



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO GRANDE
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS E CONSTRUÇÃO
Disciplina: 04091 – Projeto de Estradas de Rodagem
Profª. Raquel da Fonseca Holz

PROJETO DE ESTRADAS DE RODAGEM

NOTAS DE AULA

Versão 1 - 2007

Departamento de Materiais e Construção

Av. Itália km 08, - Pav. K, Sala 01 – Rio Grande/RS – CEP 96201-900
Fone: (053) 32336620 – E-mail: dmc@dmc.furg.br – Caixa Postal: 474

UNIDADE I

CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS E AGREGADOS

1. INTRODUÇÃO

Homem pré-histórico: busca de alimentação e água – deixar os caminhos entre caverna e campos de caça ou poços de água – condições de permitir sua passagem o mais fácil possível;

Estava assim, atendendo ao princípio fundamental do transporte:

Melhorar o caminho por onde devia passar, quando tinha necessidade de se deslocar periodicamente entre pontos extremos ou intermediários.

Montou um animal: deram um passo adiante nessa evolução – rendimento das viagens – melhorias que teve que introduzir nos caminhos;

Atrelou um rústico veículo a esse animal: melhorando o rendimento das viagens – contrapartida, melhorarem ainda mais os caminhos – invenção mais importante no ramo dos transportes: a RODA;

Ataque à natureza – o homem era inteiramente condicionado pelo meio ambiente e pela topografia dos terrenos por onde circulava.

As maiores necessidades, criadas com os maiores volumes e as maiores cargas, a serem transportadas com maior frequência a distâncias cada vez maiores, obrigou o homem a procurar exercer controle sobre o meio, alterando os caminhos, cortando, aterrando e construindo obras de passagem sobre os cursos d'água.

- Aumento da frequência das viagens: os caminhos e estradas precisavam ser transitáveis em qualquer época do ano;
- Revestir o leito carroçável: dar estabilidade inclusive na época de chuva;

Regra básica:

- Terrenos arenosos: oferecem boas condições nas chuvas e excessiva poeira nas secas;
- Terrenos argilosos: oferecem boas condições nas secas e lama nas chuvas.

ESTABILIZAÇÃO – misturar areias e argilas, em proporção tais que as argilas evitem o aparecimento de poeira nos terrenos arenosos, nas secas, e as areias evitem o aparecimento de lama nos terrenos argilosos, nas chuvas.

A busca de melhores materiais para a estabilização do leito carroçável levou à utilização de revestimentos de pedras, de misturas betuminosas ou de concreto de cimento – a PAVIMENTAÇÃO – atendendo assim outro princípio fundamental na evolução dos transportes:

A necessidade de que os deslocamentos sejam possíveis em qualquer época do ano – estabilização do leito das estradas.

A estrutura que se constrói sobre o leito de terra pode variar quer no que se refere à espessura, aos materiais utilizados, em consonância não só com as solicitações, mas também com a própria função que a estrada está exercendo ou deverá exercer.

2. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS E AGREGADOS

“Solo é uma formação natural, de estrutura solta e removível e de espessura variável, resultante da transformação de uma rocha-mãe, pela influência de diversos processos físicos, físico-químicos e biológicos.”

No âmbito da engenharia rodoviária, considera-se solo todo tipo de material orgânico ou inorgânico, inconsolidado ou parcialmente cimentado, encontrado na superfície da terra.

Consideram-se como solo qualquer material que possa ser escavado com pá, picareta, escavadeiras, etc., sem necessidade de explosivos.

2.1 Divisão dos solos

Com base na origem dos seus constituintes, os solos podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Solo Residual;
- Solo Transportado.

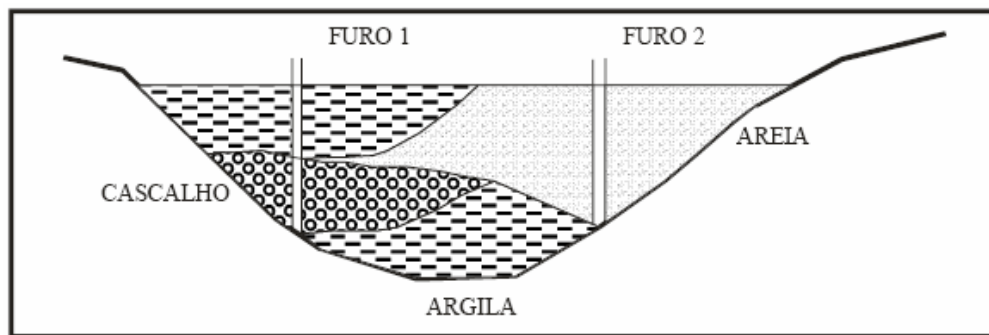
- **SOLO RESIDUAL:** se os produtos da rocha intemperizada permanecem ainda no local em que se deu a transformação;

- ✓ Todos os tipos de rocha formam solo residual.

Tipo de rocha	Composição mineral	Tipo de solo	Composição
basalto	plagioclásio piroxênios	argiloso (pouca areia)	argila
quartzito	quartzo	arenoso	quartzo
filitos	micas (sericita)	argiloso	argila

Tipo de rocha	Composição mineral	Tipo de solo	Composição
granito	quartzo feldspato mica	areno-argiloso (micáceo)	quartzo e argila (micáceo)
calcário	calcita		argila

- **SOLO TRANSPORTADO:** quando os produtos de alteração foram transportados por um agente qualquer, para local diferente ao da transformação;
- ✓ De acordo com o agente transportador criam os tipos: coluviais (gravidade), aluvião (águas), eólicos (vento) e glaciais.



Local de solos transportados

2.2 Descrição dos solos

A terminologia de Solos e Rochas – TB-3 (de 1969), da ABNT e a TER-268/94, do DNER, estabelecem que os solos sejam identificados por sua textura (composição granulométrica), plasticidade, consistência ou compacidade, citando-se outras propriedades que auxiliam sua identificação, como: estrutura, forma dos grãos, cor, cheiro, friabilidade, presença de outros materiais (conchas, materiais vegetais, micas, etc.).

Sob o ponto de vista de **IDENTIFICAÇÃO**, a textura, é uma das mais importantes propriedades dos solos, mesmo que não seja suficiente para definir e caracterizar o comportamento geral desses materiais.

Para fins de terminologia é, ainda, uma tradição a **DIVISÃO DOS SOLOS**, sob o ponto de vista exclusivamente textural, e frações diversas, cujos limites convencionais superiores e inferiores das dimensões variam conforme o critério e as necessidades das organizações tecnológicas e normativas.

O DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes) **adota a seguinte escala granulométrica, considerando as seguintes frações de solo:**

- A. **Pedregulho:** é a fração do solo que passa na peneira de (3") e é retida na peneira de 2,00mm (nº10);
- B. **Areia:** é fração do solo que passa na peneira de 2,00mm (nº10) e é retida na peneira de 0,075mm (nº200);
- C. **Areia grossa:** é a fração compreendida entre as peneiras de 2,0mm (nº10) e 0,42mm (nº40);
- D. **Areia fina:** é a fração compreendida entre as peneiras de 0,42mm (nº40) e 0,075mm (nº200);
- E. **Silte:** é a fração com tamanho de grãos entre a peneira de 0,075mm (nº200) e 0,005mm;
- F. **Argila:** é a fração com tamanho de grãos abaixo de 0,005mm (argila coloidal é a fração com tamanho de grãos abaixo de 0,001mm).

São usados, também, na **DESCRIÇÃO DE SOLOS**, alguns termos como os seguintes:

- **Turfa:** solo sem plasticidade, com grande percentagem de partículas fibrosas de material ao lado de matéria orgânica coloidal, marrom-escuro a preto, muito compressível e combustível quando seco;
- **Cascalho:** solo com grande percentagem de pedregulho, podendo ter diferentes origens – fluvial, glacial e residual; o cascalho de origem fluvial é chamado comumente de seixo rolado;
- **Solo laterítico:** é um solo que ocorre comumente sob a forma de crostas contínuas na forma de textura fina, mas pouco ou nada ativos. Suas cores variam do amarelo ao vermelho mais ou menos escuro e mesmo negro. Designações locais: piçarra, recife, tapiocanga e mocoioró;
- **Saibro:** solo residual areno-argiloso, podendo conter pedregulhos, proveniente de alteração de rochas graníticas ou gnáissicas;
- **Topsoil:** solo areno-siltoso, com pouca ou nenhuma argila, encontrado nas camadas superficiais de terrenos de pequena declividade, ou nas partes baixas de bacias hidrográficas;

- **Massapê:** solos argilosos, de plasticidade, expansibilidade e contratibilidade elevadas, encontrado, principalmente, na bacia do Recôncavo Baiano. Suas características decorrem da presença da montmorilonita. No Paraná, materiais semelhantes são designados sabão-de-caboclo.

2.2.1 Identificação dos solos

Para facilidade de identificação dos solos, sob o ponto de vista do seu comportamento, existe uma série de testes simples, visuais e manuais, prescindindo de qualquer instrumento de laboratório, que permitem distinguir entre um tipo e outro de solo.

- **Teste Visual** – que consiste na observação visual do tamanho, forma, cor e constituição mineralógica dos grãos do solo – teste que permite distinguir entre solos grossos e solos finos;
- **Teste de Tato** – que consiste em apertar e friccionar, entre os dedos, a amostra de solo:
 - os solos ásperos são de comportamentos arenosos;
 - os solos macios são de comportamento argiloso;
- **Teste de Corte** – que consiste em cortar a amostra com uma lâmina fina e observar a superfície do corte:
 - sendo polida (ou lisa), tratar-se-á de solo de comportamento argiloso;
 - sendo fosca (ou rugosa), tratar-se-á de solo de comportamento arenoso;
- **Teste da Dilatância** (também chamado da mobilidade da água ou ainda da sacudidela) – que consiste em colocar na palma da mão uma pasta de solo (em umidade escolhida) e sacudi-la batendo leve e rapidamente uma das mãos contra a outra. A dilatação se manifesta pelo aparecimento de água à superfície da pasta e posterior desaparecimento, ao amassar a amostra entre os dedos:
 - os solos de comportamento arenoso reagem sensível e prontamente ao teste, enquanto que os de comportamento argiloso não reagem;
- **Teste de Resistência Seca** – que consiste em tentar desagregar (pressionando com os dedos) uma amostra seca de solo:
 - se a resistência for pequena, tratar-se-á de solo de comportamento arenoso;
 - se for elevada, de solo de comportamento argiloso.

2.3 Propriedades Gerais dos Solos

- FORMA DAS PARTÍCULAS
 - a) Esferoidais: possuem dimensão aproximada em todas as direções e poderão, de acordo com a intensidade de transporte sofrido, ser angulosas ou esféricas; ex: solos arenosos ou pedregulhos.

- b) Lamelares ou placóides: há predomínio de duas das dimensões sobre a terceira; solos de constituição granulométrica mais fina, onde as partículas são microscópicas;
- c) Fibrosas: ocorrem com solos de origem orgânica (turfosos), onde uma das dimensões predomina sobre as outras duas.

- **ÍNDICES FÍSICOS**

Os índices físicos são relações entre volume e peso das fases (sólida, líquida e gasosa) do solo. São utilizados na definição de propriedades físicas dos solos.

Onde:

Var: volume de ar (gases ou vapor)

Va: volume de água

Vg: volume dos grãos sólidos

Vt = Vv + Vg = volume total

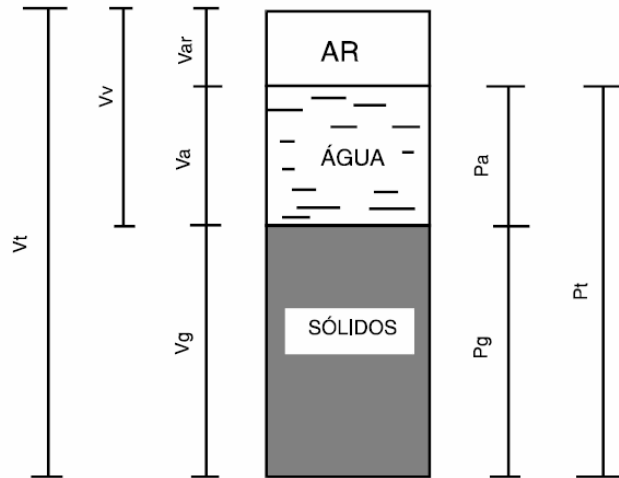
Vv = Vt – Vg = volume de vazios

Pa: peso da água

Pg: peso dos grãos sólidos

Par: peso de ar (desprezível)

Pt = Pa + Pg = peso total



As relações no sistema de três fases – sólida, líquida e gasosa – podem ser expressas pelos índices físicos do solo, como:

- Teor de umidade;
- Porosidade;
- Índice de vazios;
- Grau de compactação;
- Grau de saturação;
- Grau de aeração;
- Densidade real;
- Massas específicas (massa específica real dos grãos, massa específica aparente seca, massa específica aparente do solo saturado, massa específica aparente do solo submerso).

Índices físicos

- a) Índice de vazios

$$e = \frac{V_v}{V_g}$$

- b) Porosidade

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

- c) Teor de umidade (higroscópica, natural ou de saturação, conforme as condições do solo)

$$h = \frac{P_a}{P_g} \times 100$$

d) Grau de saturação

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

e) Grau de aeração

$$A = \frac{V_a}{V_t} \times 100$$

f) Percentagem de ar (air-voids)

$$a = \frac{V_a}{V_t} \times 100$$

g) Massa específica real dos grãos de solo

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V}$$

h) Massa específica aparente úmida

$$\gamma_h = \frac{P_t}{V_t}$$

i) Massa específica aparente seca

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_t}$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{h}{100}} = \gamma_h \times \frac{100}{100 + h}$$

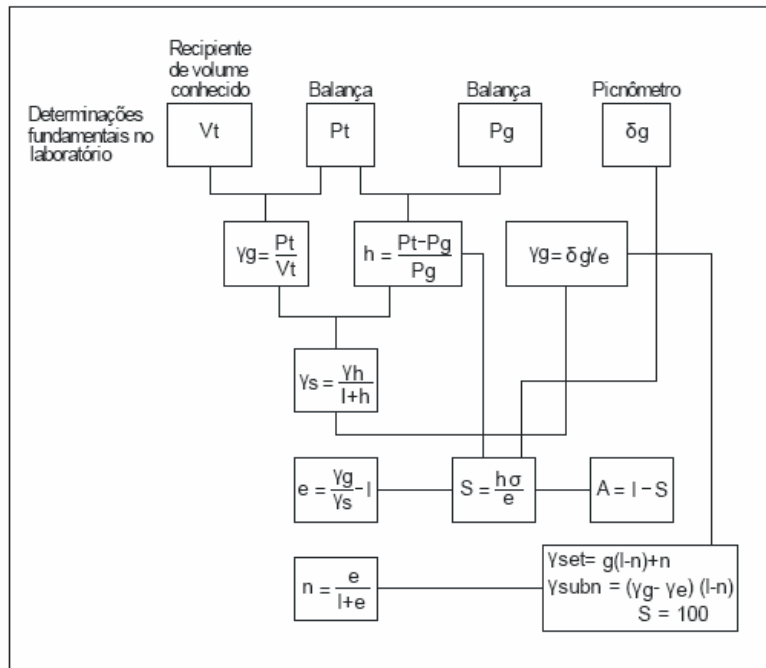
j) Massa específica aparente do solo saturado ($V_v = V_a$)

$$\gamma_{sat} = \frac{P_t}{V_t} = \frac{P_a + P_g}{V_t} = \frac{V_v \times \gamma_a + (V_t - V_v) \times \gamma_g}{V_t} = n\gamma_a + (1-n)\gamma_g$$

k) Massa específica aparente do solo submerso

$$\gamma_{subm} = \gamma_{sat} - \gamma_a = (1-n)(\gamma_g - \gamma_a)$$

(ação do empuxo hidrostático)



Correlação entre os diversos índices físicos

- **PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

Dentre as de maior interesse no campo rodoviário, destacam-se:

- ✓ Permeabilidade: é a propriedade que os solos apresentam de permitir a passagem da água sob a ação da gravidade ou de outra força.
- ✓ Capilaridade: é a propriedade que os solos apresentam de poder absorver água por ação da tensão superficial, inclusive opondo-se à força da gravidade.
- ✓ Compressibilidade: é a propriedade que os solos apresentam de se deformar, com diminuição de volume, sob a ação de uma força de compressão.
- ✓ Elasticidade: é a propriedade que os solos apresentam de recuperar a forma primitiva cessado o esforço deformante; não sendo os solos perfeitamente elásticos, tal recuperação é parcial.
- ✓ Contratilidade e Expansibilidade: é propriedade características da fração argila e, por isso, mais sensível nos solos argilosos.
 - Contratilidade é a propriedade dos solos terem seu volume reduzido por diminuição de umidade.
 - Expansibilidade é a propriedade de terem seu volume ampliado por aumento de umidade.
- ✓ Resistência ao Cisalhamento: é a ruptura das massas de solo.

2.4 Classificação dos Solos

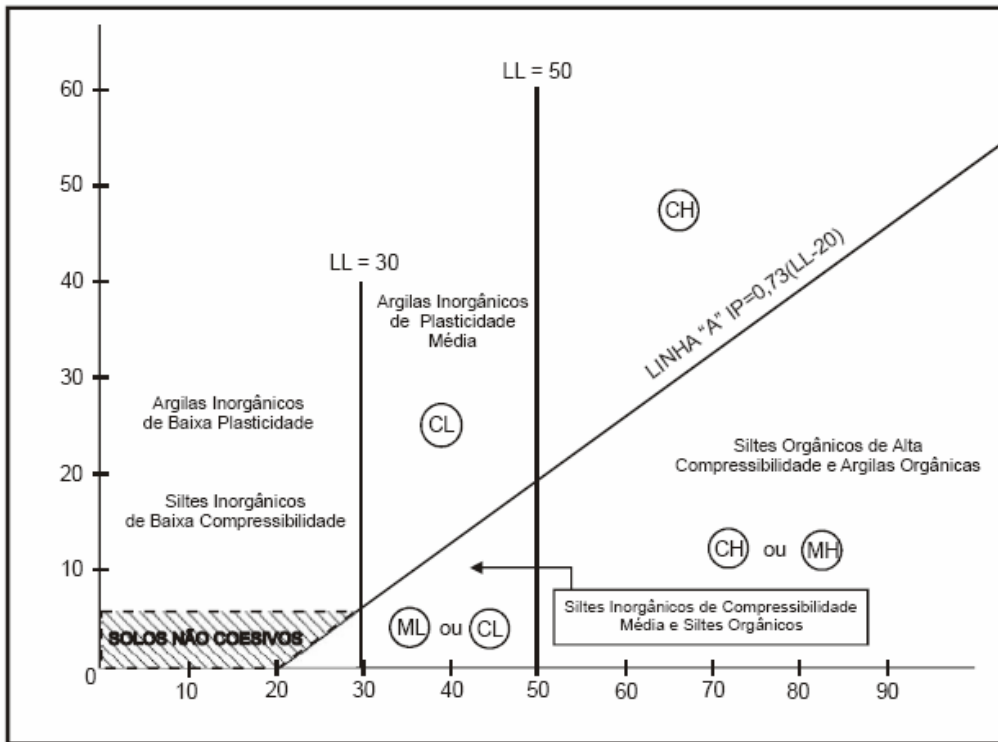
O solo, sendo material que ocorre na natureza nas mais diferente formas, para ser utilizado como fundação ou material de construção, necessita ser classificado de modo que se possam formular métodos de projetos baseados em algumas propriedades de cada grupo.

A maneira mais simples de classificar um solo, objetivando sua aplicação em trabalhos de pavimentação, é levar em conta a granulometria desse solo. Esse parâmetro, porém, não atende às finalidades decorrentes do uso do solo PARA pavimentação, pois não leva em conta, por exemplo, a plasticidade, fator de importância fundamental no estudo dos solos, quer como material de fundação quer como material a compor as camadas do pavimento.

Deste modo foram desenvolvidos vários sistemas de classificação, cada adequado a uma utilização dos solos ou a métodos de projeto.

□ Classificações Triangulares

Baseadas na granulometria do material de solo e apresentadas em forma de triângulos, nos quais são localizadas zonas identificadas com os diversos tipos.



Classificação USC – Sistema de classificação Unificada

❑ Classificação TRB (antigo HRB)

Os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função de sua granulometria, limites de consistência e do índice de grupo. Determina-se o grupo do solo, por processo de eliminação da esquerda para a direita, no quadro de classificação. O primeiro grupo a partir da esquerda, com o qual os valores do solo ensaiado coincidir, será a classificação correta.

Referente à granulometria, nos interessa a porcentagem que passa nas peneiras nº.10, 40 e 200.

Pela HRB, os solos são classificados em sete grupos: A-1; A-2; A-3; A-4; A-5; A-6 e A-7, sendo que o A-1; o A-2 e o A-7 são subdivididos.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Classificação dos solos HRB - Transportation Research Board

Os limites de separação entre os diversos fatores da classificação são os seguintes:

p = porcentagem que passa na peneira nº.200

$p \leq 35\%$ são solos A-1, A-2 e A-3;
 $p \geq 36\%$ são solos A-4, A-5, A-6 e A-7.

LL = limite de liquidez em %

$LL \leq 40\%$ são os solos A-1, A-2-4, A-2-6, A-3, A-4 e A-6;
 $LL \geq 41\%$ são solos A-2-5, A-2-7, A-5 e A-7.

IP = índice de plasticidade (IP = LL – LP)

$IP \leq 10$ são solos A-1, A-2-4, A-2-5, A-3, A-4 e A-5;
 $IP \geq 11$ são os solos A-2-6, A-2-7, A-6 e A-7.

$LL - 30 > IP$ solo A-7-5
 $LL - 30 < IP$ solo A-7-6

Os solos A-1-a, A-1-b e A-3 tem a classificação sempre subordinada aos resultados do ensaio de granulometria, levando-se em conta as porcentagens que passam nas peneiras nº. 10, 40 e 200.

Solos granulares ou de granulação grossa são os que contêm 35% ou menos de material passando na peneira nº. 200.

- Exemplo:

Amostra 1: $p = 52\%$ $LL = 62\%$ $IP = 18\%$

Segue-se o roteiro:

$p = 52\% > 36\%$ ficam eliminados os materiais granulares, solos A-1, A-2 e A-3;

$LL = 62\% > 40\%$ ficam eliminados os solos A-4 e A-6;

$IP = 18\% > 10\%$ fica eliminado o solo A-5.

O solo classifica-se como A-7.

É necessário distinguir entre A-7-5 e A-7-6.

$LL - 30 > IP$

$52 - 30 > 18\%$

$22\% > 18\%$

O solo é A-7-5

A seguir, são listadas as características dos solos de cada um dos grupos e subgrupos deste sistema de classificação, relacionadas à sua utilização em pavimentação.

- ✓ **Grupo A-1:** O material típico deste grupo é constituído de mistura bem graduada de fragmentos de pedra ou pedregulhos, areia grossa, areia fina e um aglutinante de solo não plástico ou fracamente plástico. No entanto, este grupo inclui também fragmentos de pedra, pedregulho, areia grossa, cinzas vulcânicas, etc., que não contêm aglutinantes de solo.
 - **Subgrupo A-1-a:** inclui os materiais contendo, principalmente, fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino bem graduado, funcionando como aglutinante.
 - **Subgrupo A-1-b:** inclui os materiais constituídos, principalmente, de areia grossa, com ou sem aglutinante de solo bem graduado.
- ✓ **Grupo A-2:** Este grupo inclui grande variedade de materiais que se situam entre os grupos A-1 e A-3 e também entre os materiais constituídos de mistura silte-argila dos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7. Inclui todos os solos com 35% ou menos passando na peneira nº. 200, mas que não podem ser classificados como A-1 ou A-3, devido ao teor de finos que contêm, ou a plasticidade, ou ambos excedendo os limites estabelecidos para os citados grupos.

- o **Subgrupos A-2-4 e A-2-5:** Incluem solo contendo 35% ou menos, passando na peneira nº.200, com uma porção menor retida na peneira nº.40, possuindo as características dos grupos A-4 ou A-5. Estes grupos abrangem os materiais tais como pedregulho e areia grossa, em que o teor de silte e o índice de plasticidade ultrapassam os limites estabelecidos para o Grupo A-1, e ainda areia fina com silte não plástico excedendo os limites do Grupo A-3.
 - o **Subgrupos A-2-6 e A-2-7:** Incluem solos semelhantes aos descritos nos subgrupos A-2-4 e A-2-5, exceção feita da porção de finos que contem argila plástica com características dos grupos A-6 ou A-7. Os efeitos combinados dos índices de plasticidade maiores que 10 e percentagem passando na peneira nº.200, maiores que 15, estão refletidos nos valores dos índices do grupo de 0 a 4.
- **Grupo A-3:** O material típico deste grupo é areia de praia ou de deserto, sem silte ou argila, ou possuindo pequena quantidade de silte não plástico. O grupo inclui também misturas de areia fina mal graduada e quantidades limitadas de areia grossa e pedregulho depositado pelas correntes.
 - **Grupo A-4:** O solo típico deste grupo é siltoso não plástico, ou moderadamente plástico, possuindo, geralmente, 5% ou mais passando na peneira nº. 200. Inclui também misturas de solo fino siltoso com até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº.200. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 8, as percentagens crescentes de material grosso, dando origem a valores decrescentes para os índices de grupo.
 - **Grupo A-5:** O solo típico deste grupo é semelhante ao que foi descrito no A-4, exceto que ele é, geralmente, de caráter diatomáceo ou micáceo, altamente elástico, conforme indica seu elevado limite de liquidez. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 12; esses valores crescentes revelam o efeito combinado do aumento dos limites de liquidez e das percentagens decrescentes de material grosso.
 - **Grupo A-6:** O solo deste grupo é argiloso, plástico, tendo, geralmente 75% ou mais de material passando na peneira nº.200. O grupo inclui também misturas de solos finos argilosos, podendo conter até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº.200. Os solos deste grupo comumente sofrem elevada mudança de volume entre os estados seco e úmido. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 16, esses valores crescentes mostram o efeito combinado do aumento dos índices de plasticidade e diminuição dos materiais grossos.
 - **Grupo A-7:** O solo típico deste grupo é semelhante ao descrito no grupo A-6, com a diferença que possui as características de alto limite de liquidez do grupo A-5, podendo ainda ser elástico e estar sujeito a elevada mudança de volume. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 20; este aumento indica o efeito combinado de crescimento dos limites de liquidez e dos índices de plasticidade, bem como a diminuição dos materiais grossos.

- ✓ **Subgrupo A-7-5:** Encerra materiais com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez, podendo ser altamente elástico e sujeito a elevadas mudanças de volume. Tem moderado índice de plasticidade.
- ✓ **Subgrupo A-7-6:** Inclui materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez, estando sujeitos a elevadas mudanças de volume.

Terminologia básica para os vários componentes dos solos

Pedras	acima de 3 polegadas (76 mm)
Cascalho grosso	entre 3" e 3/4" (76 e 19 mm)
Cascalho fino	entre 3/4" e a peneira nº 4 (19 e 4,76 mm)
Areia grossa	entre as peneiras n ^{OS} 4 e 10 (4,76 e 2 mm)
Areia média	entre as peneiras n ^{OS} 10 e 40 (2 e 0,43 mm)
Areia fina (limo ou mó)	entre as peneiras n ^{OS} 40 e 200 (0,42 e 0,075 mm)
Finos (silte e argila)	passando na peneira nº 200 (menor que 0,075 mm)

Escala granulométrica utilizada pelo SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos

Símbolos	Significado	
	inglês	português
G	gravel	cascalho (pedregulho)
S	sand	areia
C	clay	argila
W	well graded	bem graduado
P	poor graded	mal graduado
F	finer	finos (passando na peneira nº 200)
M	mo	mó ou limo (areia fina)
O	organic	matéria orgânica
L	low liquid limit	LL baixo
H	high liquid limit	LL alto
Pt	peat	turfa

Terminologia usada no SUCS

Grupo de solos

Simbolos dos Grupos	Significados dos Simbolos dos Grupos de Solos
GW	Cascalho bem graduado, cascalho e areia sem muitos finos
GP	Cascalho mal graduado, cascalho e areia sem muitos finos
GM	Cascalho siltoso com areia
GC	Cascalho argiloso com areia
SW	Areia bem graduada, com cascalho e sem muitos finos
SP	Areia mal graduada, com cascalho e sem muitos finos
SM	Areia siltosa, mistura de areia e silte ou limo
SC	Areia argilosa, mistura de areia e argila
ML	Material siltoso e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, ou siltes argilosos com baixa plasticidade
CL	Argilas magras, argilas de plasticidade baixa ou média, argilas com cascalho, areia ou silte
OL	Siltes orgânicos, argilosos ou não, com baixa plasticidade
MH	Siltes, limos, areia finas micáceas ou diatomáceas, solos siltosos, siltes elásticos
CH	Argilas gordas, de plasticidade média ou alta
OH	Argilas orgânicas de plasticidade média ou alta, siltes orgânicos
Pt	Turfa e outros solos altamente orgânicos

- ❑ Classificação de solos BPR – Bureau of Public Roads - livro pág. 197
- ❑ Metodologia MCT – Mini Compacto Tropical – livro pág. 212
- ❑ CBR – California Bearing Radio
ISC – Índice Suporte Califórnia

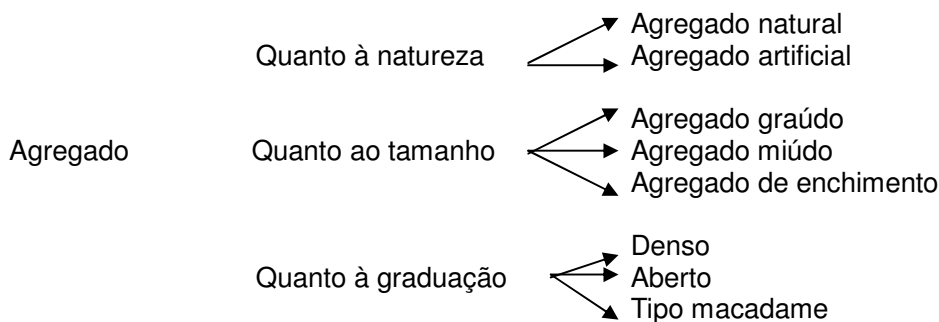
3 MATERIAIS PÉTREOS

Os materiais pétreos usados em pavimentação são normalmente conhecidos sob denominação genérica de AGREGADOS.

- Podem ser NATURAIS ou ARTIFICIAIS.
 - ✓ Naturais: aqueles utilizados como se encontram na natureza. Ex.: pedregulho, os seixos rolados, etc.
 - ✓ Artificiais: os que necessitam uma transformação física e química do material para sua utilização. Ex.: escória e a argila expandida.

3.1 Classificação

Os agregados usados em pavimentação podem ser classificados segundo a natureza, tamanhos e distribuição dos grãos.



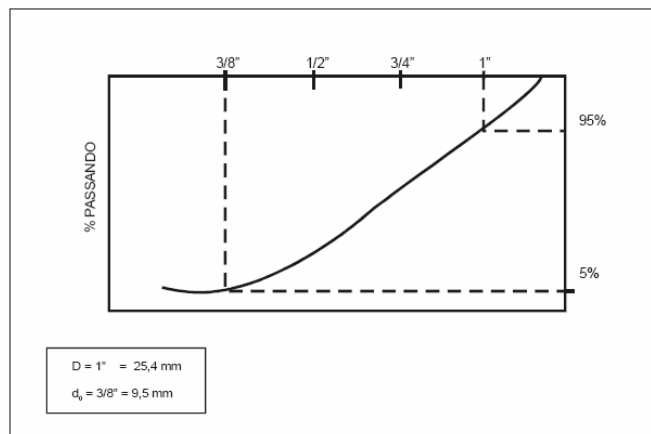
- Quanto à NATUREZA das partículas:
 - ✓ Agregados naturais são constituídos de grãos oriundos da alteração das rochas pelos processos de intemperismo ou produzidos por processos de britagem: pedregulhos, seixos, britas, areias, etc.
 - ✓ Agregados artificiais são aqueles em que os grãos são produtos ou subprodutos de processo industrial por transformação física e química do material: escória de alto forno, argila calcinada, argila expandida.
- Quanto ao TAMANHO dos grãos:
 - ✓ **Agregado graúdo** é o material retido na peneira nº 10 (2,0mm): britas, cascalhos, seixos, etc.
 - ✓ **Agregado miúdo** é o material que passa na peneira nº 10 (2,0mm) e fica retido na peneira nº 200 (0,075mm): pó-de-pedra, areia, etc.

- ✓ **Agregado de enchimento ou material de enchimento** (filler) é o que passa pelo menos 65% na peneira nº 200 (0,075mm): cal extinta, cimento Portland, pó de chaminé, etc.
- Quanto à DISTRIBUIÇÃO ou GRADUAÇÃO dos grãos:
 - ✓ **Agregado de graduação densa** é aquele que apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínuo, com quantidade de material fino, suficiente para preencher os vazios entre as partículas maiores.
 - ✓ **Agregado de graduação aberta** é aquele que apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínuo, com insuficiência de material fino, para preencher os vazios entre as partículas maiores.
 - ✓ **Agregado tipo macadame** é aquele que possui partículas de um único tamanho, o chamado (one size aggregate). Trata-se, portanto, de um agregado de granulometria uniforme onde o diâmetro máximo é, aproximadamente, o dobro do diâmetro mínimo.

O **DIÂMETRO MÁXIMO** de um agregado é a abertura da malha da menor peneira na qual passam, no mínimo, 95% do material.

O **DIÂMETRO MÍNIMO** é a abertura da malha da maior peneira na qual passam, no máximo, 5% do material.

- A figura a seguir apresenta a curva granulométrica dos agregados:



Os agregados necessitam muitas vezes de uma operação de aperfeiçoamento para sua utilização, como a pedra britada e o pó-de-pedra. Daí as seguintes definições serem consideradas:

- ✓ **Pedra afeiçãoada:** é a pedra bruta trabalhada para determinados fins específicos, tais como: pedra para paralelepípedos, para meios-fios, etc.
- ✓ **Pedra marroada:** é a pedra bruta fragmentada por meio de marrão e com dimensões tais que possa ser manuseada.

- ✓ **Pedra não marroada:** é uma porção de rocha não trabalhada, ou seja, rocha bruta.
- ✓ **Brita:** é o material resultante da britagem de pedra, escória de alto forno, etc.
- ✓ **Brita classificada ou graduada:** é a brita obedecendo a determinados limites de diâmetro.
- ✓ **Brita corrida:** é o resultante da britagem, sem haver qualquer processo de separação granulométrica.
- ✓ **Pedrisco:** é o material proveniente de britagem da pedra e com diâmetro compreendido entre 6,4mm e 2,0mm.
- ✓ **Pó-de-pedra:** é o produto da britagem, com diâmetro das partículas menores que 2,0mm.

3.2 Características Tecnológicas

As características tecnológicas de um agregado servem para assegurar uma fácil distinção de materiais, de modo a se poder comprovar sua uniformidade, bem como a escolha de um material que resista, de forma adequada, as cargas que o PAVIMENTO irá suportar.

As características dos agregados que devem ser levadas em conta nos serviços de PAVIMENTAÇÃO, são as seguintes:

- Granulometria
- Forma
- Absorção de água
- Resistência ao choque e ao desgaste
- Durabilidade
- Limpeza
- Adesividade
- Massa específica aparente
- Densidade real e aparente do grão

- GRANULOMETRIA DO AGREGADO

- ✓ Representada pela curva de distribuição granulométrica, é uma das características que asseguram estabilidade aos pavimentos, em consequência do maior atrito interno obtido por entrosamento das partículas, desde a mais graúda à partícula mais fina.

- FORMA PREDOMINANTE

- ✓ É avaliada por um índice, denominado Índice de Forma, cuja determinação se faz por meio de ensaio específico, normalizado pelo DNER.
- ✓ Na construção de revestimentos asfálticos do tipo tratamento superficial é importante que a maioria dos agregados empregados tenha a forma cúbica.
- ✓ No caso de revestimento por mistura admitem-se agregados com formas lamelares ou alongados.

- POROSIDADE DO AGREGADO

- ✓ É avaliada por intermédio de ensaios de absorção de água.
- ✓ Indica a quantidade de água que um agregado é capaz de absorver.
- ✓ É determinada em função da diferença de pesos, expressos em percentagem, observados em uma amostra que, inicialmente é mergulhada em água por 24 horas e depois seca em estufa a 100°C – 110°C, até constância de peso.

- RESISTÊNCIA AO CHOQUE E AO DESGASTE

- ✓ Está associada à ação do tráfego ou aos movimentos recíprocos das diversas partículas.
- ✓ A resistência ao choque é avaliada pelo ensaio Treton e a resistência ao desgaste pelo ensaio Los Angeles, ambos normalizados pelo DNER.

- DURABILIDADE

- ✓ Está relacionada a resistência ao intemperismo. É avaliada por meio de um ensaio em que o agregado é submetido ao ataque de uma solução padronizada de sulfatos de sódio ou magnésio.
- ✓ Os agregados para serem usados na pavimentação betuminosa devem ser isentos de substâncias nocivas, tais como argila, matéria orgânica, etc., caracterizando, assim, a limpeza do agregado.

- Bibliografia:

Manual de Técnicas de Pavimentação – Volume I – Wlastermiler de Senço, PINI.

DNIT – Manual de pavimentação 3 ed. – 2006.

Internet.