zoneamento, porém para a implantação de estradas, em que o traçado muitas vezes é definido com base em outros critérios, a construção de aterros sobre solos moles é frequente.

DEFINIÇÃO

Aterros sobre solos moles são obras de engenharia que integram projetos como a implantação de uma estrada, até a construção de edificações para as mais variadas finalidades. A obra consiste na elevação da cota do terreno, em que se implantará o projeto, sobre um subleito de baixíssima capacidade de suporte. Quando o subsolo da área de implantação de um determinado projeto apresenta tais características e há a necessidade da construção de aterros sobre este terreno há dois problemas com os quais os engenheiros terão de lidar: ruptura e recalque.

Outro problema importante é a interação entre elementos de elevada rigidez, obras de arte construídas em concreto armado, tais como pontes viadutos, com solos moles de alta compressibilidade. A tensão gerada pelos aterros sobre as camadas de solos moles pode gerar esforços horizontais nas fundações da

obra de arte, além dos efeitos colaterais como o atrito negativo em estacas e os deslocamentos verticais nos encontros do aterro com as superestruturas.

Ao serem carregados, os solos moles expulsarão a água de seus vazios, diminuindo o índice e, consequentemente, seu volume e, acarretando o recalque do aterro. Este processo pode ser muito lento se o solo for de matriz argilosa, pois terá baixa permeabilidade e poderá ser um pouco mais rápido se for de matriz arenosa.

Pelo fato dos solos moles terem como uma de suas principais características a baixa capacidade de suporte, o aterro a ser construído pode não ser suportado pela fundação e romper. Resumidamente, ao construir um aterro sobre solos moles o engenheiro deverá definir como lidar com o recalque e como garantir que seu aterro seja estável.

ANÁLISES

Para que estas análises possam ser feitas é necessária a obtenção da maior quantidade de informações possíveis, desde a estratigrafia detalhada do subsolo para se conhecer as profundidades das camadas, a existência de lentes de outros materiais, até a determinação de parâmetros geotécnicos como a coesão, coeficiente de adensamento e a OCR (Relação de Sobre Adensamento), entre outros.

Estes parâmetros são conseguidos por meio da realização de campanhas de investigação e de ensaios. Com os resultados, é avaliada a magnitude dos recalques e o tempo para que uma parcela da consolidação ocorra. Além disso, poderá ser verificada a estabilidade do aterro, para a qual se pode verificar a altura crítica do aterro usando a solução de Fellenius, conforme descrito por Massad (2010).

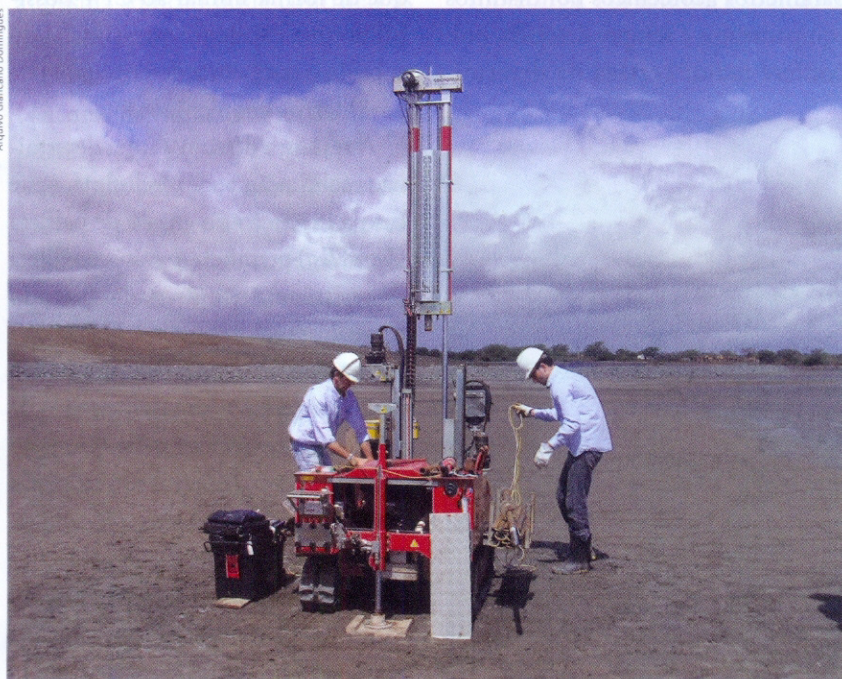
Caso a altura necessária para o aterro seja inferior à altura crítica, o engenheiro deverá avaliar se a obra poderá conviver com os recalques previstos e caso não, é necessário avaliar as opções de tratamento e mitigação deste problema. Há duas opções: acelerar o recalque ou apoiar o aterro em camadas mais resistentes por meio da execução de estacas, por exemplo, que servirão de apoio para o aterro.

Algumas alternativas resolvem ou diminuem os dois problemas como o caso dos aterros estaqueados e das colunas granulares, porém é muito comum se adotar uma combinação de soluções, sendo uma para resolver o problema da estabilidade e outra para solucionar ou reduzir a questão do recalque.

INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Um projeto de engenharia, seja ele qual for, passa pela definição/previsão das cargas envolvidas no problema específico e pela obtenção dos perfis do subsolo, que são etapas preliminares e fundamentais. Erros nestas etapas levam a custos adicionais, atrasos de cronograma, demandas judiciais, até ruptura e insucesso da obra.

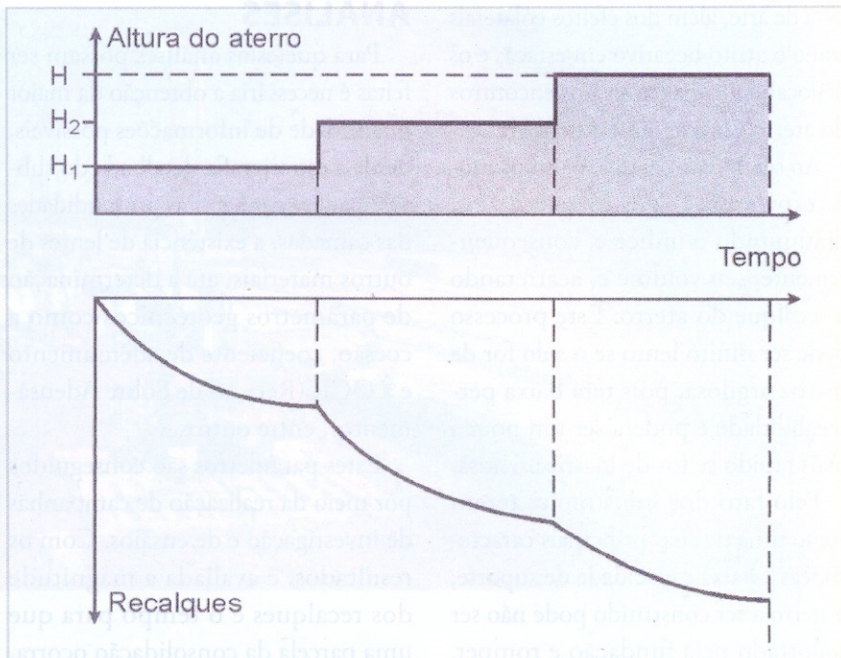
No que se refere à segunda etapa, os perfis do subsolo devem ser interpretados por profissionais qualificados. Com a interpretação destes perfis, elabora-se um modelo do subsolo que será utilizado para o desenvolvimento do projeto. Na obtenção deste modelo geotécnico deve sempre ser levada em conta a natureza do subsolo que apresenta sempre grande variabilidade geométrica e de propriedades.



Execução de ensaio CPTu

A investigação geotécnica é, sem dúvida, o ponto mais importante do sucesso da execução de um aterro sobre solos moles, assim como o entendimento do seu comportamento quanto à ruptura e deformabilidade ao longo do tempo. Neste aspecto é fundamental a determinação da estratigrafia, bem como os parâmetros de resistência, de permeabilidade e deformabilidade do solo.

A sondagem SPT (*Standard Penetration Test*) é indicada para preliminarmente definir a estratigrafia. A sondagem CPT (*Cone Penetration Test*) com a respectiva medida de poropressão (CPTu) é a sondagem geotécnica mais indicada, sendo que permite a melhor determinação da estratigrafia do subsolo. Ainda no ensaio de CPTu, é possível realizar o ensaio de dissipação que permite uma avaliação direta da permeabilidade do solo e, consequentemente, do tempo de adensamento, ou seja, do tempo necessário para



Aterro em etapas

que ocorram os recalques de uma camada de solo mole.

A redundância na determinação de parâmetros geotécnicos por distintos equipamentos é sempre desejada, pois confere maior certeza na determi-

nação dos parâmetros geotécnicos. Neste sentido cabe destacar o uso do DMT (Dilatômetro de Marchetti) que de forma similar ao CPT possibilita uma excelente estratigrafia do subsolo e também a determinação de parâmetros geotécnicos.

A resposta do solo a uma determinada solicitação pode ser distinta, neste caso a execução do ensaio de palheta (*Vane Test*) permite a terminação direta da resistência não drenada, fazendo parte deste rol de ensaios. Da mesma forma, ensaios de laboratório como os de compressão simples, ensaios de adensamento e triaxiais determinam diretamente os parâmetros de resistência e de deformabilidade dos solos moles.

SOLUÇÕES

Existe uma grande variação de soluções para as obras de aterros sobre solos moles, que podem alterar na



Aterro de Conquista



Execução de aterros de conquistas para permitir o acesso à área inicialmente alagada. Optou-se pela substituição por material granular na região, em que havia solo mole até 3 m de profundidade. Nas regiões mais críticas foi utilizado o CPR Grouting

escolha de acordo com o tipo e local da obra. Todas as soluções estão voltadas para limitar ou acelerar os recalques e garantir a estabilidade da estrutura do aterro. Em alguns casos, a mesma solução pode controlar as duas situações.

Segundo o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) (DNER-PRO 381/98), as principais soluções para os aterros sobre solos moles são: aterros leves; substituição total da camada mole; bermas de equilíbrio; construção por etapas; pré-carregamento ou sobrecarga temporária; geodrenos e sobrecarga temporária; geodrenos e sucção por vácuo; aterro estaqueado e aterro reforçado com geossintéticos. Ainda existe outra prática que o manual não cita que são as técnicas de melhoramento do solo de fundação.

A escolha da solução a se adotar também deve levar em conta os custos relativos para cada item. A substitui-

ção de solos moles só é interessante para espessuras pequenas, em geral inferiores a 3 m. Para espessuras de solo mole até 20 m a solução mais adequada é o emprego de geodrenos e sobrecarga. Por último, a solução de

aterro estaqueado tem vantagens se não houver tempo para espera para a consolidação do solo mole (DNIT – DNER, 1998).

As alternativas mais utilizadas neste caso são: aterros leves; substituição total da camada de solo mole; bermas; construção por etapas e pré-carregamento; geodrenos e sobrecarga temporária; geodrenos e sucção a vácuo; aterro estaqueado; colunas granulares e geossintéticos.

Há também a técnica *CPR Grouting*, desenvolvida no Brasil especificamente com o objetivo de enrijecer solos moles argilosos. Baseia-se na teoria da consolidação, induzindo o solo a perder água e volume, modificando dramaticamente sua resistência, via expansão de cavidades e, adicionalmente, aumentando sua rigidez.

O processo de enrijecimento de solos moles com CPR Grouting é um serviço distinto, que visa modi-



Escavação em solo mole para realização de subsolo. Obra: Pontal Oceânico (RJ)



Arquivo Alessandro Cione

Enrijecimento do solo compressível por meio da técnica CPR Grouting no Pontal Oceânico. As verticais de adensamento são executadas dentro de uma malha de geodrenos previamente cravados, para acelerar o adensamento do solo mole

ficar suas características geotécnicas, como um todo, de forma volumétrica, basicamente impondo resistência e rigidez a níveis preestabelecidos. O resultado é um solo homogeneizado, muito mais rígido e resistente, apto a receber carregamentos elevados.

EXECUÇÃO

A execução dos aterros sobre solos moles requer especial atenção quanto ao início do serviço, em especial no lançamento das primeiras camadas de aterro. Como se tratam de plataformas de trabalho, em que os solos têm baixíssima capacidade de suporte e em alguns casos com lençol freático aflorando, como em

banhados ou mangues, muitas vezes estes solos sequer suportam a carga dos equipamentos.

Nestes casos, é necessário executar um aterro de conquista com lançamento de um material de melhor qualidade, preferencialmente arenoso com espessura entre 50 cm e 1 m, sem compactação para que o trator de esteiras consiga adentrar o sítio e iniciar o espalhamento do material de aterro.

Muitas vezes, utiliza-se um geossintético, normalmente um geotêxtil não tecido de baixa gramatura (200 a 400g/m²) ou um geotêxtil tecido com resistências entre 25 kN/m a 50 kN/m. O geossintético irá atuar

principalmente como separador evitando que esta primeira camada de material de aterro seja contaminada pelo solo mole. Pode-se também optar pela utilização de geocompostos. Estes geossintéticos não têm a função de estabilizar o aterro, apesar de contribuir para isso. Desempenham apenas um papel de estabilizar.

Além da preocupação com o acesso dos equipamentos à área, o engenheiro deve atentar também para evitar rupturas, mesmo que pontuais, pois estas geram um amolgamento do solo mole, reduzindo sua resistência ao cisalhamento, conforme escrito por Massad (2010). A execução destes aterros de conquista pode ser necessária quando se opta por executar o aterro em etapas, com bermas de equilíbrio, com cravação de geodrenos verticais ou com reforço de geossintéticos.

INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA

Por mais minuciosa que sejam feitas as investigações e análises de problema, a variabilidade e complexidade do solo, leva a incertezas, cuja magnitude é representativa. Portanto, o monitoramento do desempenho da obra é fundamental. Existe atualmente uma gama representativa de distintos equipamentos que permitem o monitoramento de um aterro sobre solos moles.

Neste artigo são apresentados somente os mais utilizados na prática da engenharia geotécnica de aterros sobre solos moles que são: placa de recalque para o monitoramento dos recalques com o tempo; inclinômetro para o monitoramento das defor-

mações horizontais que pode levar o aterro a ruptura e piezômetros que indicam o excesso de poropressão da água na camada de argila mole e com isso se pode avaliar a desenvolvimento dos recalques. Dependendo da necessidade da obra pode-se ainda usar o perfilômetro.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Marcio de Souza Soares de; RICCIO, Mario Vicente; KOSHIMA, Akira. "Obras em Solos Moles" – Seção EM FOCO da *Revista Fundações & Obras Geotécnicas* Nº 44, mês (maio), páginas 64 a 69, São Paulo, ano 4.
- DNIT. Projeto de Aterros sobre Solos Moles – Norma Rodoviária – Procedimento, DNER PRO 381/98; Rio de Janeiro; 1998.
- GUSMÃO FILHO, Jaime; Desempenho de Obras Geotécnicas. Recife; Editora Universitária da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), 2006.
- JEWELL, R.A.; GREENWOOD, J.H. "Long-Term Strength and Safety in Steep Soil Slopes Reinforced By Polymer Materials", OUEL 1725/88, 1988.
- MASSAD, Faíçal; Obras de Terra – *Curso Básico de Geotecnia*; 2ª Ed.; São Paulo, Oficina de Textos, 2010.
- NBR 12553, Geossintéticos – Terminologia; ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), 2003.
- PINTO, Carlos de Sousa; *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas*; São Paulo; Oficina de Textos, 2000.
- SAYÃO, Alberto; SIEIRA, Ana Cristina; SANTOS, Petrucio. *Reforço de Solos – Manual Técnico*; Jundiaí, Maccaferri do Brasil, 2013.
- SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. *Ensaio de Campo*, 2ª Ed.; São Paulo; Oficina de Textos, 2012.
- SPOTTI, Alexandre Pereira; *Aterro Estaqueado Reforçado Instrumentado Sobre Solo Mole*, 2006, Tese de Doutorado da COPPE/UFRJ (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro) Rio de Janeiro, 2006. ■
- A matéria completa está disponível na versão digital da revista em: issuu.com/editorarudder
-
- > ALESSANDRO CIRONE é engenheiro civil pelo Politecnico di Milano, 2012 e possui mestrado em geotecnia pela mesma universidade, 2016. Durante seu intercâmbio acadêmico na PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro), especializou-se na área de Solos Moles. Atualmente é engenheiro na empresa Engegraut.
- > EDGARD ODEBRECHT é engenheiro civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (1985), possui mestrado em engenharia civil pela PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) em 1988 e doutorado em Engenharia pela UFRS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) em 2003. Atualmente é sócio-gerente da empresa Geoforma Engenharia e professor da UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina).
- > GIANCARLO DOMINGUES é engenheiro civil formado pela UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), 2003. Possui MBA (Master of Business Administration) pela FGV (Fundação Getúlio Vargas) na área de gestão em 2012. Atualmente é gerente da unidade Sul da Maccaferri do Brasil, respondendo pelas operações da empresa nos estados o Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.
- > JOAQUIM CORREIA RODRIGUES é engenheiro civil. Possui mestrado em Patologia da Construção pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Lisboa) e em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro). Atualmente é diretor da empresa Engegraut Engenharia.
- > RAMON LUIS CAVILHA é engenheiro civil formado pela UDESC, 2011; especialista em pavimentação rodoviária pelo Instituto IDD, 2017 e atualmente responde pela coordenação de mercado no segmento de transportes na Maccaferri do Brasil.