

## Capítulo 10. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

### INTRODUÇÃO

A elaboração de um sistema de classificação deve partir dos conhecimentos qualitativos e quantitativos existentes e, ao longo do tempo, ir acumulando informações e corrigindo distorções, até que em um mesmo grupo possam estar colocados solos com características semelhantes. No desenvolvimento de um sistema, deve-se ter o cuidado para que o volume de informações requeridas do usuário seja de fácil memorização para que se torne prático. Estas informações poderão ser obtidas, tanto através da identificação visual e tátil como através de ensaios simples de laboratório. A identificação fornecerá dados para um conhecimento qualitativo, enquanto que dos ensaios de laboratório resultarão dados quantitativos sobre o solo.

Existem diversos sistemas de classificação podendo cada um deles ser específico ou não. Por exemplo, sistemas com base na movimentação dos sedimentos, classificação pedológica, textura e aqueles que levam em consideração mais de um parâmetro do solo.

Os solos naturais não formam grupos distintos, com características bem definidas. As linhas divisórias usadas na classificação são necessariamente arbitrarias. Todas as classificações de solo são baseadas nas suas propriedades índices e podem servir como nomenclatura para descrever solos e fornecer alguma indicação às significativas propriedades físicas. Nenhum sistema de classificação de solos estabelece tais propriedades (p. exemplo, resistência a esforços externos ou compressibilidade). Um sistema de classificação rígido não pode abranger todas as propriedades dos solos necessárias para resolver variados problemas na Mecânica dos Solos.

### IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS

A identificação do solo deverá ser o início do processo de classificação, realizada tanto em campo quanto no laboratório, precedendo a todo e qualquer ensaio que se pretenda realizar sobre o solo. A identificação pode ser feita através de testes visuais e táteis, rápidos e específicos a cada tipo de solo. A NBR 7250 orienta a identificação e descrição de amostras obtidas em sondagens de simples reconhecimento de solos.

Para a fração grossa, pedregulhos e areias, informações quanto a composição granulométrica, forma das partículas, existência ou não de finos são sempre necessárias; estas partículas são ásperas ao tato, visíveis ao olho nu e se separam quando secas.

Para os solos finos, siltes e argilas, são importantes informações sobre plasticidade, resistência à compressão do solo quando seco, comportamento do solo quando imerso em água e cor. Partículas de silte são invisíveis a olho nu e os torrões secos quando imersos em água desagregam rapidamente. As argilas quando molhadas apresentam-se saponáceas ao tato e torrões quase secos apresentam uma superfície lisa e lustrosa e alta resistência à compressão.

Para os solos orgânicos, a cor e, às vezes, a proporção de matéria orgânica são informações úteis. Nestes, resistência à compressão do solo seco é geralmente pequena.

De acordo com o resultado dos testes, o solo será identificado por um nome, conforme recomendado pela NBR 7250/62.

## COMENTÁRIOS GERAIS

Na Mecânica dos Solos procura-se criar um sistema de classificação que permita o agrupamento de solos dotados de características similares tanto do ponto de vista genético como do comportamento. A grande variedade de sistemas de classificação existente procura quase sempre, em bases mais ou menos arbitrárias, encontrar um princípio qualificador universal que possibilite agrupar a grande variedade de solos existentes em classes. O objetivo seria não só facilitar os estudos de caracterização como também antever o comportamento diante das solicitações, a que serão submetidos. Diferentemente das outras ciências, deve interessar à Mecânica dos Solos um sistema de classificação que priorize o comportamento dos solos à sua constituição, à sua origem, à sua formação, etc.

Sob aspecto mais prático pode-se dizer que é necessário haver várias classificações, que possam atender mais especificamente aos vários campos da Geotecnia. Um sistema de classificação que atenda aos interesses da área de estradas pode não atender com a mesma eficiência à área de fundações. Em síntese, devem-se utilizar os sistemas de classificação existentes, com certa reserva, tendo em conta para que fim o sistema foi proposto e sobre que solos o processo foi elaborado. Sob este aspecto devemos ter um cuidado maior uma vez que os países criadores destes sistemas de classificação possuem climas bem diferentes do nosso e, portanto solos com condições particulares.

Nos países de origem dos sistemas de classificação tradicionais, geralmente do hemisfério norte com climas temperados, a fração areia e silte é quase totalmente composta por quartzo enquanto nos solos tropicais podem ocorrer minerais como feldspatos, micas, limonitas, magnetitas, etc., além de fragmentos de rochas e concreções lateríticas e que, por vezes, o mineral quartzo pode mesmo estar ausente da fração areia de muitos destes solos. Dentre os vários sistemas de classificação existentes serão tratados a seguir alguns dos mais comuns.

## SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

A classificação a partir dos tamanhos das partículas é uma das formas mais comuns. Como a fração argila pode diferenciar amplamente nas suas propriedades físicas, a classificação apenas pelo tamanho é inadequada quando os solos contêm finos, especialmente os argilo-minerais. Sistemas de classificação mais elaborados têm surgido, levando em conta os limites de Atterberg associada à granulometria.

## CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

A identificação de amostras de solo pela granulometria inicia na classificação nas duas grandes divisões, solos grossos (ásperos) ou solos finos (macios ao tato). O exame visual das amostras permite avaliar a predominância do tamanho de grãos. Quando predominam grãos maiores que 2 mm, o solo deve ser classificado como pedregulho. Se percebida a predominância de grãos na faixa de 0,1 mm a 2 mm, deve ser classificado como areia. Um exame mais acurado de areias permite a classificação em areias grossas (ordem de grandeza 1mm), médias (0,5mm) ou finas (0,1mm). A classificação em solos grossos ou solos finos também pode ser feito com auxílio de lavagem da amostra em uma peneira de 0,075mm (nº. 200) e avaliação da porcentagem retida.

A composição granulométrica do solo determina, principalmente para os solos grossos, as características de seu comportamento. Nesta classificação os solos são

designados pelo nome da fração preponderante. Esta afirmação deve ser analisada com rigor, pois se sabe que as definições não deveriam ser baseadas simplesmente nas frações majoritárias, uma vez que nem sempre são elas que ditam o comportamento de um solo. Assim, preferindo-se agrupar os solos quanto ao comportamento e não quanto às constituições, a classificação deveria denominá-lo de acordo com a fração mais ativa no seu comportamento. Embora hoje recomendada mais para os solos grossos (que não apresentam propriedades correlacionadas com a plasticidade) a classificação granulométrica tomou-se universalmente empregada.

Classificações granulométricas são prejudicadas por não existir concordância universal quanto ao intervalo de variação dos diâmetros de cada uma das frações que compõem os solos (escalas granulométricas).

Para a classificação granulométrica podem-se utilizar as próprias curvas granulométricas indicando a finura do solo e a forma da curva, ou diagramas triangulares, como o de FERET, muito utilizados para fins agrícolas, mas pouco em Mecânica dos Solos.

Nos diagramas triangulares, fazem-se corresponder aos três lados do triângulo as porcentagens respectivas de argila, silte e areia. É mais comum somar as porcentagens de pedregulho e areia antes de utilizar o diagrama triangular, e mencionar após a classificação, conforme o caso, a predominância de areia ou de pedregulho. Havendo o improvável interesse em classificar a fração fina do solo pela granulometria, se ocorrer pedregulho (grãos maiores que 2,0 mm), as porcentagens de areia, silte e argila são divididas pela porcentagem de material passante na peneira de 2,0 mm. Isto faz com que a soma das porcentagens do material fino se aproximem de 100% e o triângulo de Feret possa ser usado.

*Por exemplo, o solo correspondente ao ponto “S” na figura seguinte é formado por 15% de areia, 50% de silte e 35% de argila. Foi classificado como “argila”.*

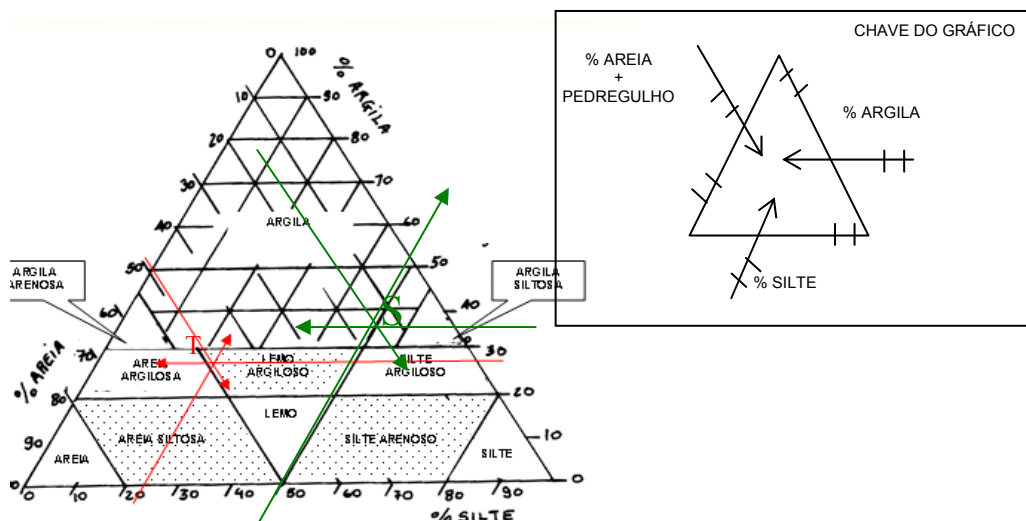


Figura 10.1: Diagrama de Feret (uma versão)

*O solo descrito pelo ponto “T”, com 28% de argila, 49% de areia e 23% de silte, recebeu a classificação “limo argiloso”.*

*Lemo" foi o termo proposto para substituir "barro", que corresponde à "loam" em inglês, com o qual se designa uma mistura em proporções variadas de partículas de areia, silte e argila, com comportamento mal definido.*

Tal classificação dos solos não tem valor geotécnico porquanto não leva nem mesmo em conta a forma das curvas granulométricas, que são importantes na determinação das propriedades geotécnicas dos solos grossos. Também não considera a plasticidade, cuja importância na resistência, compressibilidade e permeabilidade dos solos é enorme. O Sistema de Classificação baseado apenas na textura utiliza a curva granulométrica e uma escala de classificação.

A curva granulométrica define a distribuição das diferentes dimensões das partículas enquanto a escala define a posição relativa aos quatro grupos: pedregulhos, areias, siltes e argilas. As diferenças entre as diversas escalas granulométricas (ver capítulo 1) não alteram sensivelmente o nome dado ao solo.

Para a classificação do solo segundo a textura a partir da curva granulométrica obtida em laboratório, serão determinadas as percentagens de cada fração de acordo com a escala adotada. Quando não se está empregando o triângulo de Feret, a fração predominante dará nome ao solo, que será adjetivado pela fração imediatamente inferior em termos percentuais.

*Exemplo:*

FRAÇÃO	% DE OCORRÊNCIA		
Pedregulho	0		
Areia	≈ 63	Grossa:	0
		Média:	8
		Fina:	55
Silte	9		
Argila	28		

*Da curva granulométrica, obtiveram-se as porcentagens correspondentes a cada fração, mostradas no quadro acima. A fração predominante, em termos percentuais, é a areia, vindo a seguir a fração argila e finalmente silte.*

*Da observação dos valores, nota-se que o solo não tem pedregulhos, nem areia grossa. A subdivisão da fração arenosa mostrou uma predominância da parte fina sobre os demais. Em face dos valores obtidos e da escala adotada o solo será classificado como: areia fina argilosa.*

Se duas frações não predominantes se equivalerem em termos percentuais, o nome do solo continua ser o da fração predominante adjetivado pelas duas outras \*.

*Exemplo: um solo constituído principalmente de areia fina, com leve predominância da fração silte sobre a fração argila: areia fina silto-argilosa.*

\* A NBR 7250 recomenda: Não deve ser utilizada a nomenclatura quando aparece mais do que duas frações de solo (por exemplo: argila silto-arenosa), como resultado de análises de campo, exceto para mencionar a presença de pedregulhos. Tal detalhamento deve ser restrito a resultado de ensaios laboratoriais de classificação. A cor do solo, quando seco, e a compactidade das areias ou a consistência das argilas, são informações que normalmente acompanham a classificação textural. A compactidade das areias e as consistências das argilas estão relacionadas com os índices de resistência a penetração, que são obtidos durante a realização do ensaio de penetração em uma sondagem de simples reconhecimento, conforme descrito na NBR 7161/82.

## SISTEMA AASHO

Esta classificação teve origem nos sistemas do *Bureau of Public Roads e Public Roads Administration*. Foi elaborada principalmente para uso dos engenheiros rodoviários e classifica subleitos em rodovias. É pouco usada atualmente, mas inspirou o sistema TRB, que será detalhado adiante. Os solos são classificados em grupos, de A-1 a A-7.

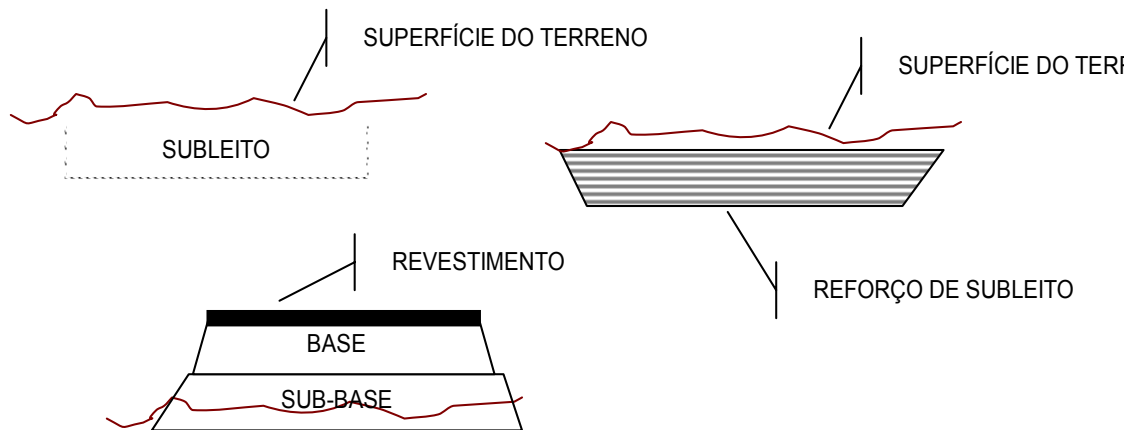


Figura 2: esquema da estrutura de pavimentos

O melhor material de subleito é um solo bem graduado constituído principalmente de pedregulho e areia mas contendo pequena quantidade de finos para servir de liga (A-1).

Solos mal graduados, como areias finas, são difíceis de serem compactados para alcançar altas densidades e são menos desejáveis para suportar pavimentos (veja solo A-3).

Solos contendo grande proporção de finos são inadequados como materiais de subleito. Estes são classificados de A-4 a A-7, na ordem decrescente de adequação como material de sub-leito. (Quando o subleito é inadequado, é executado um reforço de subleito, ou o material é substituído.).

Argilas com altos índices de limite de liquidez e de plasticidade estão sujeitas a amplas variações na resistência durante os ciclos de secagem e umedecimento, que são indesejáveis. Quando nestes solos estão presentes em quantidades suficientes para influir no seu comportamento, o solo é enquadrado como A-6 ou A-7.

A classificação AASHO usa o mesmo índice de grupo, descrito adiante no sistema TRB.

## SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DO TRB\*

A classificação TRB tem origem na classificação do *Public Roads Administration*. Fundamenta-se na granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade e foi proposta para analisar materiais para base e sub-base de pavimentos.

Tabela TRB

Classificação Geral	SOLOS GRANULARES ( P200 < 35 % )							SOLOS SILTO- ARGILOSOS (P200 > 35% )			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
P10	< 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P40	< 30	< 50	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-
P200	< 15	< 25	< 10	< 35	<35	< 35	< 35	> 35	> 35	> 35	> 35
LL	-	-	-	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	> 40
IP	< 6	< 6	NP	< 10	< 10	> 10	> 10	< 10	< 10	> 10	> 10
Índice de grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		areia fina	Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Classificação como subleito	Excelente a bom						<i>Regular a mau</i>				
Podemos acrescentar à estes o tipo A-8:solos orgânicos/turfas, imprestáveis como bases de pavimentos											

- 1) P10, P40 e P200 são as % que passam nas peneiras #10, #40 e #200;
- 2) LL e IP referem-se à fração passando na # 40;
- 3) Para o subgrupo A-7-5:  $IP < LL - 30$  e para o A7-6:  $IP > LL - 30$ ;
- 4) A classificação é feita da esquerda para a direita, razão porque o A-3 é colocado antes do A-2, sem que isso signifique superioridade...
- 5)  $IG = 0,2 a + 0,005 a.c + 0,01 b.d$

onde

$$a = p_{200-35} \text{ (se } P_{200} > 75 \rightarrow a=40 \text{ e se } P_{200} < 35 \rightarrow a=0)$$

(a) varia de 0 a 40;

$$b = p_{200-15} \text{ (se } P_{200} > 55 \rightarrow b=55 \text{ e se } P_{200} < 15 \rightarrow b=0)$$

(b) varia de 0 a 40;

$$c = LL - 40 \text{ (se } LL > 60 \rightarrow c=20 \text{ e se } LL < 40 \rightarrow c=0)$$

c varia de 0 a 20;

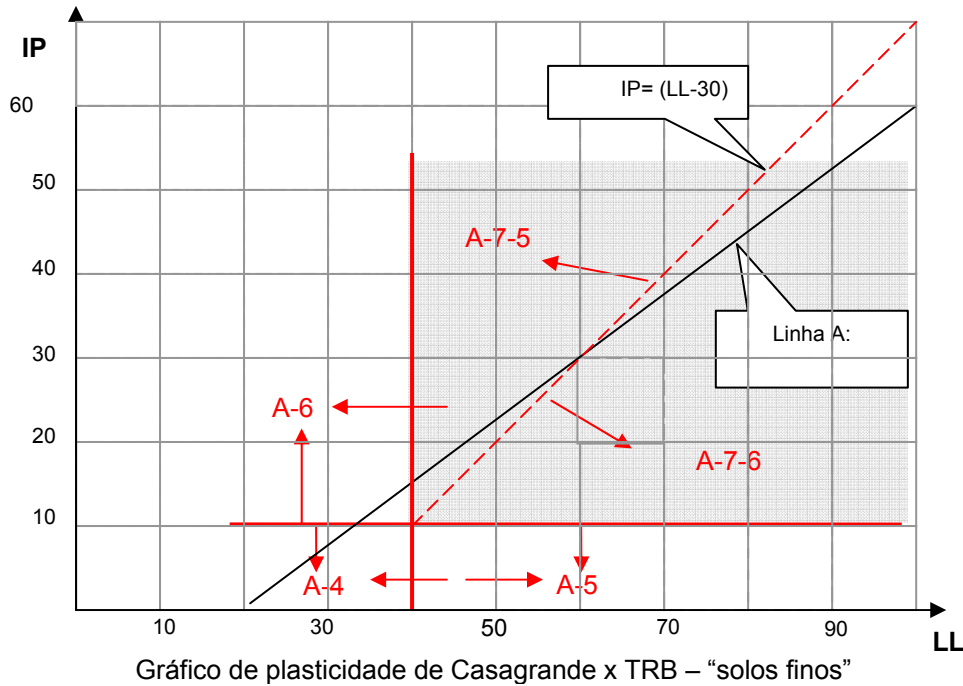
$$d = IP - 10 \text{ (se } IP > 30 \rightarrow d=20 \text{ e se } IP < 10 \rightarrow d=0)$$

d varia de 0 a 20.

Os valores de *a*, *b*, *c*, *d* e *IG* deverão ser expressos em números inteiros positivos.

Nesta classificação os solos são reunidos em grupos e subgrupos. Os "solos granulares" compreendem os grupos A-1; A-2, A-3 e os "solos finos" os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7, três dos quais divididos em subgrupos.

Na "tabela TRB" são indicados os tipos de material e a forma de identificação e classificação.



O gráfico de plasticidade permite facilmente classificar os "solos finos", conhecidos o LL e o IP.

*Embora existam ábacos para a determinação do Índice de Grupo, recomendo a utilização de uma planilha, baseada na fórmula do IG. Uma planilha Excel que calcula o IG e ainda faz a classificação TRB está disponível no cd-rom. (Também no cd-rom está disponível uma planilha, desenvolvida no IME pelo Professor Álvaro Vieira, que executa a classificação SUCS e TRB).*



SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS – SUCS

TABELA III - Classificação Unificada dos Solos							
Processo para identificação no campo				Grupo	Designação característica		
SOLOS DE GRANULAÇÃO GROSSA Mais de metade é maior que a abertura da peneira de malha n.º 40	PEDREGULHOS Mais de metade da fração grosseira e maior que a # n.º 10	PEDREGULHOS PUROS (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias		<b>GW</b>	Pedregulhos bem graduados, misturas de areia e pedregulho com pouco ou nenhum fino.	
			Predominância de um tamanho de grão ou graduação falhada (ausência de alguns tamanhos de grão)		<b>GP</b>	Pedregulhos mal graduados, misturas de pedregulho e areia com pouco ou nenhum fino.	
		PDREGULHOS COM FINOS (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH).		<b>GF</b>	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte mal graduados.	
			Finos plásticos (CL ou CH)		<b>GC</b>	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregulho, areia e argila bem graduados.	
	AREIAS Mais de metade da fração grosseira menor que a # n.º 10	AREIAS PURAS (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias		<b>SW</b>	Areias bem graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.	
			Predominância de um grão ou graduação falhada		<b>SP</b>	Areias mal graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.	
		AREIA COM FINOS (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH)		<b>SF</b>	Areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte.	
			Finos plásticos (CL ou CH ou OH)		<b>SC</b>	Areias argilosas, misturas bem graduadas de areia e argila.	
	SOLOS DE GRANULAÇÃO FINA Mais de metade do material é menor que a abertura de malha da # 200	Processo de identificação executado sobre a fração < # n.º 40				A abertura da malha # n.º 200 corresponde aproximadamente à menor partícula visível a olho nu	
		ENSAIO EXPEDITO →	RESISTENCIA a SECO (esmagamento pelos dedos)	DILATÂNCIA (DILAÇÃO)	RIGIDEZ (consistência na proximidade do LP)		
SILTES E ARGILAS Limite de Liquidez menor que 50		nenhuma a pequena	rápida a lenta	nenhuma	<b>ML</b>	Siltes inorgânicos e areias muito finas, alteração de rocha, areias finas, siltosas ou argilosas com pequena plasticidade.	
		média a elevada	Nenhuma a muito lenta	média	<b>CL</b>	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.	
		Pequena à média	lenta	pequena	<b>OL</b>	Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade	
SILTES E ARGILAS Limite de liquidez maior que 50		Pequena a média	Lenta a nenhuma	Pequena a média	<b>MH</b>	Siltes inorgânicos, micáceos ou diatomáceos, finos arenosos ou solos siltosos, siltes elásticos.	
		Elevada a muito elevada	nenhuma	elevada	<b>CH</b>	Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas.	
		Média a elevada	Nenhuma a muito lenta	Pequena a média	<b>OH</b>	Argilas orgânicas de média e alta plasticidade	
TURFAS		Facilmente identificáveis pela cor, cheiro, porosidade e freqüentemente pela textura fibrosa.			<b>Pt</b>	Solos com elevado teor de matéria orgânica	
(fonte: Milton Vargas, "Introdução à Mecânica dos Solos")							

Para classificar uma amostra pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos, percorra a tabela III da direita para a esquerda, e de cima para baixo.

O sistema SUCS (ou U.S.C.) é o aperfeiçoamento da classificação de Casagrande para utilização em aeroportos, adaptada para uso no laboratório e no campo pelas agências americanas "Bureau of Reclamation" e "U.S. Corps of Engineers", com simplificações

que permitem a classificação sistemática. Foi proposto por Arthur Casagrande no início da década de 40.

Pela primeira vez os solos orgânicos foram considerados como um grupo de características e comportamento próprio e diferente dos outros dois. As mais significativas mudanças e revisões, da norma antiga, podem ser resumidas em 4 itens:

- A classificação de um solo é feita através de um símbolo e de um nome;
- Os nomes dos grupos, simbolizados por um par de letras, foram normalizados;
- Argilas e siltes orgânicos foram redefinidas;
- Foi estabelecida uma classificação mais precisa.

Termos e símbolos utilizados:

#### SOLOSGROSSOS:

- G = *gravel* (pedregulho)
- S = *sand* (areia)
- W = *well graded* (bem graduado)
- P = *poorly graded* (mal graduado)
- C = *clay* (com argila)
- F = *fine* (com finos)

#### SOLOS FINOS:

- L = *low* (baixa compressibilidade)
- H = *high* (alta compressibilidade)
- M = *mo* (silte em sueco)
- O = *organic* (silte ou argila, orgânicos)
- C = *clay* (argila inorgânica)

#### TURFAS (Pt):

Solos altamente orgânicos, geralmente fibrilares e muito compressíveis.

Os solos estão distribuídos em 6 grupos: pedregulhos (G), areias (S), siltes inorgânicos e areias finas (M), argilas inorgânicas (C), e siltes e argilas orgânicos (O). Cada grupo é então dividido em subgrupos de acordo com suas propriedades índices mais significativos.

Os pedregulhos e areias com pouco ou nenhum material fino são subdivididos de acordo com suas propriedades de distribuição granulométrica como bem graduado (GW e SW) ou uniforme (GP e SP).

Se o solo (grosso) contém mais que 12% de finos, suas propriedades devem ser levadas em conta na classificação. Como a fração fina nos solos pode ter influência substancial no comportamento do solo, os pedregulhos e areias têm outras duas subdivisões.

Se o solo (grosso) contém 5% a 12% de finos, deverá ser representado por símbolo duplo: primeiro o do solo grosso (GW, GP, SW, SP), seguido pelo que descreve a fração fina:

- Aqueles cuja fração fina é o silte são GM ou SM.
- Se os finos contêm argilas plásticas, os solos são GC ou SC.
- Se os finos são orgânicos, acrescentar “com finos orgânicos”.
- Se em pedregulho a areia >15%, acrescentar “com areia”.
- Se em areia o pedregulho ultrapassa 15%, acrescentar “com pedregulho”.

Exemplos:

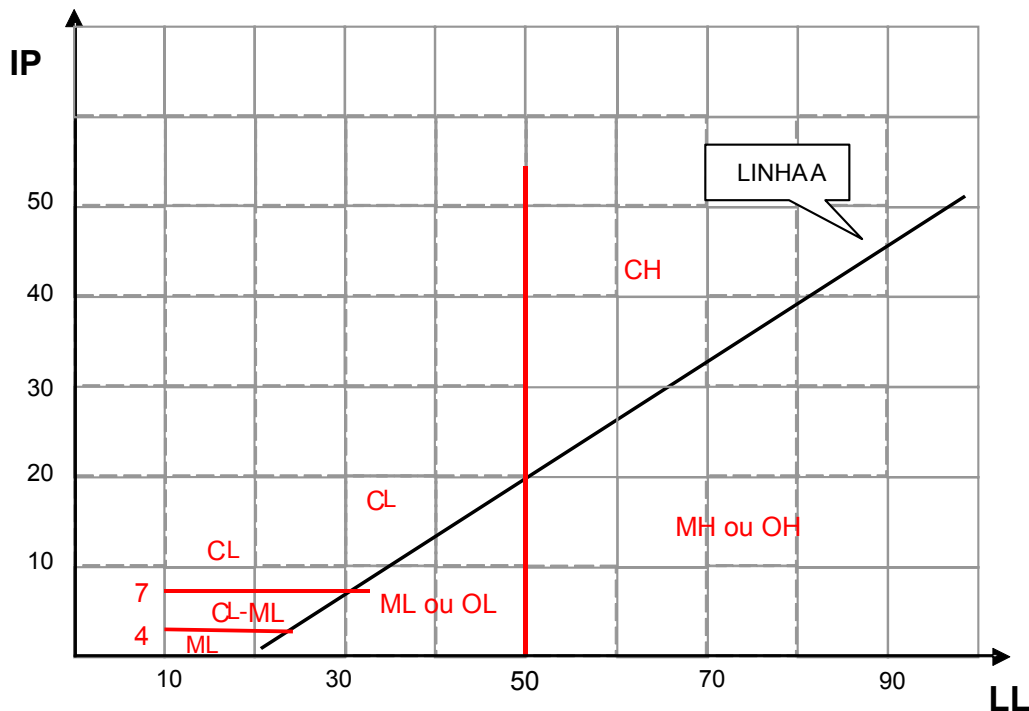
*GW-GM = “pedregulho bem graduado com silte”*

*SP-SC = “Areia mal graduada com argila”*

*“GW com areia”, “*

Para solos finos, se o retido na peneira 200 for maior que 30%, devemos acrescentar, conforme o caso: “arenoso” ou “pedregulhoso”. Se entre 15% e 30%, “com areia” ou “com pedregulho”. Para solos finos as propriedades índices mais importantes são os limites de consistência, usados para subdividir as argilas dos siltes.

TABELA II – CLASSIFICAÇÃO GERAL SUCS		
Classificação geral	Tipos principais	Símbolos
SOLOS GROSSOS (menos que 50 % passando na # 200)	Pedregulho ou solo pedregulhoso ( <i>Gravel</i> )	GW, GP, GC e GM
	Areia ( <i>Sand</i> ) ou solo arenoso	SW, SP, SC E SM
SOLOS FINOS (mais que 50 % passando na # 200)	Silte(M) ou argila(C)	Baixa compressibilidade (LL < 50 ) ML, CL e OL
		Alta compressibilidade (LL > 50) MH, CH, OH
SOLOS ALTAMENTE ORGÂNICOS	Turfa (Peat)	Pt



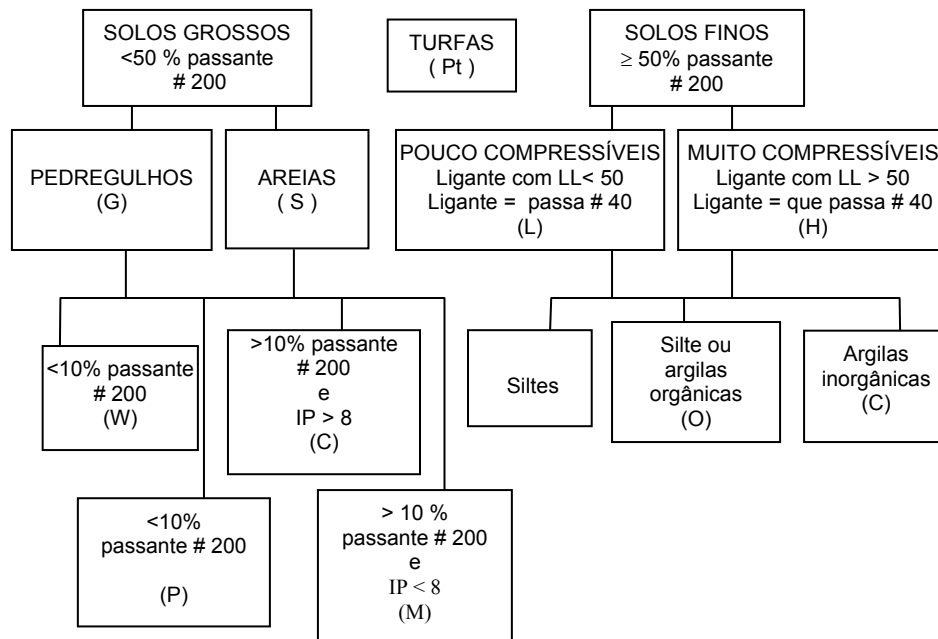
No gráfico de plasticidade, a linha A é uma fronteira arbitrária entre argila orgânica (CL e CH) que estão acima desta linha e os siltes inorgânicos e argilas orgânicas (ML, MH, OL, e OH) que estão abaixo. As argilas e siltes são ainda divididas naqueles de alta e baixa compressibilidade de acordo com o LL. Isto é baseado na observação empírica em

que a compressibilidade do solo cresce com o LL. Solos com LL superior a 50% são classificados como de alta compressibilidade (MH, CH).

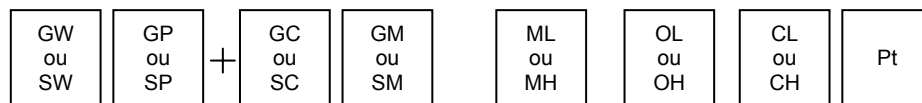
A linha U é um limite superior (empírico) para solos naturais: quando o LL e o IP situam o solo na região acima da Linha U, os resultados de ensaios devem ser verificados. Inicia vertical para LL = 16% até IP = 7% e a partir desse ponto é representada pela equação  $IP = 0,9 (LL - 6)$ .

A não consideração de  $LL < 16\%$  foi devido a um trabalho do *United States Bureau Reclamation*, que ensaiando mais de mil amostras obteve apenas quatro com  $LL = 17\%$ , uma com  $LL = 16\%$  e nenhuma com valor menor (Howard, 1984).

Obs.: O símbolo duplo CL-ML designa “argila siltosa”(com baixa compressibilidade). Esquematisando um pouco mais:



São classificações possíveis:



Exemplos:

*GW* (pedregulho bem graduado),

*GW-GC* (pedregulho bem graduado, com a pequena fração fina constituída por argila),

*GW-GM* (pedregulho bem graduado, com a pequena fração fina constituída por silte),

*GP, GP-GC, GP-GM,*

*SW, SW-SC, SW-SM,*

*SP, SP-SC, SP-SM,*

*ML, MH, OL, OH, CL, CH, Pt,*

*CL com pedregulho* (solo CL com pedregulho, 15 a 30% em peso retido na #200)

*CL pedregulhoso* (solo CL tendo pedregulhos, com mais de 30% retido na #200).

## Classificação Visual dos Solos (SUCS) (com ajuda da tabela III)

O exame da granulometria, no campo, exige paciência e método. Secar a amostra do solo, espalhando-a sobre um papel branco. Com auxílio de uma lupa (lente de aumento), separar e avaliar a quantidade de grãos individualmente visíveis. Se a maioria for visível, o solo é grosso, se não, fino. Separar então, dentre os visíveis, os grãos maiores que 2 mm(diâmetro). Se formarem mais da metade da fração de grãos visíveis, é um solo pedregulhoso, se não, arenoso.

Com a parte fina, fazer os exames de Dilatância (Dilação), Resistência a seco e Rigidez.

*OBS. O termo dilatância é mal empregado, embora subscrito pelo costume. O correto é DILAÇÃO, pois trata da rapidez ou demora (e nitidez) com que a água aparece na superfície ao ser sacudida horizontalmente a amostra, na mão. Quanto mais rápido e nítido for essa manifestação, maior possibilidade a amostra tem de conter alta proporção de silte e/ou areia fina. O ensaio de dilação é pouco utilizado, e pode ser substituído pela observação da maneira como a amostra se fragmenta quando amassada entre os dedos, com objetivo de secagem, ao passar do estado plástico para o estado semi-sólido: se ocorre uma “pulverização”, provavelmente terá muito silte ou areia fina, se fragmentar-se em pequenos torrões, argila.*

No exame de RIGIDEZ, no campo, proceder de forma semelhante ao ensaio de plasticidade. Umedecida a amostra, formar um cilindro como o do exame mencionado, até que este comece a se romper. Neste momento, redobra-se a atenção, verificando sua rigidez e aspereza. A aspereza indica presença de areia. Quanto mais rija a massa, maior a presença e atividade da fração argilosa.

Completa-se a classificação visual do solo com a observação de seu estado indeformado, ao natural. Aos solos grossos acrescenta-se o julgamento de sua COMPACIDADE (densa ou fofa). Para os solos finos, interessa a CONSISTÊNCIA. Se uma amostra indeformada de solo fino pode ser amassada com os dedos, tem consistência mole. Se não, rija ou dura.

Os estados de compacidade e consistência podem ser avaliados por correlação com o índice de resistência à penetração, obtido com o *Standard Penetration Test* (SPT) por exemplo. Areias e siltes arenosos são classificados por sua compacidade, argilas e siltes argilosos pela consistência, conforme a tabela seguinte.

Tabela – Classificação dos solos conforme a resistência a penetração		
Solo	Índice de resistência à penetração	Designação
Areia e silte arenoso	≤ 4	Fofa
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
Argila e silte argiloso	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	> 19	Dura (o)

A SENSIBILIDADE de um solo argiloso pode ser avaliada depois de ser amolgada a amostra. Argilas sensíveis são rijas ao natural, e ficam moles e pegajosas após serem amassadas com os dedos.

A COR do solo (avaliada logo após a coleta) deve ser descrita por códigos numéricos quando se dispõe de tabela de cores (por exemplo, tabela de Munsell). Apesar do caráter subjetivo, podem ser usadas as designações: branco, cinza, preto, marrom, amarelo, vermelho, rosa, azul e verde, complementadas por claro e escuro. Podem ser usadas até duas designações de cores. Havendo mais de duas cores, deve ser utilizado o termo “variegado” no lugar do relacionamento de cores.

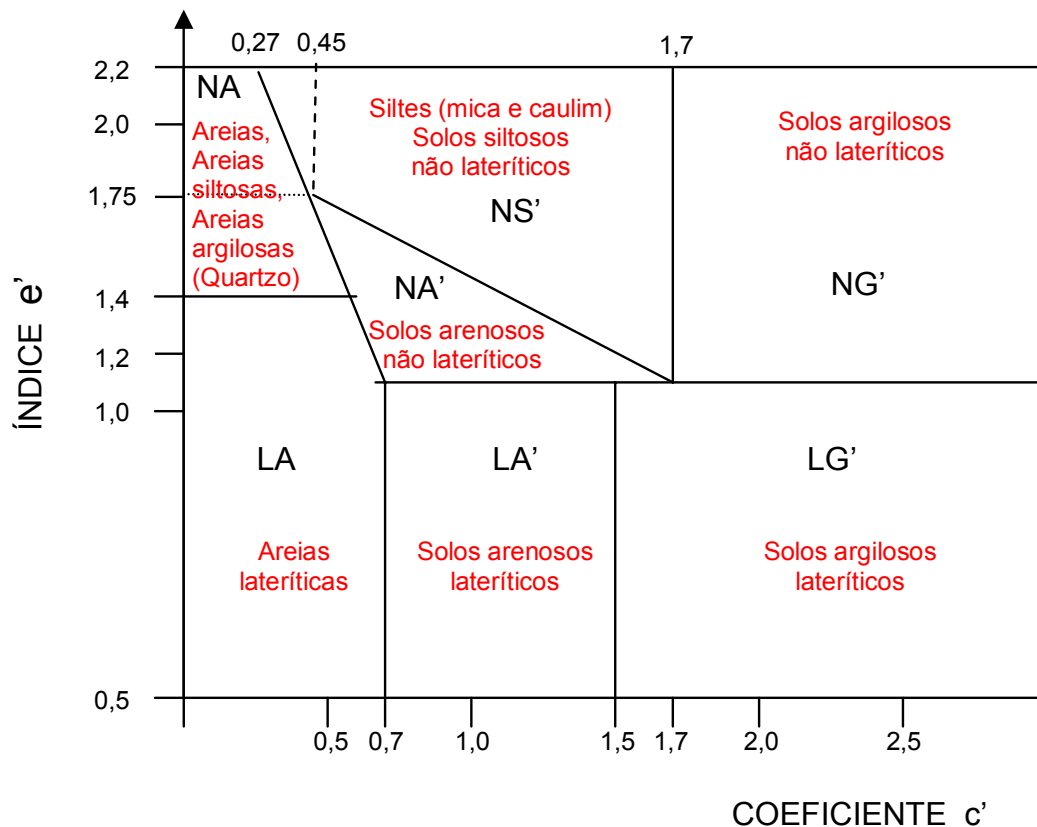
Finalmente, deve-se observar a ORIGEM GEOLÓGICA do solo, isto é, se porventura se trata de solo residual, coluvial, etc. Também deve ser observada a macroestrutura, sua proveniência, se teve evolução pedogênica (comum em solos porosos), e a existência de furos de raízes, formigueiros e fissuras. Todos estes fatores têm influência e importância na previsão das propriedades estruturais de um solo, sob o ponto de vista geotécnico.

*Para adquirir experiência: Faça classificações expeditas (anote suas avaliações) e compare-as com resultados obtidos após ensaios. A experiência adquirida pela atenção constante aliada a comparações permite que a frequência de erros se torne cada vez menor, e as inseguranças de um recém - formado tornem-se as certezas de um engenheiro sênior.*

## CLASSIFICAÇÃO PARA OS SOLOS TROPICAIS (MCT)

O Sistema Unificado de Classificação dos Solos não se mostra satisfatório para solos tropicais em face do seu comportamento diferenciado. Uma classificação mais apropriada aos solos tropicais, com ênfase em projetos de estradas, foi proposta por (Nogami e Volland, 1961), separando-se os solos em dois grupos: um de comportamento laterítico e outro não laterítico. O sistema de classificação MCT (Mini-Compacto-Tropical) procura determinar as características dos solos por meio de ensaios realizados com corpos de prova de dimensões reduzidas, compactados dinamicamente e considerando também a granulometria e propriedades pedológicas.

A classificação MCT nasceu da percepção de que solos tropicais, por estarem sujeitos a chuvas abundantes e freqüentes, costumam comportar-se de modo diferente dos solos originalmente estudados no hemisfério norte. Tem como parâmetros principais os resultados do ensaio mini-CBR: esforço de penetração, absorção, expansão e contração, mais permeabilidade, perda de massa por imersão, granulometria entre 2,00 e 0,075 mm.



Ábaco para classificação MCT (Nogami *et al*, 1993)

O ábaco de classificação MCT é subdividido em sete regiões, onde os solos de comportamento não laterítico ocupam a parte superior e os de comportamento laterítico estão situados na parte inferior do gráfico.

A cada uma das regiões foram associadas duas letras: a primeira letra N ou L indica o comportamento não laterítico ou laterítico e a segunda (A,A',S',G') complementa a classificação, indicando a fração granulométrica dominante.

Neste gráfico os solos coesivos estão localizados à direita e os não coesivos à esquerda.

O gráfico é definido com base nos resultados do ensaio de Mini-MCV (*Mini-Moisture Condition Value*) (Soria e Fabbri, 1960).

A primeira variável usada como abscissa e simbolizada por  $c'$  representa a inclinação do trecho reto da curva Mini-MCV para 10 golpes e em ordenadas estão colocados os valores  $e'$  calculados pela equação empírica

$$e' = (20/d + Pi/100)^{1/3}$$

onde

$d'$  é a inclinação do ramo seco da curva de compactação para uma energia correspondente a 12 golpes (aproximadamente igual à do Proctor Normal, 560 kJ/m<sup>3</sup>) e

Pi é a percentagem de perda de material por imersão.

## CLASSIFICAÇÃO QUANTO À PEDOLOGIA

Pedologia é o estudo do desenvolvimento do solo próximo à superfície. O perfil do solo geralmente mostra uma seqüência de camadas (chamadas de horizontes) que se estende de 1,5 m a 3,0 m abaixo da superfície. As propriedades destes horizontes refletem nos materiais que lhe deram origem e afeta fatores ambientais tais como clima, inclinação do talude, e a vegetação sobre o processo de formação. Este sistema classifica os solos de acordo com as características dos horizontes sucessivos.

As características usadas para classificação incluem cor, textura, espessura dos horizontes, etc. Aos solos são designados nomes especiais, freqüentemente os nomes da localidade onde tais perfis do solo foram primeiramente identificados.

Perfis semelhantes encontrados subsequente em outros locais são designados pelo mesmo nome.

Pedologia é designação de um sistema de classificação dos solos e que os considera como parte natural da paisagem e tem seu interesse maior no estudo da origem e de sua evolução ao longo do tempo. Após a intemperização da rocha o solo começa a sofrer transformações e a se organizar em horizontes, de aspectos e condições diferentes e aproximadamente paralelos à superfície do terreno. O perfil de um solo bem desenvolvido possui quatro horizontes, que poderão ser subdivididos e convencionalmente identificados pelas letras O, A, B, C, e R



OS CORTES SÃO ÚTEIS À OBSERVAÇÃO DOS HORIZONTES



ESQUEMA DE UM PERFIL DE SOLO HIPOTÉTICO MOSTRANDO OS PRINCIPAIS HORIZONTES (LEPSCH, 1976)

Principais características:

Horizonte O:

- Matéria vegetal cobrindo a parte superficial do solo mineral;
- Pequena espessura;
- Presente apenas em locais com muita vegetação;
- Sem valor para a engenharia, quer como material de construção ou de suporte;
- Deve sempre ser removido mesmo em obras de pequeno porte.

Horizonte A:

- Solo mineral mais próximo da superfície;
- Principal característica, matéria orgânica em decomposição;
- Fonte de sólidos carreados pela água para os horizontes inferiores;
- Muito poroso;
- Alta compressibilidade;
- Não deve ser aproveitado como material de construção nem como elemento de suporte, mesmo de pequenas obras.

Horizonte B:

- É o receptor dos sólidos carreados de A;
- Apresenta um desenvolvimento máximo de cor e estrutura;
- Pode ser utilizado como fundação de pequenas estruturas e como material de construção.

Horizontes C e D:

- Zona de transição para a rocha;
- Não afetado pelos agentes de alteração (Biológicos, Físicos e Químicos) dos horizontes superiores;
- Mantém características próximas da sua origem geológica;
- Usado tanto como empréstimo ou fundação.

Abaixo do horizonte C:

- Rocha, algumas vezes indicada pela letra R.

Os horizontes O, A, e B podem ser subdivididos para indicar diferentes graus de alteração e a passagem de um horizonte para subsequente é gradual tanto na cor quanto na quantidade de matéria orgânica. O pedólogo considera como solo o conjunto dos horizontes O, A, e B, enquanto que para o engenheiro civil solo é o conjunto dos horizontes B e C. Existem diferentes sistemas de classificação pedológica dos solos. No Brasil, o sistema usado é uma adaptação às condições brasileiras distribuindo os solos em três ordens: zonais, azonais e intrazonais.

Características que refletem a influência do clima e dos organismos vegetais na sua formação:

Solos zonais:

- São bem desenvolvidos (maduros), pois houve tempo suficiente para que o estado de equilíbrio final com a natureza fosse alcançado;
- Profundos, com os horizontes A, B e C bem diferenciados e cujas características são bem mais desenvolvidas em regiões altas com taludes suaves e boa drenagem.

Solos intrazonais:

- Podem ser formados em locais de topografia suave com clima úmido e nível de água próximo a superfície;
- Em regiões áridas ou próximas do mar resultando uma concentração de sais solúveis muito grande;
- Alguns solos do grupo apresentam um alto teor de montmorilonita, com comportamento não desejado na engenharia geotécnica.

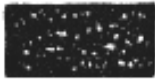
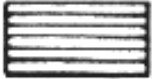


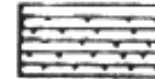

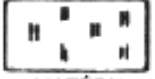
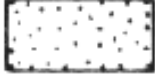

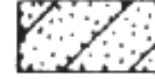


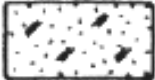

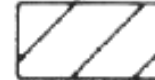
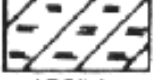

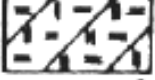
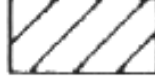
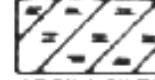

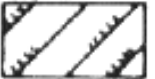




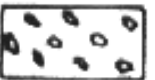

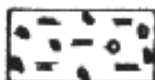

Solos azonais:

- Características pouco desenvolvidas, devido a formação recente. A natureza do relevo e do material original impede o desenvolvimento de características típicas do clima onde ocorrem.
- Não possuem o horizonte B e os horizontes constituintes são pouco espessos e apoiados sobre o horizonte C ou sobre a rocha.

Este sistema de classificação pedológica é muito usado em agronomia, sendo pouco usado na engenharia civil, embora possa ser de muita valia na fase de reconhecimento para uma obra de grande porte.

ORDENS E SUB-ORDENS DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA	
ORDEM	SUB-ORDEM
Zonal	Latossolos Podzólicos Podsol Brunizem (Solo de Pradana) Bruno não cálcico Desértico Tundra
Intrazonal	Salino (Haomórfico) Hidromórfico Grumossolo
Azonal	Litossolo Regussolo Aluvial Cambissolo

#### CONVENÇÕES PARA A REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE SOLOS

				
PISO E ENTULHO	ATERRO	ATERRO ARGILOSO	ATERRO SILTOSO	ATERRO ARENOSO
				
TURFA (TERRENO VEGETAL ORGÂNICO)	MATÉRIA ORGÂNICA	AREIA	AREIA POUCA ARGILOSA	AREIA MUITO ARGILOSA
				
AREIA ARGILO-SILTOSA	AREIA SILTOSA	AREIA COM NÓDULOS DE ARGILA	AREIA COM PEDREGULHO	ARGILA
				
ARGILA SILTOSA	ARGILA ORGÂNICA	ARGILA ORGÂNICA SILTOSA	ARGILA ARENOSA	ARGILA SILTO-ARENOSA
				
ARGILA COM NÓDULOS DE AREIA	ARGILA COM LENTES DE AREIA	SILTE	SILTE ARENOSO	SILTE ARGILO
				
SILTE ARGILO-ARENOSO	PEDREGULHO	PEDREGULHO ARGILOSO	PEDREGULHO SILTOSO	SOLO RESIDUAL

## CLASSIFICAÇÃO QUANTO À MOVIMENTAÇÃO DOS SEDIMENTOS

Assim que a ação do intemperismo se faz manifestar sobre uma rocha, gerando os sedimentos, poderão estes permanecer em seu local de origem ou serem movimentados para outros locais por agentes da natureza. Se os sedimentos permanecem no local de origem, com o processo de alteração que se seguirá, resultará um solo com textura bem graduada, denominado de solo residual. Embora para os geólogos não seja esta a melhor denominação, está consagrada para os engenheiros de solos e deverá permanecer.

Nos depósitos de solos residuais, as dimensões das partículas são muito variadas por causa da diferença das resistências à ação do intemperismo dos minerais constituintes da rocha matriz. Com isso estes depósitos poderão ter blocos de grandes dimensões denominados matacões. A sua existência pode impedir a penetração das ferramentas utilizadas na investigação do subsolo e podendo induzir o técnico responsável pelo serviço a uma interpretação errada do perfil ao supor ter encontrado o manto rochoso. Os sedimentos formados pela intemperização da rocha poderão ser movimentados para outros locais originando os solos de sedimentos transportados. Durante o transporte os sedimentos poderão sofrer alteração na forma e dimensões iniciais, além de sedimentos de origens diversas serem incorporados na massa em movimentação.

Os agentes de transporte mais comuns são a gravidade, água, geleira e vento, cada um deles originando a formação de solos com características próprias.

Os sedimentos transportados por gravidade, devido a diferença de nível entre dois pontos, se localizam na base de uma elevação, originando os solos coluvionares (talus). São solos bem graduados com ampla variação das dimensões partículas e com a fração grossa mantendo a forma original em face da pequena distância de transporte.

Quando os sedimentos são transportados pela água há uma seleção natural dos mesmos, com os maiores sendo depositados a uma distância menor e os menores a uma distância maior do local de início do transporte. Esta seleção dependerá da velocidade da água. Os solos assim originados são denominados aluvionares. Estes solos apresentam partículas com dimensões que variam em um intervalo menor do que os solos coluvionares. O transporte dos sedimentos pela água permite que mesmo aqueles com dimensões maiores sejam rolados a uma distância que provoque alterações na sua forma e dimensões iniciais.

Os sedimentos transportados por geleiras darão origem a solos glaciários com textura bem graduada, podendo conter desde matacões até partículas de dimensão argila. Em face do grande volume de uma geleira, os sedimentos transportados preservam a forma e dimensões iniciais, enquanto aqueles que se encontram no plano de deslizamento têm face polida. Quando a geleira termina a sua movimentação e inicia o processo de degelo, deixará no local os sedimentos transportados para geração de depósitos de solos denominados glaciários.

Os sedimentos transportados pelo vento dão origens aos solos eólicos, que são mal graduados, porosos, pouco densos e estruturalmente instáveis. Durante o transporte de sedimentos ocorrerá sempre a possibilidade de serem agregados elementos de fontes diferentes que poderão dificultar a identificação da fonte principal de origem dos sedimentos. As dunas são o principal exemplo deste tipo de solo.