

Felipe Debize da Motta

UNISUAM

Paulo Pinheiro Castanheira Neto

UNISUAM

Flávia da Silva

UNISUAM

Rachel Cristina Santos Pires

UNISUAM

RESUMO

O comportamento e a mecânica dos solos sempre foram desafios para engenheiros e geotécnicos. Compreender seus componentes, dentro de sua natureza heterogênea e suas propriedades mecânicas, influenciadas pelo sistema solo-água-ar, é a base de toda obra civil, afinal, é no solo o destino final das cargas provenientes da estrutura, transmitidas pelas fundações. Tendo em vista a necessidade de trabalhar com os solos em suas características naturais dispostas na natureza, um grupo de solos com propriedades indesejadas a construção: as argilas moles, demandam uma atenção especial. Estas estão muito presentes no Brasil, principalmente no litoral, e apresentam-se como um “obstáculo” a ser superado pelos engenheiros. Então, o presente artigo, trata a importância de conhecer as peculiares características desses depósitos, desde suas origens geológicas até as propriedades mecânicas observadas em ensaios. Bem como apresenta técnicas para reforço e tratamento desses materiais, de tecnologias antigas às mais modernas como um grupo de materiais vantajosos e econômico, os geossintéticos, em especial os geotêxteis. Veremos que ao entender melhor o comportamento desses solos e aplicando as técnicas adequadas com tecnologias modernas e eficientes, é viável construir e receber cargas elevadas com segurança na execução de aterros sobre depósitos de argilas moles.

Palavras – Chave: Solos moles; Aterro sobre solos moles; Geossintéticos; Geotêxteis.

INTRODUÇÃO

Para que se tenha uma obra segura, que atenda as exigências técnicas e com o mínimo de prejuízos econômicos, compreender as características do solo é fundamental. Sobre ele estará a superestrutura que transmitirá todos seus esforços nas fundações (infraestrutura), fundadas no

solo. Porém, quando se fala em fundação, é necessário analisá-la não somente como um elemento estrutural, mas como um conjunto fundação-solo, pois ambos serão o destino final das cargas a serem sustentadas. Por isso a importância de se executar um estudo prévio dos solos bem feito, caso o contrário, toda construção poderá ser comprometida.

Segundo Pinto (2006):

O objetivo da classificação dos solos sob o ponto de vista de engenharia, é o de poder estimar o provável comportamento dos solos, ou pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise do problema.

Os solos estão disponíveis na natureza de forma bastante heterogênea, com composições específicas, fazendo com que cada tipo tenha seu comportamento mecânico e físico. Entender os caminhos da origem dos depósitos, a decomposição de seus materiais ao longo da história geológica, é o início do estudo dos solos.

Os elementos presentes no solo originam-se da decomposição de rochas da crosta terrestre. Agentes químicos e físicos, variações de temperatura geram os espaços vazios por onde a água penetra que reage com os minerais presentes no sistema, além disso, a fauna e flora presentes, junto a demais compostos orgânicos, também promovem reações químicas nesta composição. Ao longo de sua história de formação, todos esses processos serão decisivos na formação de suas características, tais como: Granulometria, constituição mineralógica e conseqüentemente, o volume de vazios (PINTO, 2006).

Ao longo da história da geotecnia, cientistas desenvolveram através de incansáveis experimentações empíricas, diversos ensaios para compreender melhor sua mecânica e um dos legados mais importantes foi o do engenheiro tcheco Karl Terzaghi, conhecido como Pai da Mecânica dos Solos devido a toda sua contribuição para engenharia geotécnica na primeira metade do século XX, sendo a mais notória o Princípio das Tensões Efetivas ao identificar o comportamento da pressão da água no solo (PINTO, 2006).

Devido a complexa formação dos solos e a necessidade de trabalhá-los na forma que são oferecidos pela natureza, diversos ensaios foram desenvolvidos para identificar suas propriedades. Através deles, os quais serão abordados nesse artigo, é possível caracterizar primeiramente, se é argiloso, silteoso ou arenoso e então definir sua consistência (a denominação de consistência mole só se aplica a argilas). Entender a consistência dos solos, é essencial para compreender sua resistência a tensões e compressibilidade (PINTO, 2006).

Solos moles são conhecidos por sua baixa resistência e alta compressibilidade, necessitando de um tratamento específico.

A metodologia aplicada neste estudo, consistirá em levantar a bibliografia importante para o assunto, de especialistas nacionais e internacionais, além de normas, manuais e informações técnicas.

O objetivo deste estudo será informar o leitor quais são as características dos solos moles e suas propriedades mecânicas através de ensaios. Além disso, serão apresentadas técnicas construtivas de reforço para receber aterros sobre esses depósitos, com aplicações de geossintéticos, enfatizando os geotêxteis. Portanto, os tópicos mais importantes do estudo são:

- As origens e constituições dos solos moles;
- Interpretação dos Ensaios
- Técnicas construtivas para reforço de solos moles para receber aterros com ênfase nas aplicações da manta geotêxtil e suas vantagens de aplicação e econômica.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Formação do Solo Mole

Ao analisar um solo, a primeira percepção que se tem a olho nu é o tamanho das partículas. Devido a sua formação, com origem na decomposição das rochas, decorrente de agentes físicos, químicos e intempéries, o solo dispõe de uma composição diversa e heterogênea, além disso, a variedade de dimensão dos grãos é enorme, com grãos de areia que podem variar de 1mm a 2mm misturados a partículas de argila com espessura de 0,000001mm (PINTO, 2006).

Portanto, existe na natureza uma variedade extensa de materiais e o maior desafio está em executar obras onde a disposição do solo oferecido não é de “boa qualidade”, ou seja, em solos com baixa capacidade de suporte, dentre eles os chamados de solos moles. Esses, geralmente com uma composição heterogênea, com vasta variação de parâmetros, presença de matéria orgânica expressiva e muito molhados, em função da baixa permeabilidade, não oferecem características favoráveis, apresentando baixa resistência ao cisalhamento, alta compressibilidade, percebida em recalques elevados, que demoram longo período para terminar, tratando-se, portanto, de material que exige grandes esforços de engenharia para possibilitar o suporte adequado de cargas provenientes da superestrutura. Este tipo de solo é predominantemente argiloso, apresentando pouca ou quase nenhuma resistência, sendo quase impossível construir nele sem um tratamento adequado (MARANGON, 2009).

Esses depósitos estão em grande parte no litoral brasileiro, são bastante recentes do ponto de vista geológico, apresentam granulometria fina e tem origem há cerca de 120 mil anos atrás quando o nível marinho se elevou em 8m e por isso depositou-se em ambientes litorâneos após o período glacial, quando o nível do mar atingiu patamares semelhantes ao de hoje em dia.

Caracterização Física dos Solos Moles

Existem ensaios que definem os parâmetros necessários para definir uma amostra de solo e serão apresentados a seguir.

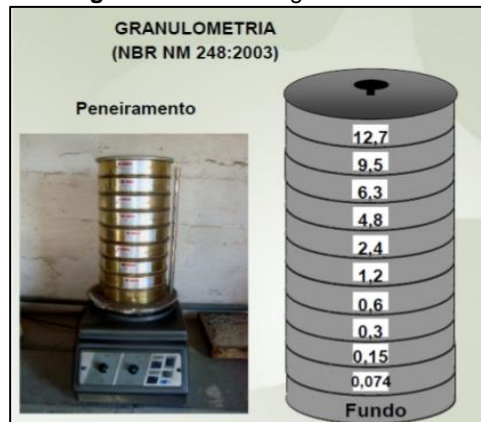
Características Granulométricas dos Solos Moles

Como exposto anteriormente, dentro da característica heterogênea dos solos, os grãos desses materiais estão dispostos em diversos tamanhos. Conhecer o tamanho dos grãos é essencial para entender a interação entre as partículas componentes dos solos. Através do Ensaio de Granulometria é possível medir a concentração em porcentagem de cada partícula de solo, tendo como o critério o diâmetro delas (PINTO, 2006).

O ensaio é feito através do peneiramento, inicialmente pesa-se uma amostra seca, a introduz em uma série de peneiras encaixadas umas nas outras, de forma a garantir que não se perca material, cada uma com seu tamanho de abertura ou “diâmetro”, pesando-se, ao final, a quantidade de “material passante” retido em cada peneira e isso dará a distribuição em porcentagem dos diversos tamanhos dos grãos contidos na amostra (PINTO, 2006).

A figura 1 ilustra a sequência de peneiras e seus diâmetros.

Figura 01: Peneiras granulometria



Fonte: Soares (2016)

Segundo a ABNT NBR 6502 (1995), a classificação granulométrica é feita de acordo com as seguintes dimensões apresentadas no quadro 1.

Quadro 01: Dimensões das partículas de solo.

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	De 25 cm a 1 m
Pedra	De 7,6 cm a 25cm
Pedregulho	De 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	De 2 mm a 4,8 mm

Areia média	De 0,42 mm a 2 mm
Areia fina	De 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Normas técnicas NBR 6502/1995

O peneiramento de um Solo Mole, deve apontar que a maioria do volume de grãos tem o diâmetro inferior a 0,005 mm, uma argila.

Segundo Pinto (2006), esse tipo de solo contém uns grãos muito finos de um composto chamado de “mineral-argila”, um mineral que confere a característica plástica dos solos argilosos. Devido a estrutura distinta desses minerais, uma porção de argila pode conter diferentes tipos de comportamento dentro de sua composição.

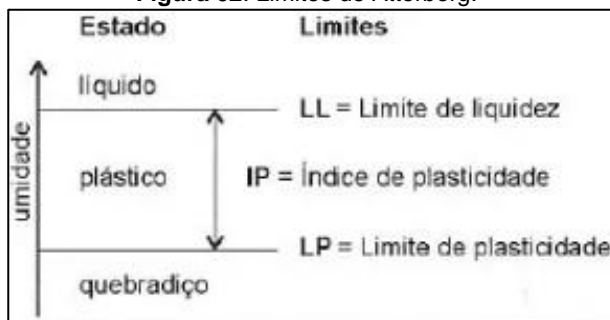
Porém, a classificação granulométrica somente é insuficiente para entender a contribuição dos argilo-minerais no comportamento das argilas moles. Em conjunto com o formato dos grãos, acontecem interações eletroquímicas entre as partículas de minerais-argila do solo e a água, que ocorre em quantidade abundante nos Solos Moles (PINTO, 2006).

Para entendermos a esta interação em valores, definimos os índices de consistência ou Limites de Atterberg.

Limites de Atterberg e atividade de um solo mole

Uma vez que o estudo dos minerais-argila é muito complexo, criou-se ensaios e índices baseados nas pesquisas de Atterberg, a fim de se obter uma análise indireta, porém mais prática da influência das partículas de argila nos solos em presença de água. Para analisar as mudanças do comportamento das argilas conforme a variação do teor de umidade, a Engenharia adotou os Limites de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), também chamados de Limites de Atterberg, sendo o Índice de Plasticidade (IP) a diferença entre LL e LP, conforme mostra a figura 2 (PINTO, 2006).

Figura 02: Limites de Atterberg.



Fonte: PINTO (2006)

Logo, os Limites de Atterberg mostram a influência da interação entre a água e as partículas argilo-minerais nos estados físicos do solo e a faixa de valores em que o solo apresenta sua forma plástica.

Segundo Pinto (2006), para identificar os valores do LL e LP, são feitos ensaios da seguinte forma:

- Limite de Liquidez: É o teor de umidade com o qual uma ranhura nele feita requer 25 golpes para se fechar a concha no aparelho de Casagrande.

- Limite de Plasticidade: É o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3mm de diâmetro, rolando-se com as palmas da mão.

Outro estudo interessante que os limites nos permitem concluir é quanto ao índice de compressão (Cc). Uma correlação estabelecida por Terzaghi, que observou por meio de experimentos empíricos a relação da compressibilidade do solo com o limite de liquidez, concluiu que (PINTO, 2006):

$$Cc = 0,009.(LL-10)$$

Como dito anteriormente, as argilas moles possuem alta compressibilidade, portanto, concluímos que também apresentam alto limite de liquidez.

Além disso, através dos limites de Atterberg, também é possível obter o índice de atividade das argilas que é dada pela seguinte equação (PINTO, 2006):

$$\text{Índice de atividade} = \frac{\text{índice de plasticidade (IP)}}{\% \text{argila (menor que 0,002mm)}}$$

A atividade de um solo é a capacidade que esse tem de reter água, em função porcentagem de argila presente na amostra. Uma argila tem atividade normal quando apresenta Índice de atividade entre 0,75 e 1,25, é inativa quando o valor é inferior a 0,75 e ativa quando acima de 1,25 (PINTO, 2006).

Classificação de um Solo Mole

Foram vistos alguns parâmetros geotécnicos e ensaios triviais, realizados de forma simples em laboratório que nos levam a conclusões sobre características físicas dos depósitos moles, como granulometria e sua plasticidade. A seguir serão apresentados outros ensaios, mais elaborados, em campo e em laboratório, que nos levam a classificação de um solo mole.

Ensaio de sondagem a percussão (SPT)

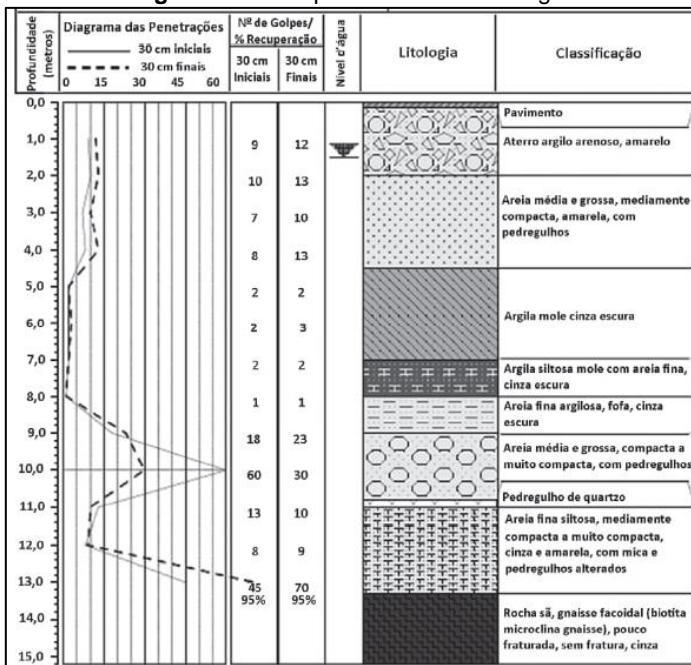
O ensaio de sondagem a percussão é um dos mais importantes e populares para investigação do subsolo, sendo utilizado no mundo todo e no Brasil. É um ensaio que precede um projeto de obra civil, essencial para

execução de uma obra segura, além dos resultados servirem para a determinação do tipo de fundação e seu dimensionamento.

O SPT permite o reconhecimento do perfil geológico do solo, identificando suas diversas camadas e respectivas espessuras, através de amostras retiradas por sua sonda (amostrador) que permite traçar o nível do lençol freático, características como resistência, compactidade ou consistência de solos arenosos e argilosos (ENGTEX, 2014).

A figura 3 mostra um exemplo de um boletim de sondagem em que identificou a presença de uma argila mole, com aparência cinza escura, com uma profundidade de aproximadamente 2,5m, a um nível de 4,5m abaixo do solo.

Figura 03: Exemplo Boletim de sondagem.



Fonte: PEREIRA (2018)

Além disso, a sondagem nos permite conhecer o Índice de Resistência à Penetração (Nspt), que permite avaliar a resistência de argilas e siltes argilosos, importante para o dimensionamento das fundações. Segundo Velloso & Lopes (2004), sua interpretação nos leva à seguinte conclusão quanto a consistência das argilas (Quadro 2):

Quadro 02: Consistência das argilas

Solo	N (SPT)	Consistência
Argilas e siltes Argilosos	menor ou igual a 2	Muito mole
	entre 3 e 5	Mole
	entre 6 e 10	Média(o)
	entre 11 e 19	Rija(o)
	maior que 19	Dura(o)

Fonte: VELLOSO & LOPES (2004)

Ou seja, a consistência do solo argiloso será mole quando o N_{spt} (número de golpes necessários para a penetração no solo dos 30 cm finais do amostrador do ensaio SPT), quando “N” for menor que 6, a argila já será considerada mole.

2.3.2 Ensaio de Palheta (VANE TEST)

Outro ensaio importante para parâmetros de projetos em solos moles é o Ensaio de Palheta (VANE TEST), ensaio de campo, normatizado pela NBR-10905(1989) que determina a resistência ao cisalhamento não drenada em argilas moles (S_u), o valor de S_u é influenciado por diversos fatores e consiste em aplicar uma rotação constante de 6° por minuto, por meio de um motor de torque a uma paleta cruciforme em profundidades predefinidas (ALMEIDA & MARQUES, 2014).

O valor depende dos resultados do Torque(T) medidos pelo equipamento e o cálculo leva em consideração as condições do solo não drenado, isotrópico e resistência constante no entorno da palheta. Então o cálculo da resistência não drenada é feito por meio da expressão seguir onde: Diâmetro da palheta (D) (ALMEIDA & MARQUES, 2014):

$$S_u = \frac{0,86T}{\pi \cdot D^3}$$

Aplicando-se a mesma expressão a amostra em situação amolgada, é possível encontrar a resistência ao cisalhamento da argila mole amolgada (S_{ua}) e também define a sensibilidade da argila(S_t) calculando a razão $S_t = S_u / S_{ua}$.

Além disso, é comum o uso do ensaio para obtenção da relação de adensamento (OCR) pela expressão: $OCR = \alpha \frac{S_u}{\sigma'_{vo}}$

Onde:

σ'_{vo} = tensão efetiva *in situ*;

$\alpha = 22x (IP)^{-0,48}$ Sendo IP: índice de plasticidade (ALMEIDA & MARQUES, 2014).

Ainda segundo Almeida & Marques (2014), o Vane Test também permite identificar a relação tensão-deformação e o módulo cisalhante para

pequenas deformações, sendo assim um ensaio de diversas utilidades para obtenção de parâmetros de projeto em argilas moles.

2.3.3 Ensaio de compressão simples – uniaxial

Outra forma de definir a consistência das argilas se dá pelo ensaio de compressão simples uniaxial. Este ensaio consiste em aplicar uma carga uniaxial em um corpo de prova da amostra de argila, por uma prensa hidráulica a uma velocidade padronizada, até que o mesmo se rompa ou esteja “cisalhado” (MARANGON, 2013).

A correlação entre a resistência a compressão simples de uma argila e sua consistência, está indicado no quadro 3.

Quadro 03: Consistência quanto a compressão.

Q (kn/m²)	Consistência
0 a 24	Muito mole
24 a 48	Mole
48 a 96	Média
96 a 192	Rija
192 a 383	Muito rija
>383	Dura

Fonte: Adaptado de MARANGON (2013)

Então, conclui-se que os solos argilosos com consistência “muito mole” e “mole”, apresentam uma baixa ou até nenhuma resistência a compressão, sendo de tão baixa resistência, em alguns casos tem-se dificuldade em fazer a sondagem SPT pela resistência a compressão desses materiais mal conseguirem suportar a carga da capsula de sondagem.

2.3.4 Ensaio de Adensamento Endométrico

O ensaio de adensamento endométrico é essencial para o cálculo da evolução dos recalques em relação ao tempo. O ensaio mais comum consiste em aplicar uma carga incrementada a cada 24h, no caso de argilas moles deve-se iniciar com uma tensão efetiva baixa, entre 1,5 a 3,0kPa, dobrando o valor na próxima aplicação, até que atinja o valor de tensão efetiva necessária para aplicação do aterro, definida em projeto.

Com isso é possível observar os recalques e a tensão de sobre agendamento dos solos moles.

Correlação consistência x peso específico dos solos moles.

Segundo Godoy (1972, apud Cintra e Aoki (2010)), outra relação que podemos fazer com a consistência dos solos, através de resultados empíricos comparando o número N (SPT) e os níveis de consistência ao peso específico dos solos, conforme mostra o quadro 4:

Quadro 04: Relação número de golpes (N_{spt})/Consistência com peso específico.

N(golpes)	Consistência	Peso específico (kN/m^3)
≤ 2	Muito mole	13
3 – 5	Mole	15
6 – 10	Média	17
11 – 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

Fonte: Godoy (1972, apud Cintra, Aoki e Albiero, 2011)

Pode-se analisar que quanto mais mole for a argila, seu peso específico aproxima do valor do peso específico da água (10 kN/m^3), portanto, analisando os valores, podemos tirar outra conclusão interessante, que um solo argiloso mole é muito molhado e apresenta pouco volume de partículas de solo, além disso, se estimarmos o peso específico da argila como 18 kN/m^3 , uma argila muito mole de $\gamma=13 \text{ kN/m}^3$ nos mostra, então, que há amostras com mais água que argila em sua composição.

TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA ATERROS SOBRE SOLOS MOLES REFORÇADOS

Segundo Futai (2010), depósitos de solos moles são comuns em todo Brasil, principalmente em regiões litorâneas, porém também estão presentes em regiões lacustres não marinhos.

Diversos métodos de reforço para esse tipo de solo foram desenvolvidos nas últimas décadas. Face a abundância desse material e a importância de tratá-lo nas obras de terra no Brasil, abordaremos métodos de reforço nesse item, com ênfase no aterro reforçado com geotêxteis, objetivo do estudo nesse artigo

Aterros sobre solos moles

É observado através dos ensaios determinantes para conferir consistência do solo que as argilas de consistência mole apresentam uma baixa resistência mecânica e alta compressibilidade, ou seja, são materiais com baixa capacidade de suportar cargas e apresentam recalques excessivos, portanto são solos com propriedades indesejáveis para execução de obras civis.

Devido a essas características, ao executar-se um aterro sobre esses depósitos, é necessário um reforço, pois segundo Massad (2003), além de problemas de estabilidade e recalques durante o processo construtivo, após o estabelecimento do aterro, apresentam-se os mesmos problemas de instabilidade e recalques ao longo do tempo.

Ainda segundo Massad (2003), antes de aplicar um aterro sobre esses solos, há a necessidade do conhecimento da origem desses depósitos, suas propriedades físicas e geotécnicas, resistência a carga e deformações, através de ensaios e estudos, visando minimizar os recalques e uma maior estabilidade a esses aterros

Portanto, para se construir um aterro sobre solos moles de forma segura e para evitarmos problemas futuros, veremos como é executado seu processo construtivo e as técnicas de tratamento e reforço desses depósitos a seguir.

Durante a elaboração do projeto deve-se proceder uma campanha de investigações geotécnicas que englobe uma parcela considerável da área do terreno, considerando orientações das NBRs 6122, 6484, 8044 e 8036.

Processo construtivo

Para a construção de um aterro apropriado, deve-se ter ciência quanto as propriedades geotécnicas do depósito, o uso adequado da área e de fatores econômicos como o custo da obra e sua duração (ALMEIDA & MARQUES, 2014).

Para Massad (2003), a construção dos aterros sobre solos moles, pode se suceder, de modo geral, das seguintes formas:

- Lançar aterros em ponta sobre o depósito mole, o que pode acarretar em instabilidades e recalques durante a execução e ao longo da vida útil do aterro;
- Remoção total ou parcial do solo mole, o qual só é possível para espessuras pequenas (cerca de 4 a 5m, e, no máximo 7m); ou
- Lançar um aterro de ponta num solo mole previamente tratado, cujo objetivo é melhorar as propriedades geotécnicas exigidas a uma construção, ou seja, sua resistência e deformabilidade são melhoradas

Sobre o último vale destacar alguns métodos de tratamento de solo mole para receber as cargas durante o processo construtivo e da vida útil dos aterros. Veremos algumas técnicas a seguir.

Tratamento dos solos moles para aterros

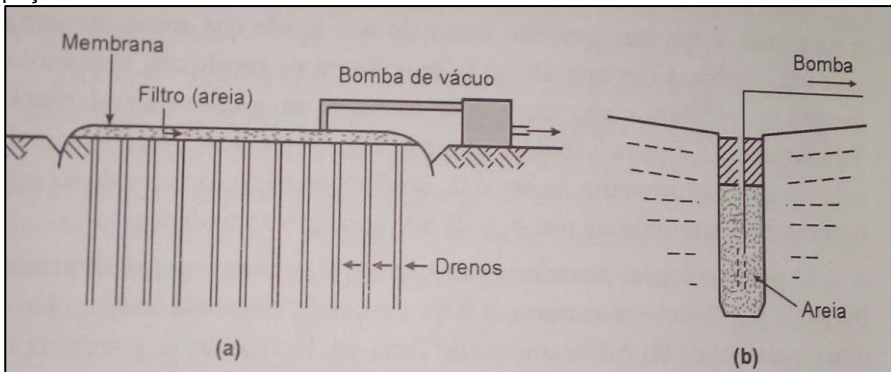
a) Construção por etapas: Constrói-se o aterro subdividindo sua altura por partes, aplicando uma camada de solo de altura H1, até que a poro pressão do solo mole se dissipe e enrijeça para que esteja apto a resistir a uma nova carga da camada do próximo aterro H2, até que se atinja a altura final desejada e a resistência exigida em projeto. Ressalta-se que essa técnica só é possível executar quando o coeficiente de adensamento do solo é elevado ou a espessura da camada pequena, caso contrário o processo torna-se demorado demais (MASSAD, 2003).

b) Sobrecarga temporária: Também chamado de pré-compressão, tem o objetivo de antecipar os recalques primários, assim compensando os

recalques secundários, além de melhorar resistência do depósito mole. Consiste em aplicar uma sobrecarga temporária ao solo a ser aterrado. Existem duas técnicas do processo (MASSAD, 2003):

- Figura 5 (a): Feito de forma relativamente rápida, aplica-se vácuo sobre uma membrana de borracha, equivalente a carregar o terreno com uma pressão de 80kPa, simulando um aterro de 4m de altura (MASSAD, 2003).
- Figura 5 (b): Aplica o vácuo em um poço cavado até um estrato arenoso abaixo, com isso, as pressões neutras hidrostáticas reduzem e conseqüentemente, eleva-se as tensões efetivas do solo mole, provocando assim, o adensamento da camada (MASSAD, 2003).

Figura 04: Técnica de sobrecarga temporária. (a) sob membrana de borracha; (b) em poços



Fonte: MASSAD (2003)

c) Aterro sobre drenos verticais: Esses geodrenos são aplicados quando a camada mole é muito espessa ou com coeficiente de adensamento baixo e por isso método de sobrecarga temporária se tornar ineficaz. Sua função é acelerar o processo de drenagem, elevando a condutividade hidráulica da água contida no solo mole, acelerando seu adensamento e recalques. É um método muito utilizado (MASSAD, 2003).

Durante muito tempo, o tipo mais comum é o dreno vertical de areia. Este tem a função de drenar a água do material mole até uma camada de areia abaixo. São inseridos dentro do material mole e preenchidos de areia, após o lançamento de uma camada de aterro de material de solo com função drenante, ou uma manta geotêxtil para garantir a drenagem do topo dos drenos, onde o aterro ficará sobreposto, “expulsando” essa água para fora da camada de solo mole (MASSAD, 2003). Porém, com a difusão dos geossintéticos, o dreno vertical de areia, deu espaço aos drenos verticais pré-fabricados geotêxteis (ALMEIDA & MARQUES, 2014).

Colunas de Pedra: Esta técnica consiste em abrir furos na camada de solo mole, os quais serão preenchidos de brita e densificadas por vibração, formando colunas de pedra por dentro dos furos na camada do solo mole. Essas colunas têm a função de transferir a carga dos aterros para as camadas mais profundas, como uma estaca, além disso possui capacidade drenante similar aos drenos verticais, acelerando a drenagem da água pelos vazios das britas (MASSAD, 2003).

Estacas de distribuição: Trata-se de estacas cravadas no solo mole para transferir as cargas do aterro até as camadas mais profundas. A aplicação desse método **possui custo elevado** (MASSAD, 2003).

Todas essas técnicas visam uma maior estabilidade do aterro durante e após sua construção, tornando possível. Aliado a elas, novos materiais aplicados no reforço dos solos, vem tomando conta do mercado por apresentarem, excelentes resultados e uma ótima relação custo x benefício, dentre eles os geossintéticos que veremos a seguir.

Geossintéticos

O uso de reforços em obras de terra revolucionou os projetos de geotécnicos. A utilização dessas técnicas de forma racional tal como são aplicadas hoje em dia, teve início na década de 1960, com o engenheiro francês Henri Vidal, que desenvolveu uma metodologia para projeto com um conceito mais moderno, chamada de “Terre Armée” (ou “Terra Armada” em português) (EHRLICH & BECKER, 2009).

Devido a crescente necessidade de lidar com solos de baixa qualidade como as argilas moles, e com avanço da engenharia geotécnica nas últimas décadas, diversos métodos de reforço de solo vêm sendo estudados, buscando o melhor desempenho e um bom custo benefício. Embora relativamente novos, com cerca de 60 anos de mercado, os geossintéticos vem dominando em aplicações não só no reforço de solos, mas em outras obras de infraestrutura, como drenagem, impermeabilização, pavimentação, entre outros. No Brasil, há estudos empíricos sobre o assunto desde a década de 1970 e essas técnicas vêm sendo aplicadas desde a década de 1980 (EHRLICH & BECKER, 2009).

O uso dos geossintéticos já se tornou quase indispensável em obras de todos os portes. São parecidos com tecidos feitos de polímeros como o poliéster, polietileno, polipropileno, cloreto de polivinila (PVC), náilon, polietileno clorado, entre outros (DAS, 2007). O termo vem de “geo” referente a terra e “sintéticos” dos materiais poliméricos os quais são feitos (EHRLICH & BECKER, 2009).

Os materiais disponíveis no mercado que abrangem os geossintéticos são (DAS, 2007):

- a) Geotêxteis;
- b) Geogrelhas;

- c) Geomembranas;
- d) Georredes;
- e) Geocompostos.

Cada tipo de geossintético pode apresentar uma ou mais das funções (DAS, 2007):

- Reforço;
- Filtragem;
- Drenagem;
- Contenção de umidade;
- Separação.

Portanto, os geossintéticos são de grande utilidade, principalmente para os solos de baixa consistência, pois com o auxílio desse material, torna-se prático e viável a aplicação de cargas, cujas solo mole virgem não suportaria, durante construção e ao longo da vida útil do aterro.

APLICAÇÕES DE GEOTÊXTEIS EM ATERROS SOBRE SOLOS MOLES

Tendo sido o primeiro geossintético a ser utilizado, os geotêxteis, tornaram-se um material essencial para as obras civis devido ao seu baixo custo, facilidade em aplicá-los e adaptação a diversos tipos de ambiente (EHLICH & BECKER, 2009). Além disso, podem ser usados para diversas finalidades como: Drenagem, filtragem, separação e reforço (DAS, 2007).

Segundo Ehrlich & Becker (2009), os geotêxteis podem ser tecidos ou não-tecidos. Os tecidos são fabricados como num processo de tecelagem, onde os filamentos poliméricos são tecidos em duas direções. Os não-tecidos diferem-se no processo de fabricação, cujo filamentos poliméricos não são lançados em um processo de tecelagem, mas sim de forma aleatória conferindo-os uma maior complexidade estrutural e portanto, possui características físicas e mecânicas mais isotrópicas que os geotêxteis tecidos.

Para Hachich *et al.* (1996), os geotêxteis tem elevada permeabilidade e podem ser empregados, principalmente, em sistemas de drenagem em aterros sobre solos moles, porém podem ser utilizados com o objetivo de:

a) **Separação:** Interposto na base de um aterro, por exemplo, entre o material do aterro e o solo mole, de naturezas distintas, impedindo que um material se misture ao outro, preservando suas respectivas características originais;

b) **Proteção:** Em conjunto com outro geossintético ou elemento de obra de geotecnia, protege contra danos físicos e químicos, como rasgo ou corrosão;

c) **Filtração:** Retendo resíduos sólidos, análogo a um filtro de café, deixando livre a passagem dos líquidos (VERTEMATTI, 2001).

Para fins de drenagem, alguns exemplos das principais aplicações em aterros sobre solos moles são:

a) Colchão drenante: Os geotêxteis são utilizados na técnica chamada colchão drenante, onde aplica-se uma camada de material drenante, podendo ser brita ou areia, sob a área do aterro, com finalidade de captar a água proveniente da infiltração da chuva, drenando-a para drenos, geralmente instalados às laterais dos aterros. A manta geotêxtil nesse colchão servirá de filtro, impedindo a passagem de resíduos que entupiriam o sistema de drenagem (BIDIM, 1998). A figura 5 mostra a preparação de um colchão drenante para receber o aterro:

Figura 05: Colchão drenante de brita com recobrimento de geotêxtil.



Fonte: BIDIM (1998)

b) Drenos verticais pré-fabricados: Como dito anteriormente, os drenos verticais de areia foram substituídos pelos pré-fabricados. Estes geodrenos pré-fabricados são constituídos de um núcleo de tubos plásticos, revestidos por geotêxteis cuja função é de filtragem, similar a descrita acima, impedindo que sedimentos adentrem nos tubos internos (ALMEIDA & MARQUES, 2014).

A introdução desses drenos na camada mole abaixo do aterro, tem a função de acelerar a drenagem da água contida no solo mole para as camadas abaixo (Figura 6) (MASSAD, 2003).

Figura 06: Colocação dos geodrenos antes da implantação

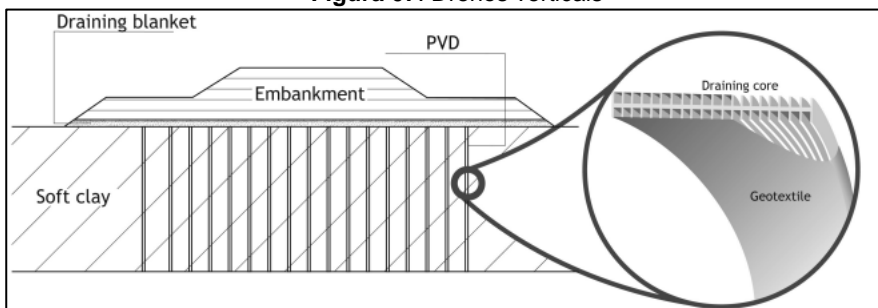


Fonte: DER-RJ (2010)

Além disso, esta técnica usada em construções, pode ser utilizada em conjunto a outras a fim de ter maior estabilidade dos aterros sobre os solos moles e acelerar o processo de expulsão de água, como a técnica do colchão drenante, a de sobrecarga temporária e de construção por partes (ALMEIDA & MARQUES, 2014).

A figura 7 ilustra a técnica de aplicação de drenos verticais em conjunto com colchão drenante em um aterro sobre depósito mole e a constituição dos drenos:

Figura 07: Drenos verticais

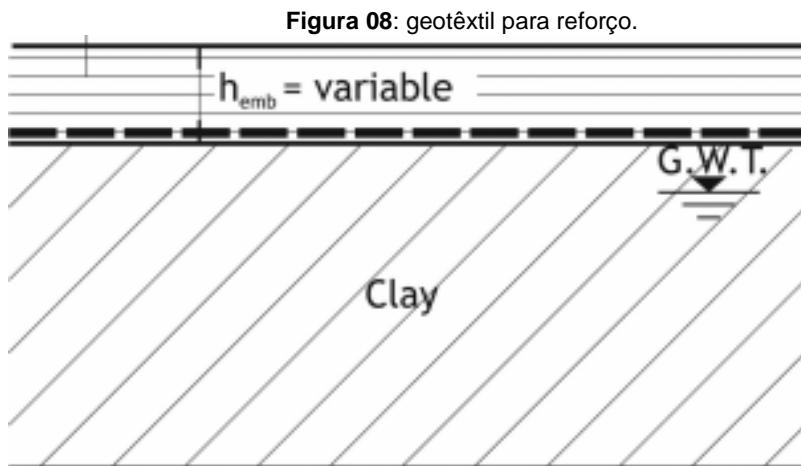


Fonte: ALMEIDA & MARQUES (2013)

Além de auxiliar na drenagem, os geotêxteis (e também geogrelhas), podem ser utilizados na estabilização da base do aterro separando-o do aterro mole e por possuírem alta resistência a tração, característica alheia a solos, reforça a camada mole para receber maiores cargas (ALMEIDA & MARQUES, 2014). O geotêxtil como reforço na interface do aterro aumenta

o fator de segurança em relação a ruptura geral imediatamente a execução do aterro. (HACHICH, 1996)

A figura 8 mostra um aterro ($h = \text{variável}$) sobre a manta geotêxtil de reforço (linha pontilhada) e abaixo o solo mole:



Portanto, os geotêxteis, mostram-se materiais bastante versáteis e de grande utilidade para engenharia em obras de terra, principalmente no manuseio de solos moles, já que precisam de cuidados especiais.

Vantagens econômicas

O mercado de geossintéticos já movimentava na cifra dos bilhões com a comercialização de produtos desse tipo. Os geossintéticos apresentam-se como uma alternativa eficaz e de baixo custo, além de não necessitar de uma mão de obra relativamente especializada em sua aplicação, logo, sua presença tornou-se quase obrigatória na construção civil e vem dominando nas aplicações desse tipo há cerca de quatro décadas (EHRlich & BECKER, 2009).

Os geotêxteis possuem um preço mais atrativo em relação a outros materiais, têm uma aplicação mais simples no caso dos drenos verticais pré-fabricados em comparação com os de areia, por exemplo. Além do baixo custo e da fácil aplicação, sem demandar uma mão de obra muito especializada, acelera o cronograma da construção e aumenta a produtividade na execução de aterros devido a rápida aplicação, diminui a necessidade de manuseio de terra, de uso de máquinas pesadas, entre outros (DNER, 1998).

CONCLUSÃO

Depósitos de solos moles são abundantes no Brasil, por isso é importante conhecer suas origens geológicas, estudo importante para entender melhor sua formação. Além disso, através de métodos empíricos confiáveis apresentados, podemos chegar a conclusões sobre qualidades mecânicas importantes como sua baixa resistência e alta compressibilidade, características indesejadas na construção civil, para assim executar-se uma obra segura, econômica e durável.

Os aterros são aplicados a fim de suprir esses desafios que os solos moles apresentam a engenharia geotécnica, porém há a necessidade de reforçar o solo mole no qual esses aterros são assentados.

Então, foram apresentados métodos construtivos de reforço neste artigo. Os métodos mais modernos e usuais nos dias de hoje, receberam um grupo de materiais aliado: os geossintéticos. Desenvolvidos e aprimorados desde a década de 1960, esses chegaram e logo tornaram-se um produto obrigatório nas obras sobre Solos Moles devido ao seu ótimo desempenho. Pois, além da eficácia e facilidade de sua aplicação, sua utilização gera grande economia ao minimizar ou excluir a necessidade de remoção/substituição do solo mole, encurtando cronogramas, substituindo máquinas e operários por aplicações mais simples.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. S. S.; MARQUES, M. E. S. **Aterros Sobre Solos Moles: Projeto e Desempenho**, São Paulo: Oficina de Textos, 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6122. **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6484. **Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 8044. **Projeto geotécnico - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 8036. **Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios - Procedimento**. Rio de Janeiro. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 10905. **Solo - Ensaio de palheta in situ - Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6502. **Rochas e Solos**. Rio de Janeiro. 1995.

BIDIM. **Aplicação do Geotêxtil Bidim em Colchão Drenante sobre o Aterro na Duplicação da Rodovia Fernão Dias BR-381.** São José dos Campos: Departamento Técnico Mexichem Bidim Ltda., 1998. Disponível em: <http://www.bidim.com.br/public/files/cases/136552335113655233511074197418.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO RIO DE JANEIRO – DER-RJ. **Fotos da construção da rodovia BR-493/RJ-109** DER-RJ. Rio de Janeiro: 2010

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias.** DNER/DrDTc (IPR). Rio de Janeiro: 1998.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica,** tradução All Tasks. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

ENGETEX. **Sondagem a percussão ou SPT.** Rio de Janeiro: ENGETEX, 2014. Disponível em: https://www.engtex.com.br/sondagem?gclid=CjwKCAjwvZv0BRA8EiwAD9T2VWe5t8eun9RPvIHFm0iYi_BJBRJauxCoBiDO1HQgMySVrill1mTKxoCCYQAQAvD_BwE. Acesso em: 02 abr. 2020.

EHRlich, M.; BECKER, L. **Muros e Taludes de Solo Reforçado - projeto e execução.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

FUTAI, M. M. **Considerações sobre a influência de adensamento secundário e do uso de reforços sobre solos moles.** São Paulo, 2010.

GEOSOLUÇÕES. **Reforço e melhoria dos solos moles.** São Paulo: GEOSOLUÇÕES: 2020. Disponível em <https://www.geosolucoes.com/reforco-de-solos-moles>. Acesso em 19 maio.2020.

GODOY, N. S. **Fundações: Notas de Aula, Curso de Graduação.** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1972.

HACHICH, W. **Fundações – Teoria e Prática.** Ed. Pini. São Paulo, 1996.

MARANGON, M. **Geotecnia de Fundações.** 2009. Disponível em http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid02.1GeotFund-aterroSolosMoles.pdf. Acesso em 26 mar.2020.

MARANGON, M. **Resistência ao cisalhamento dos solos.** 2013. Disponível em <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2013/06/MARANGON-2018-Unidade-05-Resist%C3%Aancia-at%C3%A9-pag-136.pdf>. Acesso em 03 abr.2020.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

PEREIRA, C. **Sondagem SPT: O que é e como é feito esse ensaio**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/sondagem-spt/>. Acesso em: 03 abr. 2020.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SOARES, R. **Ensaio (granulometria)**. Slide Share, 2016. Disponível em: <https://www.slideshare.net/rainysoares/ensaios-65105408>. Acesso em: 03 abr. 2020.

VELLOSO, D.A.; LOPES, F. R. **Fundações Vol.1**. Nova ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2004.

VERTEMATTI, J. C. **Curso Básico de Geotêxteis**. Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos – ABINT: 2001.