

Solos moles: Os desafios na construção civil



O intuito deste estudo é apresentar como os solos moles se comportam e analisar as soluções geotécnicas. Tendo sustentação teórica na prática desse estudo, inicialmente serão apresentadas algumas explicações sobre solos moles; resultados de obras em solos moles; definição geotécnica; o uso de equipamentos. O objetivo é apresentar meios construtivos de aterros sobre solos moles, analisando dados obtidos de caracterização geotécnica através de ensaios e os instrumentos nela aplicados, para qualificar o desempenho desta obra.

O estudo determinará os parâmetros de resistência e compressibilidade do solo conforme os dados coletados na investigação geotécnica disponibilizada. Serão abordadas técnicas de melhoria dos solos que prometem solucionar problemas importantes, como resistência e/ou deformidade da camada mole de argila. Por causa da baixa resistência destes solos, são comuns problemas relacionados à estabilidade dos aterros durante o período da construção e operação, necessitando-se de fatores mais conservadores de segurança para os locais mais próximos de obras comparados aos trechos com solos homogêneos.

Foi abordada no artigo a análise do solo mole do “Complexo Industrial de Biotecnologia em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz (Cibs/Fiocruz)”, mais

precisamente no prédio dezoito. Feita análise prévia do solo, constatou-se a necessidade de utilizar perfis metálicos para compor as estacas da fundação.

Vários desafios são enfrentados pelos engenheiros geotécnicos ao projetar estruturas sobre solos moles, que incluem recalques intoleráveis ao tipo de construção, grandes pressões laterais e movimentos e instabilidade local ou global. Em qualquer obra de engenharia deve ser analisado o tipo de solo, caracterizando-o pela opinião geotécnica, a fim de avaliar o comportamento e prever a reação aos carregamentos ali submetidos. É essencial estudar o solo para conseguir um bom resultado e que não haja imprevistos no decorrer do andamento da obra e também durante sua vida útil.

São normalmente definidos como solos argilosos saturados, aqueles que possuem baixa resistência ao cisalhamento e permeabilidade, alta compressibilidade. Desta maneira, quando é imposto um carregamento, eles demonstram uma duração de adensamento bem elevada, podendo alcançar anos ou décadas. Como resultado, este efeito pode prejudicar o prazo de finalizar o projeto ou levar problemas futuros a acontecer, devido ao recalque que ali pode vir a ocorrer.

Pode-se denominar como solo tudo aquilo que apresenta matérias com uma degradação facilitada, que esteja na presença do ar, do sol, da água e dos seres vivos. O solo é um material natural e heterogêneo e, por ser formado pela aglomeração de minerais, os quais na desintegração das rochas passam a formar os solos, formam um sistema de três fases. Os solos têm como base para a formação um conjunto de processos, de diferentes naturezas como físico, químico e biológico. A interação entre as partículas, o vento, a temperatura e a pressão são alguns processos físicos, já a presença de água, ácidos, sais e bases está dentro do processo químico. Consequentemente, a atuação dos micro-organismos, da matéria orgânica e das raízes de plantas se englobam no processo biológico. De acordo com a junção destes processos, ocorre a fragmentação das rochas formando partículas menores e, portanto, tipos de solos variados.

As soluções para obras em solos moles, em relação ao comportamento real da obra, surgem incertezas por causa da variação geotécnica e previsão com dificuldades apuradas da dissipação do excesso de poropressão e os deslocamentos que ocorrem na argila. As análises das condições de estabilidade interna e externa, aterro e fundação, respectivamente, e

estabilidade global, aterro mais fundação, como modelos de rupturas, são grandes fatores de relevância a serem estudados.

Com o decorrer dos anos e décadas foram desenvolvidas técnicas e aperfeiçoadas com a finalidade de diminuir ou eliminar os problemas gerados pela alta compressibilidade e baixa permeabilidade dos solos moles, tais como: aplicação de sobrecarga temporária; bermas de equilíbrio; substituição do solo mole (parcial ou total); drenos verticais; aterro estaqueado; aterro leve.

Para elaboração de um projeto geotécnico deve-se seguir as seguintes etapas: a primeira etapa consiste em programar a investigação geotécnica e sua realização. A programação inicia o reconhecimento do terreno por mapas geológicos e pedológicos, fotografias aéreas e levantamento do banco de dados de áreas próximas. Posteriormente, as fases consistem na execução de investigações preliminares e complementares, estas preliminares visam principalmente determinar a estratigrafia da área de estudo, serão realizadas sondagens a percussão e ensaios de caracterização.

Investigações complementares são realizadas após as preliminares, essas podem ser realizadas em laboratório ou em campo, possuem objetivo de definir parâmetros geotécnicos e modelos geomecânico de solo mole, estes que podem ser utilizados nos cálculos de estabilidades e recalques.

As investigações permitem a visão e análise conjunta de todos os resultados obtidos em laboratório ou ensaios de campo, possibilitando um melhor entendimento do comportamento das camadas de depósito de solo mole. Avaliando a coerência nos resultados de diferentes ensaios é indispensável a obtenção dos parâmetros corretos para antecipar o comportamento da obra de aterro em solos moles.

Para o efeito da sobrecarga assimétrica em estacas, os deslocamentos no interior da massa de solo são induzidos pela pressão aplicada sobre a sobrecarga unilateral aplicada, tanto na direção vertical quanto na direção horizontal. No caso de haver estacas nas proximidades da área carregada, estas se constituirão num impedimento à deformação do solo e, conseqüentemente, absorverão as cargas provenientes desta restrição. As cargas atuantes nas estacas serão tão maiores quanto maiores forem as limitações das deformações impostas pela presença das mesmas.

Para análise e determinação dos esforços de flexão que estão atuando sobre as estacas deve-se distinguir duas situações distintas: estacas cravadas em solos predominantemente arenosos, fofos – deformações que ocorrem nesse

caso devido a uma sobrecarga assimétrica é pequena. Com isso, as tensões de flexão agindo nas estacas podem ser desprezadas, uma vez que são muito baixas; e estacas cravadas em solos moles – o efeito da sobrecarga assimétrica em solos argilosos moles os tornam susceptíveis ao adensamento. Dessa forma, haverá deslocamentos horizontais que causarão efeitos consideráveis nas estacas.

No segundo caso (estacas cravadas em solos moles), esses efeitos podem causar danos graves às estacas, caso não tenham sido dimensionadas de modo a atender a estas solicitações. Tendo em vista isso, é preferível e mais favorável executar a instalação das estacas posteriormente à execução e compactação do aterro caso esse venha a causar um carregamento assimétrico.

O Método de De Beer e Wallays (1969 e 1972) é bastante difundido na prática da engenharia e considera a posição relativa da sobrecarga em relação às estacas e o efeito “sombra” entre as mesmas. Com base nos resultados de estudos conduzidos em Amsterdã (HEYMAN e BOERSMA, 1962) e no norte da Alemanha (LEUSSINK e WENZ, 1969), e para prever com segurança as forças de flexão em estacas, esses autores distinguiram dois casos:

Caso A: a tensão de cisalhamento no solo é suficientemente menor que o valor de ruptura; Caso B: a tensão de cisalhamento está próxima do valor de ruptura.

O artigo teve como base o estudo do “Complexo Industrial de Biotecnologia em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz (Cibs/Fiocruz)”, localizado em Santa Cruz, no estado do Rio de Janeiro, tratando-se das fases de terraplanagem e estaqueamento da obra, e será abordado ensaios, soluções, e instrumentos adotados.

O serviço de estaqueamento durou cerca de 2 anos, meados de maio de 2015 até final de junho de 2017, a terraplanagem durou cerca de 2 anos e 5 meses, entre dezembro de 2015 até abril de 2018, levando em consideração o trecho estudado, prédio 18.

Foram executados ao todo 233 furos associadas ao SPT, de acordo com boletim de ensaio da obra SP-163, com perfil estratigráfico composto por uma camada de 0,54 m de aterro de conquista arenoso, sobrejacente à camada de 1,08 m de espessura de argila arenosa mole a muito mole, subjacente a esta camada há presença da camada de 2,90 m de espessura de

areia média fofa a pouco compacta, que por sua vez é sobrejacente à camada de argila orgânica muito mole de 7,47 m de espessura.

Vale salientar que nas demais sondagens SPT feitas na área, a argila mole orgânica muito mole teve variação de 7,47 m (SP-163) a 11,62 m (SP-157) e a posição do nível da água variou de 0,66 m (cota 1,69m) a 0,92 m (cota 1,43 m) abaixo do terreno. Em toda a extensão de obra a camada mole foi no máximo de 14 m e mínima de 2,44 m.

Futuramente, durante a cravação das estacas, foi visto que a penetração das estacas foi de 35 m, como o terreno se encontra em cota +2,34m, a média de penetração foi de -32,44m.

Os ensaios realizados próximo às sondagens previamente realizadas propensas a criar as ilhas de investigação, sendo realizados 8 perfis de piezocone com o total de 128,92 m de intervalo ensaiado e 15 ensaios de dissipação, incluindo coordenadas e profundidades atingidas, cota do terreno e o coeficiente horizontal de adensamento (Ch).

A sondagem CPTU 163 com coordenadas 7469780.07 NORTE e 630928.45 LESTE, profundidade de ensaio de 17,16m, profundidades de dissipação 10m e 11m com Ch de 15m²/ano e 52m²/ano respectivamente, na cota do terreno 2,35m. Foram os dados e resultados obtidos para o SP-163 no ensaio de Piezocone.

A terminologia CPTU 163, se refere ao ensaio realizado no mesmo local que foi realizada a sondagem à percussão SP-163.

Na terraplanagem foi prevista sobrecarga temporária de 1,20m para o trecho de estudo, considerando uma camada de colchão drenante de 0,50m de espessura.

Como a malha de geodrenos dimensionada com espaçamento de 2,0 x 2,0m e estimando-se um tempo de estabilização dos recalques de 8 a 13 meses após a conclusão de terraplanagem, foi dada a continuidade das leituras de placas de recalque, que serviriam como base para estimar o tempo de estabilização total. Sendo assim possível estimar precisamente a retirada da sobrecarga.

Feito de forma majoritária de modo estático e vibratório a instalação dos geodrenos, por meio de escavadeira adaptada com broca na ponta. No projeto, as profundidades de cravação variam de 13m e 17m e os pré-furos entre 3m e 5m , de acordo com as camadas do solo iniciais. A cravação

vibratória foi avaliada pela equipe geotécnica para ter plena certeza que este método atendesse aos requisitos do projeto.

Analizando os dados das placas de recalques da área, conclui-se que o comportamento ao longo de 8 meses de monitoramento era compatível com as solicitações do projeto em relação ao avanço dos recalques. Com isso foi liberada a cravação pelo método vibratório, desde que fosse utilizado um mandril com área transversal máxima de 72 cm² (60mm x 120mm), assim minimizando o amolgamento do solo.

O equipamento usado na vibração é semelhante ao utilizado no estático, entretanto, a vibração da máquina permite que o mandril penetre com mais facilidade no solo, deixando de ser necessário o pré-furo. Com isso, há aumento de produtividade mesmo tendo variação devido às constantes manutenções nos equipamentos.

Para monitorar a obra, foram instaladas placas de recalque, piezômetros e inclinômetros, ao todo foram 12 piezômetros, sendo 4 colunas com 3 equipamentos em cada, 4 inclinômetros e mais 84 placas de recalque, espalhados pelo terreno total da obra. Na área estudada do prédio 18, foi instalada 1 placa de recalque, 1 coluna com 3 piezômetros e 1 inclinômetro.

De início foi feita a leitura inicial, denominada “zero” de todos os instrumentos, durante o processo de construção do aterro as leituras eram executadas duas vezes por semana e quando não havia colocação de aterro era feita leitura uma vez por semana.

Destacando a importância de um bom planejamento e execução, chegou-se à conclusão da importância de uma boa sondagem SPT para verificar o tipo de solo, mais precisamente, assim prevendo melhor o comportamento do solo mole durante a obra, com ajuda dos dados obtidos em ensaios laboratoriais.

As soluções utilizadas foram a sobrecarga temporária, instalação de geodrenos verticais associados a sobrecargas temporárias e bermas de equilíbrio.

A utilização de piezômetros, inclinômetros e placas de recalque, foram de extrema importância para análise da movimentação do aterro.

Feita análise do efeito Sombra inicialmente para todos os perfis metálicos, chegou-se à conclusão que a diferença era pouca entre os perfis e tomou-se a decisão de fazer apenas para os extremos.

Foi realizado o início das obras de fundações juntamente com a terraplanagem, somente depois foi realizado o adensamento do solo.

Com isso, este trabalho destacou a importância de obter os parâmetros corretos geotécnicos para que possa prever o comportamento do solo mole durante a obra, tais parâmetros obtidos por meio de investigações geotécnicas preliminares e complementares.

Métodos Numéricos em Geotecnia

A linha de pesquisa Métodos Numéricos em Geotecnia tem por objetivo desenvolver pesquisas que incluam a aplicação de técnicas matemáticas para solução de diversos problemas da engenharia geotécnica. A aplicação de modelos numéricos à engenharia geotécnica já é feita com frequência, caracterizando muitas das pesquisas em geomecânica via Método das Diferenças Finitas (MDF), Método dos Elementos Finitos (MEF) e Método dos Elementos de Contorno (MEC). Essa linha de pesquisa adota como vertentes temáticas dentro desse amplo universo a aplicação de modelos constitutivos desenvolvidos para solos tropicais e para solos não saturados.

Esta linha de pesquisa também se propõe a estudar numericamente as grandes escavações a céu aberto e subterrâneas. Ainda nessa linha temática estudam-se elementos de interface, tanto para modelagem das descontinuidades do solo como para interação solo-estrutura. No âmbito da modelagem da interação da construção com o solo, estudam-se principalmente a interação entre estacas, abordando-se o problema de forma tri-dimensional, e a interação entre o corpo das barragens e as ombreiras.

Outra linha temática é o uso das ferramentas numéricas na análise do comportamento de pavimentos em solos tropicais. Nesse âmbito aplicam-se técnicas de retro-análise de ensaios em laboratório e de campo, o que pode ser feito com o uso de técnicas de otimização. Finalmente, observa-se que esta linha de pesquisa lida com a aplicação do ferramental de análise numérica à solução dos problemas de geotecnia e, por isso, tem interação direta com as outras duas linhas de pesquisa em engenharia geotécnica do programa.