Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

MECÂNICA DOS SOLOS

OS SOLOS SOB O PONTO DE VISTA DA ENGENHARIA CIVIL

Mecânica dos Solos
Prof. Dr. Edson de Moura

2º. Semestre 2024

1

Definição de solo sob o ponto de vista da Engenharia

A palavra solo, na expressão Mecânica dos Solos, não tem um significado intuitivo imediato. Ela necessita de uma definição erudita. Mas toda definição exige, de imediato, a fixação da finalidade para que é feita.

Em português clássico, o termo solo significa tão somente a superfície do chão. É o significado original da palavra herdado do latim "solum".

Já no campo específico da agricultura, solo é a camada de terra tratável, geralmente de poucos metros de espessura, que suporta as raízes das plantas.

Em Mecânica dos Solos, o termo adquire um significado específico às finalidades da engenharia. Ele denota um material de construção ou de mineração.

2

Definição de solo sob o ponto de vista da Engenharia

Obras de engenharia civil, apoiam-se sobre ou no interior da crosta terrestre, e essa crosta pode ser considerada um material de construção.

Além disso, tais materiais podem, também, ser utilizados nas próprias obras como materiais de empréstimo para as construções civis.

Dividem-se, esses materiais, segundo os engenheiros, em solos e rochas.

É a forma arbitrária e grosseira com que são eles distinguidos entre si; mas que bem pode servir de uma primeira tentativa de definição.

3

Definição de solo sob o ponto de vista da Engenharia

Por definição, sob o ponto de vista da engenharia, que seja solo todo material natural, sob água ou não, que recobre a crosta terrestre, escavável por meio de pá, picareta, escavadeiras, etc., sem necessidade de explosivos.

Rocha todo material que necessite de explosivos para seu desmonte.

4

Definição de solo sob o ponto de vista da Engenharia

Sob um prisma científico tal definição é insustentável.

Na geologia, que é uma ciência, por exemplo, o significado dos dois termos é outro. Por exemplo, as camadas terciárias de argila da cidade de São Paulo foram escavadas, para a construção do seu Metrô, sem auxilio de explosivos.

Entretanto, para os geólogos, tais camadas constituem uma rocha sedimentar perfeitamente definida.

Seria escandaloso, entretanto, afirmar-se que o túnel da Avenida 9 de Julho em São Paulo foi escavado em rocha, por melhor que fosse a argumentação dos geólogos, pois lá não foi utilizada nenhuma técnica ou programação de escavação em rochas, as quais são baseadas, essencialmente, no ritmo das explosões para desmonte.

5

Definição de solo sob o ponto de vista da Engenharia

Portanto, sob um ponto de vista puramente técnico, aplica-se o termo solo a todo material natural, sob água ou não, da crosta terrestre, escavável por meio de pá, picareta, escavadeiras, etc., sem necessidade de explosivos e que servem de suporte, são arrimados, escavados ou perfurados e utilizados nas obras da Engenharia Civil.

Tais materiais, por sua vez, reagem sob as fundações e atuam sobre os arrimos e coberturas, deformam-se e resistem a esforços nos aterros e taludes, influenciando as obras segundo suas propriedades e comportamento.

O estudo teórico e a verificação prática dessas propriedades e atuação é que constituem a Mecânica dos Solos. É essa última, portanto, um ramo da Mecânica, aplicada a um material pré-existente na natureza.

6

Origem e Constituição dos solos

7

Origem e Constituição

Todo solo tem sua origem imediata ou remota na decomposição das rochas pela ação das intempéries.

Quando o solo, produto do processo de decomposição permanece no próprio local em que se deu o fenômeno, ele se chama "residual".

Quando em seguida é carregado pela água das enchurradas ou rios, pelo vento ou pela gravidade — ou por vários desses agentes simultaneamente — ele é dito "transportado".

Tem-se os solos que passaram por um processo de "evolução" pedogênica, que implica na alteração de seus argilos minerais, como os solos porosos dos países tropicais.

Finalmente, existem os solos superficiais que suportam as raízes das plantas como os humuse as argilas orgânicas.

8

Origem e Constituição

O mecanismo da formação dos solos pode ser dividido em duas fases: física e química

Física - expansão e contração térmica alternada das rochas sãs — levando ao seu fraturamento mecânico. Esse é o primeiro estágio da decomposição, o qual pode ser associado às forças expansivas de certos minerais constituintes da rocha, ou da água que penetra pelas fissuras ou, ainda, finalmente das raízes de plantas. Tais fatores isolados ou associados levam à decomposição física das rochas maciças em grandes blocos ou, até mesmo, em pequenos fragmentos.

Química - Alteração química das espécies minerais que formam a rocha, transformando-as em areias ou argilas. A oxidação e o ataque pela água acidulada, por ácidos orgânicos, são os principais agentes da decomposição química — que comumente se designa por "alteração". O caráter e a amplitude da alteração dependem, de um lado, da natureza da rocha, isto é, de sua composição química, sua estrutura e textura, e, do outro, do clima da região, isto é, das alternâncias de chuvas e temperatura.

9

Origem e Constituição

Por exemplo, o granito, rocha constituída pelos minerais: quartzo, feldspato e mica

Depois de formada e trazida à superfície da crosta, é fraturada pela alternância de calor e chuva – processo físico

Depois de suficientemente fraturada começa o ataque químico pela água acidulada, geralmente com gás carbônico agressivo, proveniente da decomposição de vegetais.

Essa acidulação é nitidamente crescente com a temperatura e, portanto, bem mais efetiva nos países tropicais.

10

Origem e Constituição

Os feldspatos presentes são atacados, a rocha desmancha-se e os grãos de quartzo soltam-se, formando os grãos de areia e pedregulho.

Os feldspatos, decompostos pela água acidulada, vão dar o mineral denominado "argila" e sais solúveis, os quais são carreados pelas águas e levados ao mar.

Algumas das espécies de mica sofrem processo de alteração semelhante ao dos feldspatos formando argila, enquanto outras resistem e vão formar as palhetas brilhantes presentes nos, assim chamados, solos micáceos.

11

Origem e Constituição

Do processo acima descrito resulta o solo residual de granito — que comumente é chamado pela expressão contraída "alteração de granito". Fazem parte dele, eventualmente, grandes blocos ou fragmentos pequenos da rocha original que resistiram à decomposição

Os blocos ou fragmentos de rocha, os grãos de quartzo, o mineral argila, as palhetas de mica têm:

a) espécie mineralógica distintas e

b) tamanhos de grãos diferentes

12

Origem e Constituição

Dimesões dos grãos dos solos conforme ABNT NBR 6502 (1995)

Fração	Limites definidos (mm)
Matacão	$200 < \phi < 1000$
Pedra de mão	$60 < \phi < 200$
Pedregulho	$2 < \phi < 60$
Areia grossa	$0,6 < \phi < 2$
Areia média	$0,2 < \phi < 0,6$
Areia fina	$0,06 < \phi < 0,2$
Silte	$0,002 < \phi < 0,06$
Argila	$\phi < 0,002$

13

Origem e Constituição

No caso da rocha madre ser, por exemplo, um basalto em clima tropical, de invernos secos e verões úmidos, a decomposição se faz, principalmente, pelo ataque químico das águas aciduladas aos plagioclásios e outros elementos melanocráticos, dando como resultado **predominantemente argilas.**

Não apareceria neste solo a fração areia, pois o basalto não contém quartzo, mas aparecem, em pequenas porcentagens, grãos de óxidos de ferro, muitas vezes sob a forma de magnetita. É o caso da terra roxa, do interior Centro-Sul do Brasil, que é predominantemente uma argila vermelha.

14

Origem e Constituição

Os micaxistos, rochas do pré-cambriano brasileiro, onde a mica é um mineral predominante, dão origem aos chamados solos micosos — com grande predominância de palhetas de mica, entre os grãos de tamanho das areias e siltes, e com menor ou maior porcentagem de argilo-mineral proveniente da alteração de certas espécies de mica.

15

Origem e Constituição

Os arenitos, dão origem de um solo essencialmente arenoso, pois não existem feldspatos ou micas em sua composição.

O elemento que altera é o cimento que aglutina os grãos de quartzo.

- Quando esse cimento é silicoso - forma-se um solo residual extremamente arenoso.

- Quando o cimento é argiloso - aparece no solo residual de arenito uma pequena porcentagem de argila, a qual, muitas vezes, é extremamente ativa — comunicando ao solo residual uma espécie de coesão tanto maior quanto mais seco estiver o solo.
  É por isso que tais solos, embora eminentemente arenosos, muitas vezes podem ser cortados verticalmente em alturas consideráveis, como se fossem argilas.

16

Transporte

17

Transporte

Transporte e sedimentação por um agente transportador: desde a simples gravidade, que faz cair as massas de solo e rocha ao longo dos taludes, até uma enxurrada, por exemplo, que carreia o material constituinte dos solos residuais acima descritos.

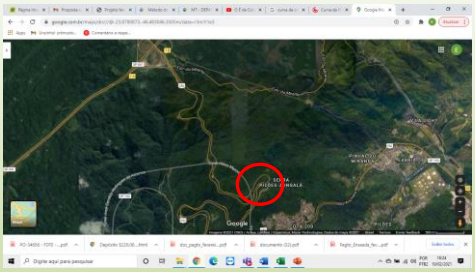
Nas escarpas abruptas, como as da Serra do Mar, os mantos de solo residual com blocos de rocha podem escorregar, sob a ação de seu próprio peso, durante chuvas violentas, indo acumular-se ao pé do talude em depósito de material detrítico, geralmente fofo, formando os "talus".

Tais "talus" são sujeitos a movimento de rastejo (expansões e contrações periódicas, pelo efeito de temperatura, que resultam num lento movimento talude abaixo). Esse é o transporte por gravidade ou coluvial.

Uma topografia suavemente ondulada é o resultado de erosão no topo dos morros de solo residual profundamente alterado e deposição coluvial nos vales.

18

Transporte



19

Transporte

20

Transporte

Um coluvião quando se deposita
evolutivo a que esses solos são s
praticamente inexiste.

Portanto, é comum a existência d do
do transporte, os materiais de m
posteriormente, os de menor tar o
essa linha mantem-se à ação das

Quando nos deparamos, ao long
no meio do talude, muitas vezes
coluvião.

COLÚVIO (CO) SOBRE SOLO RESIDUAL DE TERCIÁRIO DA BACIA DE TAUBATÉ SEPARADO POR LINHA DE SEIXOS. VIA DUTRA, KM 105+500

Pode-se constatar a semelhança visual entre os dois. A não consideração em uma jazida da diferença entre esses dois materiais, pode incorrer em sérios problemas na utilização desses solos.

21

Transporte

Quando o transporte é feito por grandes volumes de água, aparecem os **solos de aluvião** que, formam os terraços aluvionais das margens e as planícies recentes dos deltas dos grandes rios.

A princípio as grandes torrentes carregam consigo todo o detrito das erosões, mas logo depositam em ordem de tamnhos: blocos de rochas - pedregulhos - areias grossas – areias média e, em seguida, os grãos de menor diâmetro, formando os leitos de areia fina e silte.

Finalmente, somente os microcristais de argila permanecem em suspensão nas grandes massas de água dos lagos ou das lagunas próximas ao mar.

A sedimentação da argila dá-se, então, ou por floculação das partículas em suspensão, devido à neutralização de suas cargas elétricas de mesmo sinal, pelo contato com água salgada do mar, ou por efeito da radiação solar nas águas doces dos lagos interiores.

22

Transporte

Os termos pedregulho, areia, silte e argila têm, portanto, três significados diferentes, em Mecânica dos Solos:

- espécies mineralógicas diferentes;
- "frações de solo" com tamanhos de grãos diferentes; e termo argila não pode ter, em Mecânica dos Solos, o significado de rocha que tem em Geologia, pois se referirá sempre a um solo. Uma camada de argila que exigisse dinamite para seu desmonte seria chamada de argilito.
- "camadas" de solo

Assim, um pedregulho é aquele solo no qual o tamanho dos grãos é superior a 2 mm; mas é também a camada onde predomina a "fração" pedregulho.

Na fração de solo areia, a espécie mineralógica é, comumente, o quartzo, e na camada de areia predominam os grãos do tamanho da fração areia.

23

Transporte

Nos solos argilosos, *entretanto,* não é necessariamente a fração de *argila* dominante que os caracteriza.

É possível que um solo tenha adquirido um caráter argiloso pela presença de uma fração de argila que, embora não predominante, é suficientemente ativa para emprestar ao solo plasticidade e coesão típica das argilas.

24

Transporte

Transporte eólico — nas regiões desérticas, ou ao longo das praias oceânicas, ventos fortes sopram sobre as areias e as carreiam indo depositar seus grãos mais além dos montículos ou dunas.

Como a direção dos ventos é cambiante as camadas depositadas não têm sempre a mesma orientação. Esse é o fenômeno da "estratificação cruzada" que caracteriza os depósitos eólicos.

Outra característica é a uniformidade dos grãos de tais depósitos de areia, pois a força do vento seleciona muito mais do que a água, os pesos dos grãos que podem ser transportados.

As partículas muito finas de areia podem ser levadas muito altas pelos ventos e depositadas a distâncias muito grandes. Os depósitos eólicos de tal natureza são chamados de "*loess*".

25

Formação dos solos orgânicos

26

Formação dos solos orgânicos

A formação dos solos orgânicos dá pela:

- impregnação de matéria orgânica em sedimentos pré-existentes, ou pela transformação carbonífera de materiais, geralmente, de origem vegetal contida no material sedimentado, ou
- pela absorção no solo de carapaças de moluscos, diatomáceas ou infusórios., nesse caso tem-se as camadas de fragmentos calcáreos de origem animal e os solos diatomáceos (solos com conchas).

27

Formação dos solos orgânicos

Uma parte dos produtos da decomposição da matéria orgânica é um produto escuro e relativamente estável que impregna os solos orgânicos: o húmus.

Por ser facilmente carreado pela água, em solução ou suspensão, o húmus só impregna permanentemente os solos finos: as argilas e os siltes e, em menor extensão, as areias finas.

Existem, assim, argilas, siltes ou areias finas orgânicas. São os solos de cor escura das baixadas litorâneas ou das várzeas dos rios interioranos.

Mas não existem areias grossas ou pedregulhos orgânicos, pois sua alta permeabilidade permite velocidades de percolação d'água suficientemente grandes para carrear toda matéria orgânica estável.

28

Formação dos solos orgânicos

Quando a matéria orgânica provém da deposição sobre o solo de grande quantidade de folhas, caules e troncos de florestas há um processo insipiente de carbonificação.

Então forma-se um solo fibroso essencialmente de carbono, que se chama "turfa".

A diferença entre argilas e siltes orgânicos e a turfa está em que as primeiras são mais densas, pois que a turfa, constituída de grandes teores de carbono, é de densidade específica menor.

Por outro lado, a turfa é combustível quando seca e os solos orgânicos não o são.

29

Formação dos solos orgânicos

A diferença entre argilas e siltes orgânicos e a turfa está em que as primeiras são mais densas, pois que a turfa, constituída de grandes teores de carbono, é de densidade específica menor.

Por outro lado, a turfa é combustível quando seca e os solos orgânicos não o são.

É comum encontrar em livros técnicos "antigos" (+30 anos) o não interesse técnico em argilas e siltes orgânicos e também na turfa. Pois tratam-se de materiais de baixa capacidade de suporte e não raras vezes extremamente expansivos. Assim, recomendavam-se o descarte desses materiais.

Devido as considerações ambientais contemporânea esses materiais passaram a ter um valor considerável em obras civis. Após o término de uma obra civil, a entrega, necessariamente, implica na recuperação ambiental. Diferentemete do passado, esses materiais são guardados para o manejo ambiental após a conclusão ba obra.

30

Evolução Pedogenética

31

Evolução Pedogenética

Evolução pedogênica — por esse nome se agrupa uma complexa série de processos físico-químicos e biológicos que governam a formação dos solos da agricultura.

Em essência esses processos compreendem a lixiviação do horizonte superficial e concentração de partículas coloidais no horizonte profundo, e, além disso, a impregnação com húmus do horizonte superficial.

A camada de solo que sofre esse processo, toma na engenharia o nome de "solo superficial", o qual tem ***escasso*** interesse técnico somente nos casos em que é de pequena espessura.

32

Evolução Pedogenética

Entretanto, de grande valor técnico, para nós, são as camadas de "solos porosos", cuja formação se deve a uma evolução pedogênica em clima tropical de alternâncias secas, no inverno, e extremamente úmidas, no verão, resultando dessa evolução, na maioria dos casos, os solos lateríticos.

Tais solos têm espessuras que podem atingir mais de 10m e recobrem extensas zonas do Brasil Centro-Sul. São solos de granulometria arenosa, porém, não raro, são argilosos — como é o caso das argilas vermelhas porosas dos espigões da Cidade de São Paulo.

Um terceiro tipo de solo de natureza pedogênica são os pedregulhos latéricos — ou, simplesmente, as lateritas — cuja importância técnica é cada vez maior, em enormes zonas do país, para a construção de bases rodoviárias. São concreções formadas em clima de profunda alternância de estações secas e úmidas.

33

História da Mecânica dos Solos – (breve relato)

34

História da Mecânica dos Solos – (breve relato)

O prof. Karl Terzaghi, nasceu em 1883, na Cidade de Praga, Capital da Antiga Tcheco-Eslováquia, doutorou-se em Tecnologia em 1912 na Áustria.

Em 1925 publicou o seu principal livro: "Erdbaumechanik". Com essa publicação muitos autores consideram o nascimento da MECANICA DOS SOLOS, que até então, os conhecimentos sobre os solos eram relativamente incipientes e não apontavam para uma orientação de conceitos de aplicação, assim, após a publicação constituiu um marco, pois, trazia uma nova orientação a ser seguida no estudo do comportamento dos solos.

Tratava a mecânica dos solos como uma mecânica dos sistemas constituidos por uma fase sólida granular e outra fluída. Princípios fundamentais, dos quais até hoje considerados.

O Primeiro Congresso Internacional de Mecânica dos Solos foi realizado em 1936, nessa ocasião os conceitos abordados pelo prof. Terzaghi foram consagrados de maneira definitiva.

35

História da Mecânica dos Solos – (breve relato)

A mecânica dos solos no Brasil antes de 1938 resumia-se em artigos publicados em revistas técnicas de uma tese apresentada na Congregação da Escola Nacional de Engenharia, atual UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

No início de 1938, foi instalado o 1º laboratório de Mecânica dos Solos, no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas em São Paulo. Posteriormente foram instalados laboratórios no norte do país e em 1942 mais três laboratórios foram instalados no Rio de Janeiro.

A mecância dos solos passa a assumir um papel cada vez mais importante no Brasil com a criação da ABMS – Associação Brasiliera da Mecância dos Solos em 1950.

Para a área de pavimetnação temos a criação da ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação em 1959. Associações que até hoje exercem papel fundamental para o desenvolvimento trecnológico na área de solos no Brasil.

36

Obrigado pela Tensão!

Prof. Dr. Edson de Moura