

## SOLOS MOLES: OS DESAFIOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

**Edison de Freitas Ventura Junior**

Graduado em Engenharia civil pelo Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM.  
contato@venturajr.eng.br

**Rachel Cristina Santos Pires**

Mestre em Desenvolvimento Local, Engenheira Civil, de Segurança do Trabalho e  
Professora Universitária no Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM.  
rachelpireseng@gmail.com

### RESUMO

O intuito deste trabalho é estudar como os solos moles se comportam e analisar as soluções geotécnicas. Tendo sustentação teórica na prática desse estudo, inicialmente será apresentada uma pequena revisão bibliográfica sobre: solos moles; resultados de obras em solos moles; definição geotécnica; o uso de equipamentos. O objetivo é tentar descrever meios construtivos de aterros sobre solos moles, analisando dados obtidos de caracterização geotécnica através de ensaios e descrevendo os instrumentos nela aplicado, 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. Será abordado 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 abordado 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.

**Palavras – Chave:** Solos moles; Aterro; Recalque; Instrumentação.

### ABSTRACT

The aim of this work is to study how soft soils behave and to analyze geotechnical solutions. Having theoretical support in the practice of this study, a small bibliographic review was formulated on: soft soils; results of works on soft soils; geotechnical definition; the use of equipment. The objective is to try to describe the means of construction of landfills on soft soils, analyzing data obtained from geotechnical characterization through tests and describing the instruments applied in it, to qualify the performance of this work. The study will determine the parameters of resistance and compressibility of the soil according to the data collected in the available geotechnical investigation. Soil improvement techniques will be discussed that promise to solve important problems, such as resistance and or deformity of the soft clay layer. Because of the low resistance of these soils, they are common related to the stability of the landfills during the period of construction and operation, requiring more conservative safety factors for the most common construction sites compared to stretches with homogeneous soils.

The soft soil analysis of the “Industrial Complex of Biotechnology in Health of the Oswaldo Cruz Foundation (Cibs / Fiocruz)” was addressed in the article, more precisely in building eighteen, after a previous analysis of the soil, it was found the need to use metal profiles for compose the foundation piles.

**Keywords:** Soft soils; Landfill; Repression; Instrumentation.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional vem crescendo exponencialmente em torno dos grandes centros urbanos complementa a necessidade de explorar superficialmente novas áreas que até então eram evitadas devido suas características geotécnicas, áreas localizadas na baixada próximo a linha mais profunda do leito de rio “Talvegues”, onde ali apresentam-se solos aluvionares moles ou fofos que apresentam comportamento inadequado para construção.

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 (HAN et al, 2002).

Em qualquer obra de engenharia devemos analisar 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 onde 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 à acontecerem devido ao recalque que ali pode vir ocorrer.

Marangon (2018, p.61) entende que:

Compressibilidade é uma característica de todos os materiais de quando submetidos a forças externas (carregamentos) se deformarem. O que difere o solo dos outros materiais é que ele é um material natural, com uma estrutura interna o qual pode ser alterada, pelo carregamento, com deslocamento e/ou ruptura de partículas. Portanto, devido a estrutura própria do solo (multifásica), possuindo uma fase sólida (grãos), uma fase fluida (água) e uma fase gasosa (ar) confere-lhe um comportamento próprio, tensão-deformação, o qual pode depender do tempo.

Torna-se indispensável dentro da geotecnia analisar outras técnicas de construção para tentar minimizar ou impedir por completo este fenômeno.

Diversas questões estão associadas a escolha de métodos construtivos: características geotécnicas dos depósitos; incluindo vizinhança; utilização da área, custos envolvidos e prazos construtivos (ALMEIDA & MARQUES, 2010).

Ao trabalhar com substratos compostos por solos moles, desprezando a existência, temos duas possibilidades, amenizamos os efeitos do adensamento ou eliminamos a influência deste na solução de engenharia.

São recorrentes na costa brasileira com a escassez de solos competentes de boa amplitude de carga. O motivo para realização deste estudo é sobre um trabalho realizado no Complexo de Vacinas em Santa Cruz onde o projeto de execução foi dividido em terraplanagem e estaqueamento.

Serão apresentados na revisão bibliográfica os conceitos abordados no decorrer da execução da obra, detalhando diversas soluções empregues no empreendimento, apresentando diversos tipos de investigações geotécnicas efetuadas e instrumentações utilizadas na durante a obra.

Objetivo deste artigo é descrever algumas soluções utilizadas em obras de solos moles, apresentar métodos de construção, analisando as informações e dados obtidos com ensaios de caracterização geotécnico e detalhamento dos instrumentos utilizados para avaliação comportamental dessa obra. Além de demonstrar um exemplo prático como as três etapas são implementadas na construção, assim como a ordem de execução que seguem, e também enfatizar sua importância para um bom trabalho na etapa de execução ou depois que o projeto for entregue.

Ignorar as etapas de caracterização do solo gera um risco iminente de desastres, as investigações geotécnicas feitas corretamente previnem e evitam o desabamento, desmoronamento e deslizamentos, contém a ocupação desordenada de locais perigosos, evita manifestações patológicas relacionadas à infraestrutura, reduz o risco de acidentes e evita gastos desnecessários com elementos de fundação.

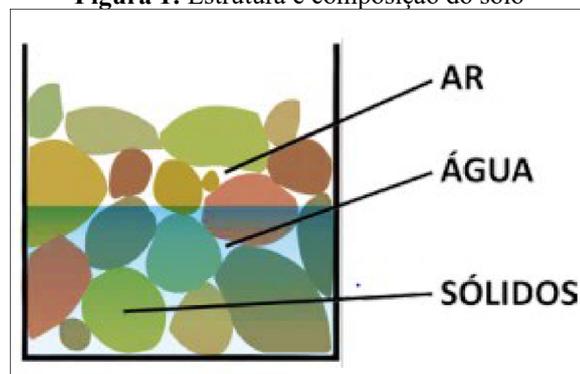
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Formação do solo

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 (TOLEDO, 2019).

Para Souza e Bastos (2015) “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” (Figura 1).

**Figura 1:** Estrutura e composição do solo



**Fonte:** SOUZA & BASTOS (2015)

Ao se analisar a vida na Terra, consegue-se dizer que direta ou indiretamente os organismos são dependentes do solo. E este se denomina como um corpo natural apresentando características como surgimento demorado, sem reprodução e que “morre” facilmente (LIMA & LIMA, 2019).

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. Conseqüentemente, 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 (ANDREOLI et al, 2019).

### **2.1.1 Fatores de formação do solo**

Os variados tipos de solos apresentam em sua composição fatores que influenciam no decorrer de sua formação e com isso geram várias composições diferentes. Dentre estes fatores, estão o clima, o material de origem, o relevo, os organismos e o tempo cronológico (LIMA & LIMA, 2019).

### **2.1.2 Clima**

Por meio da energia solar, da umidade e da precipitação, o clima interfere na formação dos solos. Este fator tem grande influência sobre os outros já que pode controlar a intensidade e o tipo dos demais processos (GUERRA & BOTELHO, 1996).

### **2.1.3 Material de origem**

Os materiais de origem são os maiores definidores dos variados tipos de solo. Por meio da decomposição de diferentes rochas, nascem os variados tipos de solo, os quais podem ser constituídos de materiais de natureza mineral ou também de materiais orgânicos (LIMA & LIMA, 2019).

### **2.1.4 Relevo**

Segundo Pes e Arenhardt (2015), este fator apresenta maior domínio sobre a classificação de água e luz solar. Desta maneira, os locais em que se encontra uma inclinação maior apresenta uma menor quantidade de solo, pois a água tende a permanecer menos tempo e causar menor erosão. Por outro lado, os locais planos apresentam maior profundidade de solo, em virtude da água percolar lentamente e esse tende a receber a erosão.

### **2.1.5 Organismos**

Dentre os muitos fatores que influenciam a formação dos solos está o trabalho dos organismos. De acordo com Rhoden, et al. (2019), eles têm importância, pois ajudam na quebra de ligações químicas entre minerais fazendo com que ocorra a degradação das rochas.

### **2.1.6 Tempo**

O tempo tem um grande poder sobre as diferentes características dos solos, visto que quanto maior o tempo de exposição do clima e dos organismos sobre a rocha mais intemperizada ela será, ou seja, serão solos que quase não apresentarão minerais herdados da rocha, portanto serão profundos e ácidos (RHODEN, et al., 2019).

## **2.2 Definição de Desempenho**

Por definição são normalmente solos de origens sedimentares geralmente saturados em sua maioria argilosos, este solo tem suporte a baixa permeabilidade e alta compressibilidade. Essas características impactam no comportamento do solo, que no momento que é submetido à variação de tensões efetivas, tal como, um aterro em cima da camada apresenta grandes deformações. O critério citado previamente defini o cenário de grandes deformações encontra-se em Martins e Abreu (2002).

Os recalques decorrem por um longo tempo, uma vez que as baixas permeabilidades desses materiais, dissipam o excesso de poropressão gerado, de forma que o carregamento seja lento.

Conforme PINTO (2006), os solos são classificados como mole pela equação a seguir:

Índice de consistência (IC) < 0,5:

$$IC = \frac{LL - w}{LL - LP}$$

Onde:

LL = Limite de Liquidez

w = teor de umidade

LP = Limite de Plasticidade

Usando a tabela 1 para classificar.

**Tabela 1:** Consistência da argila conforme o índice de consistência

Índice de Consistência	Consistência da argila
< 0,5	Mole
0,5 a 0,75	Média
0,75 a 1	Rija
> 1	Dura

**Fonte:** Adaptado de PINTO (2006)

Nspt é o parâmetro responsável por medir a resistência do solo à penetração, consiste em golpear o solo de 30 em 30 cm com amostrador padrão, após os 15 primeiros centímetros. A classificação apresentada na tabela 2 refere-se à consistência em função do Nspt.

**Tabela 2:** Nspt define a consistência da argila.

NSPT	Consistência da argila
< 2	Muito mole
3 a 5	Mole
6 a 10	Média
11 a 19	Dura
>19	Muito dura

**Fonte:** Adaptado de PINTO (2006)

Resistência à compressão simples  $\leq 50$ kPa:

A carga necessária para levar a ruptura o corpo de prova, dividida pela área da seção transversal do corpo é a resistência à compressão simples (PINTO, 2006).

Como pode observar na tabela 3 a classificação usada.

**Tabela 3:** Consistência da argila conforme a resistência à compressão simples.

Resistência (kPa)	Consistência da argila
< 25	Muito mole
25 a 50	Mole
50 a 100	Média
100 a 200	Rija
200 a 400	Muito rija

>400

Dura

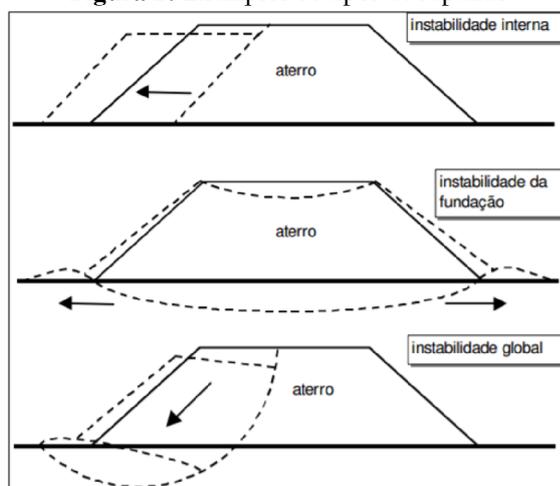
Fonte: Adaptado de PINTO (2006)

### 2.3 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 ilustrados na Figura 2, são grandes fatores de relevância a serem estudados (ALMEIDA, 1996).

Figura 2: Exemplos de tipos de rupturas.



Fonte: ALMEIDA (1996)

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.

#### 2.3.1 Aplicação de sobrecarga temporária

A aceleração dos recalques por adensamento primário e compensação dos recalques por compressão secundária é a técnica aplicada no aterro convencional com sobrecarga temporária, estabilizando os recalques, retirando-se a sobrecarga, eliminando-a.

Esses recalques provocados pela sobrecarga serão estabilizados assim que atingirem a altura final, este método consiste em manter a sobrecarga durante um tempo até que atinja a altura final desejada do aterro.

Com tempo de estabilização grande, permeabilidade alta do solo e grande volume a ser descartado, são desvantagens deste processo.

#### 2.3.2 Bermas de Equilíbrio

São elementos utilizados para garantir a estabilidade global do conjunto formado pelo solo mole e aterro, de modo que a estrutura compense os momentos de instabilidades em consequência aumente o fator de segurança. Vale lembrar que a restrição de espaço e material disponível pode inviabilizar o uso das bermas de equilíbrio.

#### 2.3.3 Substituição do solo mole (parcial ou total)

A substituição do solo mole, se dá na retirada do solo por meio de dragas e escavadeiras e na colocação de aterro substituindo o solo retirado.

Primeiro é preparado o aterro para permitir o acesso de máquinas e equipamentos permitindo que seja feita a dragagem e escavação daquele solo e em seguida é preenchido com o material do aterro.

### **2.3.4 Drenos verticais**

Feitos de areia eram os primeiros drenos, atualmente são utilizados geodrenos, são fabricados com filtro geossintéticos e núcleo de plástico.

A utilização de drenos verticais tem a função de acelerar o processo de adensamento do solo através da combinação da drenagem radial com a drenagem vertical, promovendo uma redução no caminho percorrido pelas partículas de água durante o processo de fluxo, sem alteração no valor final do recalque (HAUSMANN, 1990).

Executa-se inicialmente sobre a camada de solo, uma camada drenante, seguida da cravação dos drenos e execução do corpo de aterro.

A cravação é o posicionamento do dreno no interior do mandril, uma haste vertical vazada.

### **2.3.5 Aterro estaqueado**

Tem como princípio introduzir os elementos de estacas, estes que atuam como elementos rígidos capazes de absorver uma parcela elevada das cargas que ali foram aplicadas e retransmiti-las às camadas mais resistentes do subsolo, o aterro estruturado apoia-se sobre as estacas ou colunas.

A distribuição das cargas para as estacas pode ser feita através da utilização de capitéis, geogrelhas ou lajes presentes no topo das estacas, entre o solo mole e o aterro. Esse tipo de solução minimiza ou até mesmo elimina os recalques, além de melhorar a estabilidade do aterro. Além disso, possui a grande vantagem de possibilitar o alteamento do aterro em uma só etapa, minimizando o tempo de execução do mesmo, essa metodologia executiva também pode ser utilizada com base no uso de colunas granulares que, além de produzirem menores deslocamentos horizontais e verticais do aterro em comparação ao aterro convencional ou sobre drenos, também promove a dissipação do excesso de poropressão por drenagem radial, acelerando os recalques e aumentando a resistência ao cisalhamento da massa de solo de fundação (ALMEIDA & MARQUES, 2010).

### **2.3.6 Aterro leve**

A magnitude dos recalques primários dos aterros sobre camadas de solos moles é função do acréscimo de tensão vertical causado pelo aterro construído sobre a camada de solo mole. Logo, a utilização de materiais leves no corpo de aterro reduz a magnitude desses recalques. Essa técnica, denominada aterro leve, tem como vantagem adicional a melhoria das condições de estabilidade desses aterros, permitindo também a implantação mais rápida da obra, diminuindo ainda os recalques diferenciais (ALMEIDA & MARQUES, 2010).

## **2.4 Etapas do projeto**

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.

#### **2.4.1 Sondagem a percussão associada ao SPT**

Visando a definição dos tipos de solos, profundidades de ocorrência dos mesmos e posição do nível d'água de modo que se possa obter o perfil estratigráfico, é feita a investigação preliminar do terreno que consiste essencialmente na realização de ensaios de sondagens de simples reconhecimento com SPT, cujo procedimento de ensaio é normalizado pela NBR 6484 (ABNT, 2001).

A principal informação nessa fase de investigação é a definição da espessura das camadas de argila mole, do aterro superficial, das camadas intermediárias com outras características e do solo subjacente. As curvas de isoespessuras de camadas são muito úteis para a fase de avaliação dos métodos construtivos a serem adotados em cada área da obra (ALMEIDA & MARQUES, 2010).

#### **2.4.2 Piezocone**

O ensaio de penetração de cone in situ é realizado com base em procedimentos recomendados pela Norma Brasileira de Ensaio de Cone, MB 3406 (ABNT, 1990).

Este ensaio consiste em cravar no terreno uma ponteira cônica de 60° de seção transversal com área de 10 cm<sup>2</sup> e velocidade constante de 2 cm/s.

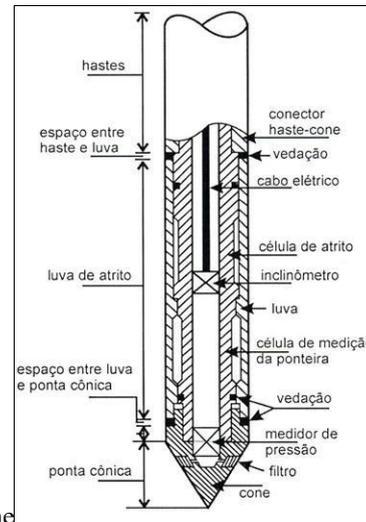
A padronização da velocidade de cravação é importante visto que o valor da resistência varia cerca de 10% por ciclo logarítmico da velocidade de cravação (LEROUEIL & MARQUES, 1996).

O piezocone apresenta células de carga que medem a resistência de ponta (qc), atrito lateral (fs) e a poropressão (u) (LUNNE et al, 1997).

Determinar a estratigrafia do subsolo e identificar os materiais correspondentes são as principais aplicações do piezocone.

Os resultados dos ensaios de Piezocone são muito úteis na estimativa do comportamento típico dos solos, definição do perfil contínuo de resistência não drenada (de forma indireta a partir da resistência de ponta do cone corrigida, qt, e do fator de cone Nkt) e obtenção dos coeficientes de adensamento do solo a partir do ensaio de dissipação, as medidas de resistência são realizadas continuamente com a penetração do cone no terreno. Nos ensaios do piezocone as medidas de resistência são corrigidas devido a forma desigual na qual a poropressão atua na geometria da ponta do instrumento (ALMEIDA & MARQUES, 2010).

No CPT e CPTu, o esforço necessário para cravar o cone (qc), atrito lateral (fs). O inclinômetro dentro da sonda garante a verticalidade da sonda, no CPT não há medidor de pressão e filtro (Figura 3).



**Figura 3:** Características da Sonda do Piezocone

Fonte: LUNNE et al (2002)

A resistência não drenada ( $S_u$ ) obtida indiretamente a partir de dados obtidos no ensaio de piezocone pode ser estimada a partir de diversas equações (LUNNE et al, 1997). No entanto, os ensaios de Palheta são mais comumente utilizados para finalidade de estimar a resistência não drenada (ALMEIDA & MARQUES, 2010).

A razão correspondente entre o atrito lateral e a resistência de ponta do cone, em porcentagem:

$$Rf = (fs/qc) \times 100$$

Com essa relação é possível determinar o tipo de solo ensaiado. Valores baixos obtidos, estão associados a altos valores de “qt” que representa material arenoso de comportamento drenado. Entretanto valores altos de “Rf” estão associados aos baixos valores de “qt” o que representam solos de materiais argilosos de baixa consistência, argilas moles.

O ensaio de dissipação do excesso de poropressões geradas durante a cravação do piezocone no solo pode ser interpretado para estimativa do coeficiente de adensamento horizontal (ch). Por meio deste é possível determinar o coeficiente de adensamento vertical (cv), corrigido em função das diferentes condições de contorno existentes no campo e no laboratório (estado de tensões distintas). Esse ensaio consiste em interromper-se a cravação do piezocone em profundidades preestabelecidas, até atingir-se, no mínimo, 50% de dissipação do excesso de poropressão (ALMEIDA & MARQUES, 2010).

Atualmente o método mais utilizado de estimativa de ch é o de Houlsby e Teh (1988), que leva em conta o índice de rigidez do solo (IR), como fator tempo.

### 2.5 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 quando 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 (DANZIGER, 2016).

Para análise e determinação dos esforços de flexão que estão atuando sobre as estacas deve distinguir duas situações distintas, conforme mostrado no Quadro 1, a seguir:

**Quadro 1:** Situações distintas para análise dos esforços de flexão sobre estacas

Estacas cravadas em solos predominantemente arenosos, fofos
Deformações que ocorrem nesse caso devido à uma sobrecarga assimétrica são pequenas. Com isso, as tensões de flexão agindo nas estacas podem ser desprezadas, uma vez que são muito baixas.
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.

**Fonte:** DANZIGER (2016)

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 a execução e compactação do aterro caso esse venha a causar um carregamento assimétrico (DANZIGER, 2016).

Interessante notar que nestes casos, de acordo com Danziger (2016), como primeira tentativa para minimizar o problema, é comum se estudar a viabilidade de se afastar a causa ou diminuir ao máximo seus efeitos, conforme o Quadro 2.

**Quadro 2:** Métodos utilizados para minimizar o efeito da sobrecarga assimétrica

Métodos
Remoção do trecho em argila mole (quando não muito espesso)
Pré-carregamento do aterro, com ou sem emprego de drenos para acelerar os recalques, com consequente melhoria da resistência ao cisalhamento do material de fundação. Esta solução é empregada especialmente quando se deseja aumentar o fator de segurança à ruptura global
Diminuição do valor da sobrecarga com utilização de material de aterro com pequeno peso específico, ou seja, alta porosidade
Utilização de estacas que produzam pequenos deslocamentos quando da sua cravação, como perfis metálicos e estacas tubulares, de modo a reduzir o amolgamento e a indução de pressões neutras
Utilização de estacas com adequada resistência à flexão e orientadas com o seu eixo de maior inércia normal à direção do movimento;
Encamisamento das estacas no trecho sujeito aos maiores deslocamentos.

**Fonte:** DANZIGER (2016)

Destaca-se os seguintes fatores que mais influenciam na distribuição das pressões laterais que atuam sobre as estacas: altura e peso específico do material de aterro ou armazenado, as características da camada compressível, a rigidez e geometria das estacas, as distâncias das estacas à sobrecarga e o tempo.

Considerando o último dos fatores acima, convém ressaltar que a situação existente após a realização do aterro pode não ser necessariamente a pior. Ao longo do tempo, embora haja um acréscimo de resistência devido ao adensamento, resultando numa influência favorável, por outro lado, as deformações também aumentam, resultando num fator desfavorável. Não é possível, portanto, prever de um modo geral, qual dessas influências irá comandar o comportamento conjunto. É possível que a fundação seja estável durante certo período de tempo e que, apenas depois de alguns meses ou anos, haja sinais de ruína (DANZIGER, 2016).

## **2.6 Método de De Beer e Wallays (1969 e 1972)**

Este método empírico é bastante difundido na prática da engenharia e considera a posição relativa da sobrecarga em relação às estacas e também 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.

### **2.6.1 Caso A**

Este método foi proposto para o caso em que as tensões cisalhantes no solo são suficientemente menores do que os valores de ruptura, quando a sobrecarga atuante é uniforme, a tensão horizontal ( $P_h$ ) é igual a sobrecarga atuante ( $q$ ), na camada sujeita a deformação horizontal.

Para sobrecarga não uniforme, por exemplo, limitada por talude utiliza um fator de redução  $f$ , que é o ângulo do talude fictício menos metade do ângulo do talude, tudo dividido por metade de  $\pi$  menos metade do ângulo do talude.

Para chegarmos a altura fictícia do aterro, usamos o produto da altura real do aterro com o peso específico do aterro e dividimos esse produto pelo peso específico do material utilizado.

Vale lembrar que o método proposto só é seguro quando existe uma ampla margem de segurança contra a ruptura global. De Beer e Wallays (1972) ressaltam que as análises dos dados das pesquisas realizadas por diversos autores descritas na bibliografia indicam que este método só deve ser aplicado quando o fator de segurança global, desprezando a presença das estacas for superior a 1,4 (ALONSO, 1989). Danziger (2016) sugere, no entanto, a adoção de fator de segurança contra a ruptura global de 1,6.

De Beer & Wallays (1972), ressaltam que o método semi empírico proposto é aproximado. Seu único objetivo é a obtenção de uma estimativa do valor máximo do momento do fletor. O método, segundo os autores, não sugere o estabelecimento da variação do momento fletor ao longo da estaca. Portanto, por razão de segurança, as estacas devem ser reforçadas ao longo de todo o seu comprimento para o máximo momento calculado.

### **2.6.2 Caso B**

Este método foi proposto para o caso em que as tensões cisalhantes no solo se aproximem dos valores de ruptura, o que acontece quando o fator de segurança de ruptura global é baixo,

submetidas a carregamentos maiores que o indicado pelo método anterior, as estacas foram submetidas.

Nessa situação, De Beer e Wallays (1972) e De Beer (1972) recomendam que o carregamento horizontal máximo atuante na estaca seja calculado com base no trabalho de Brinch Hansen (1961), considerando uma região de influência para cada estaca três vezes o seu diâmetro.

### **3. ESTUDO DE CASO**

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, abordarei ensaios, soluções, 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.

#### **3.1 Sondagem**

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 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 das foi de -32,44m.

#### **3.2 Piezocone**

Os ensaios realizados próximo as 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 15m<sup>2</sup>/ano e 52m<sup>2</sup>/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 percursão SP-163.

#### **3.3 Sobrecarga temporária e geodrenos**

Na terraplanagem foi previsto sobrecarga temporária de 1,20m para o trecho 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 os requisitos do projeto, analisando os dados das placas de recalques da área, concluiu-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 liberado a cravação pelo método vibratório desde que fosse utilizado um mandril com área transversal máxima de 72 cm<sup>2</sup> (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 as constantes manutenções nos equipamentos.

### **3.3 Instrumentos**

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.

### **3.4 Método aplicado**

Foi abordado neste artigo a análise do solo mole do “Complexo Industrial de Biotecnologia em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz (Cibs/Fiocruz)”, mais precisamente no prédio 18. Feita análise prévia do solo, foi constatado que seria necessário o uso de perfis metálicos para as estacas que compõem as fundações, perfis este: W250x38,5, W310x52,0, HP310x79,0, HP310x125,0. Previsto a ordem no projeto de execução, primeiro seria feito obras de terraplanagem depois o adensamento do solo mole e após isso daria-se início as obras das fundações, porém o cliente optou em alterar o cronograma, fazendo com que o início das obras de fundações fosse juntamente com as obras de terraplanagem e somente após isso foi feito o adensamento do solo. Considerando esta decisão, foi necessário avaliar possíveis consequências, uma sendo o efeito “sombra”, que os esforços horizontais são reduzidos conforme as estacas vão se distanciando da sobrecarga.

O CPTU 163 indicou uma camada de areia siltosa que se estende até 5m seguida de uma camada de argila mole até 13m e por fim uma camada de areia siltosa até o final do ensaio, os dados do ensaio de dissipação apresentou valores de coeficiente horizontal de adensamento (Ch) com pouca variação, sendo uma característica de solo argiloso com baixa permeabilidade.

Os geodrenos foram instalados por meios estáticos e vibratórios. Também foram instalados piezômetros, inclinômetros e placas de recalque.

#### 4. CONCLUSÃO

Destacando a importância de um bom planejamento e execução, chegou-se a 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 a 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.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas, NBR 12069 (MB3406): **Solo – Ensaio de penetração in situ (CPT)**, Rio de Janeiro, ABNT, 1990.

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas, NBR 6484: **Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**, Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

ALMEIDA, M. S. S., MARQUES, M. E. S., **Aterros Sobre Solos Moles: Projeto e Desempenho**, Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

ALMEIDA, Márcio de Souza S. **Aterros sobre solos moles: da concepção à avaliação do desempenho**. Rio de Janeiro, Editora UFRJ, 1996.

ALONSO, U. R., **Dimensionamento de fundações profundas**, 1989.

ANDREOLI, Cleverson V.; ANDREOLI, Fabiana de Nadai; JUSTI JUNIOR, Jorge. **Formação e Características dos Solos para o Entendimento de sua Importância Agrícola e Ambiental**. 2019. Disponível em: [http://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/31\\_Formacao-de-caracteristicas.pdf](http://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/31_Formacao-de-caracteristicas.pdf) . Acesso em: 04 de Outubro de 2020

BRINCH, B. J., The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces, The Danish Geotechnical Institute, 1961.

CRESPO NETO, F. N. **Efeito da velocidade de rotação na tensão cisalhante obtida em ensaio de palheta**. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

DE BEER, E. E., WALLAYS, M., **Die Berechnung der waagerechten, Beanspruchung von Pfählen in Weichen Biden**, 1969.

GERSCOVICH, Denise; SARAMAGO, Robson; DANZIGER, Bernadete Ragoni. **Contenções: teoria e aplicações em obras**. Oficina de Textos, 2019.

GUERRA, Antônio José Teixeira; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Características e Propriedades dos Solos Relevantes para os Estudos Pedológicos e Análise dos Processos Erosivos**. 1996. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/viewFile/6168/4765> . Acesso em: 04 de Outubro de 2020.

HAN, JIE & GABR, M.. (2002). **Numerical Analysis of Geosynthetic-Reinforced and Pile-**

HAUSMANN, Manfred R. **Princípios de engenharia de modificação do solo** . 1990.

HOULSBY, G. T.; TEH, C. I. Analysis of the piezocone in clay. In: **International Symposium on penetration testing; ISOPT-1**. 1. 1988. p. 777-783.

JAMIOLKOWSKY, M. New developments in field and laboratory testing of soils. In: **Proc. 11th ICSMFE**. 1985. p. 57-153.

LEROUEIL, S.; MARQUES, M. E. S. Importance of strain rate and temperature effects in geotechnical engineering, Measuring and Modeling Time Dependent Soil Behavior TC Sheahan, VN Kaliakin, 1–60. **Am. Soc. of Civ. Eng., New York**, 1996.

LIMA, Valmiqui Costa; LIMA, Marcelo Ricardo de. **Formação do Solo**. 2019. Disponível em: [http://www.mrlima.agrarias.ufpr.br/SEB/arquivos/formacao\\_solo.pdf](http://www.mrlima.agrarias.ufpr.br/SEB/arquivos/formacao_solo.pdf) . Acesso em: 04 de Outubro de 2020.

LUNNE, T.; BERRE, T.; STRANDVIK, Sl. Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay. In: **Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics** CAPES-Fundacao Coordenacao de Aperfeicoamento de Pessoal de Nivel Superior; CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; FAPERJ-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro; FINEP-Financiadora de Estudos e Projetos. 1997.

LUNNE, Tom; POWELL, John JM; ROBERTSON, Peter K. **Cone penetration testing in geotechnical practice**. CRC Press, 2002.

LEUSSINK, H.; WENZ, K. P. Storage yard foundations on soft cohesive soils. **Proc., 7th ICSMEE**, v. 2, p. 149-155, 1969.

MARANGON-2018. **Mecânica dos solos II – edição 2018**, Faculdade de engenharia - NUGEO. Disponível em: <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2013/06/MARANGON-2018-Cap%c3%adtulo-01-Hidr%c3%a1ulica-dos-Solos-20181.pdf> . Acesso em: 03 de Outubro de 2020.

MARTINS, I. S. M., ABREU, F. R. S., **Uma solução aproximada para o adensamento unidimensional com grandes deformações e submersão de aterros**, Revista Solos e Rochas, São Paulo, v. 25, p. 3-14, 2002.

MB, ABNT. 3406 (1990): Solo–Ensaio de penetração de cone in situ (CPT). **CB-02, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.**

NBR, ABNT. 6484: Solo-Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT–Método de Ensaio. **Rio de Janeiro, 2001.**

PES, Luciano Zucuni; ARENHARDT, Marlon Hilgert. Solos. **Santa Maria: Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa, 2015.**

PINTO, Carlos de Souza. Curso básico de mecânica dos solos. **São Paulo: Oficina de Textos, v. 3, 2006.**

RHODEN, Anderson Clayton et al. **Fatores de Formação dos Solos na Região de Itapiranga. 2019.** Disponível em: <http://faifaculdades.edu.br/eventos/AGROTEC/1AGROTEC/arquivos/resumos/RES18.pdf> . Acesso em: 04 de Outubro de 2020.

SOUZA, Jéssica Siqueira de; BASTOS, CWDAM. Mecânica dos solos. **Brasília: NT Editora, 2015.**

**Supported Earth Platforms over Soft Soil.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering - J GEOTECH GEOENVIRON ENG. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/245294022\\_Numerical\\_Analysis\\_of\\_Geosynthetic-Reinforced\\_and\\_Pile-Supported\\_Earth\\_Platforms\\_over\\_Soft\\_Soil](https://www.researchgate.net/publication/245294022_Numerical_Analysis_of_Geosynthetic-Reinforced_and_Pile-Supported_Earth_Platforms_over_Soft_Soil). Acesso em: 03 de Outubro de 2020.

TOLEDO, Maria Cristina Motta de et al. Intemperismo e Pedogênese. 2019. Disponível em: [https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo02/geologia\\_PLC0011/geologia\\_top07.pdf](https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo02/geologia_PLC0011/geologia_top07.pdf) . Acesso em: 04 de Outubro de 2020.

VAN DORP, T. Construindo sobre geofoam EPS nas 'terras baixas'. Experiências na Holanda. In: **Anais de simpósio internacional sobre o método de construção EPS (Poli-Estirol Expandido) (EPS Tokyo'96)** . 1996.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações Critérios de Projeto. **Investigação do Subsolo, Fundações Superficiais e Fundações Profundas,** v. 1, 2011