



PROGRAMA
ASFALTO
NA UNIVERSIDADE

Bloco 7

Materiais e Soluções de Pavimentação Asfáltica

Tipos de Pavimentos



Tradicionalmente, tem sido classificado os pavimentos segundo a rigidez do conjunto em:

- Rígidos (pav de concreto de cimento)
- Semi-rígidos (Pav asfálticos com camada de base ou sub-base cimentada)
- Flexíveis (pavimentos asfálticos assentes sobre camadas granulares e solos)

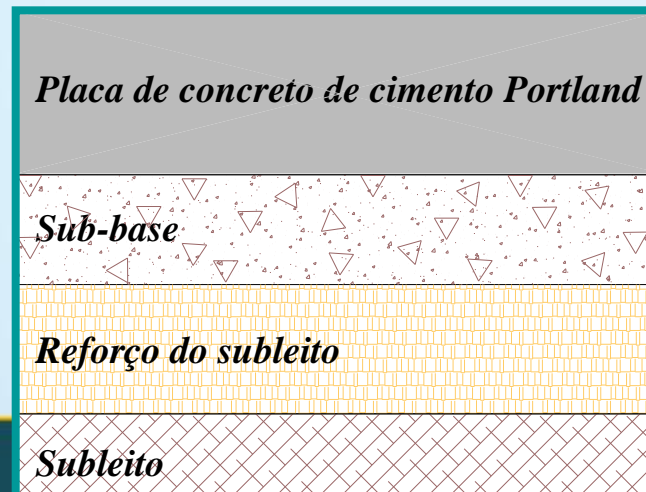
Tipos de Pavimentos



Bases dos Pavimentos Rígidos ou de Concreto de Cimento

o revestimento de placa de concreto faz também o papel de base.

A camada de sub-base pode ser granular ou cimentada, dependendo do projeto. Há ainda o uso em alguns países de sub-bases de misturas asfálticas. Eventualmente, é desnecessária a camada de reforço do subleito.



As camadas de Base, Sub-base e Reforço do Subleito podem ser granulares ou solos:

- Brita graduada simples
- Macadame hidráulico
- Macadame a seco
- Material granular (estabilizado mecanicamente)
- Solo-agregado
- Solo
- Solo melhorado com cimento (baixa porcentagem de cimento)

Macadame Hidráulico



Distribuição da primeira camada

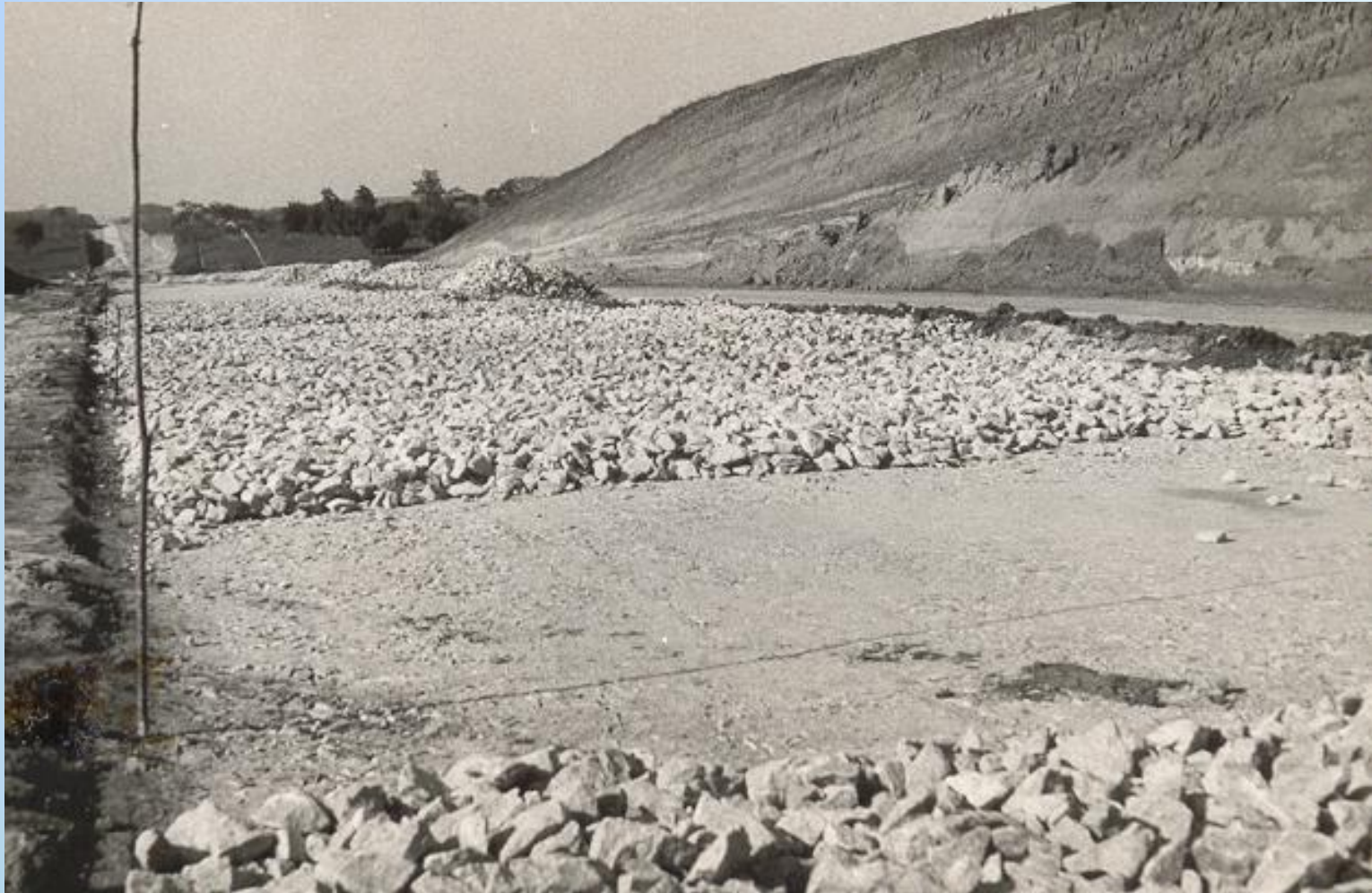


Foto: Job S. Nogami

Macadame Seco



- Materiais similares ao macadame hidráulico, porém sem o uso da água.



Brita Graduada Simples



**Brita graduada simples
(sigla: BGS)**



**Bica corrida
(material granular
similar à BGS, com
menor controle de
gradação)**

Solo-Agregado



- Materiais podem ser misturados em usinas, ou em pista com pá carregadeira, e homogeneizados com arados ou grade de discos.
- Compactados por rolo liso ou pé-de-carneiro, dependendo do tipo de solo e de sua porcentagem na mistura.



Pilhas de britas para serem adicionadas a solo em pista

Solo-Agregado



Mistura em pista



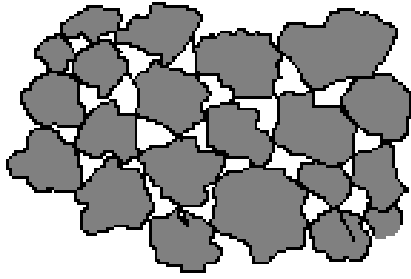
Solo-areia

Foto: Paulo Serra

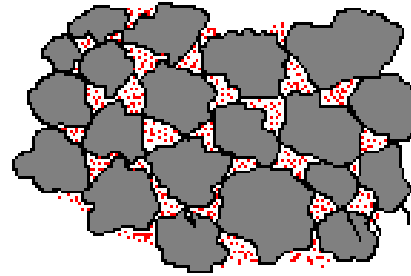


Solo-brita

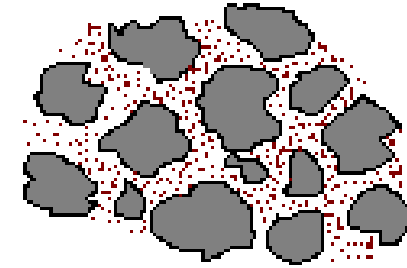
Solo-Agregado



(a)



(b)



(c)

- (a) Contato grão-grão; baixa densidade, permeável, não susceptível a mudanças com a umidade; compactação em geral difícil.
- (b) Finos preenchem os vazios, proporcionando alta densidade, permeabilidade mais baixa que o do tipo (a), contato grão-grão ainda caracterizado, mais resistente em geral que o tipo (a), menor deformabilidade; moderadamente difícil de compactar. Este tipo de material pode ser conhecido por **misturas estabilizadas mecanicamente** ou granulometricamente, formando misturas bem-graduadas.
- (c) Matriz de finos, não se garante contato grão-grão devido ao excesso de finos; “densidade” mais baixa em geral que o tipo (b), permeabilidade inferior ao tipo (b), podendo ser mesmo impermeável, dependendo da natureza dos finos; a mistura é afetada por variações de umidade; facilidade na compactação.

Solo-Agregado (solo-brita)



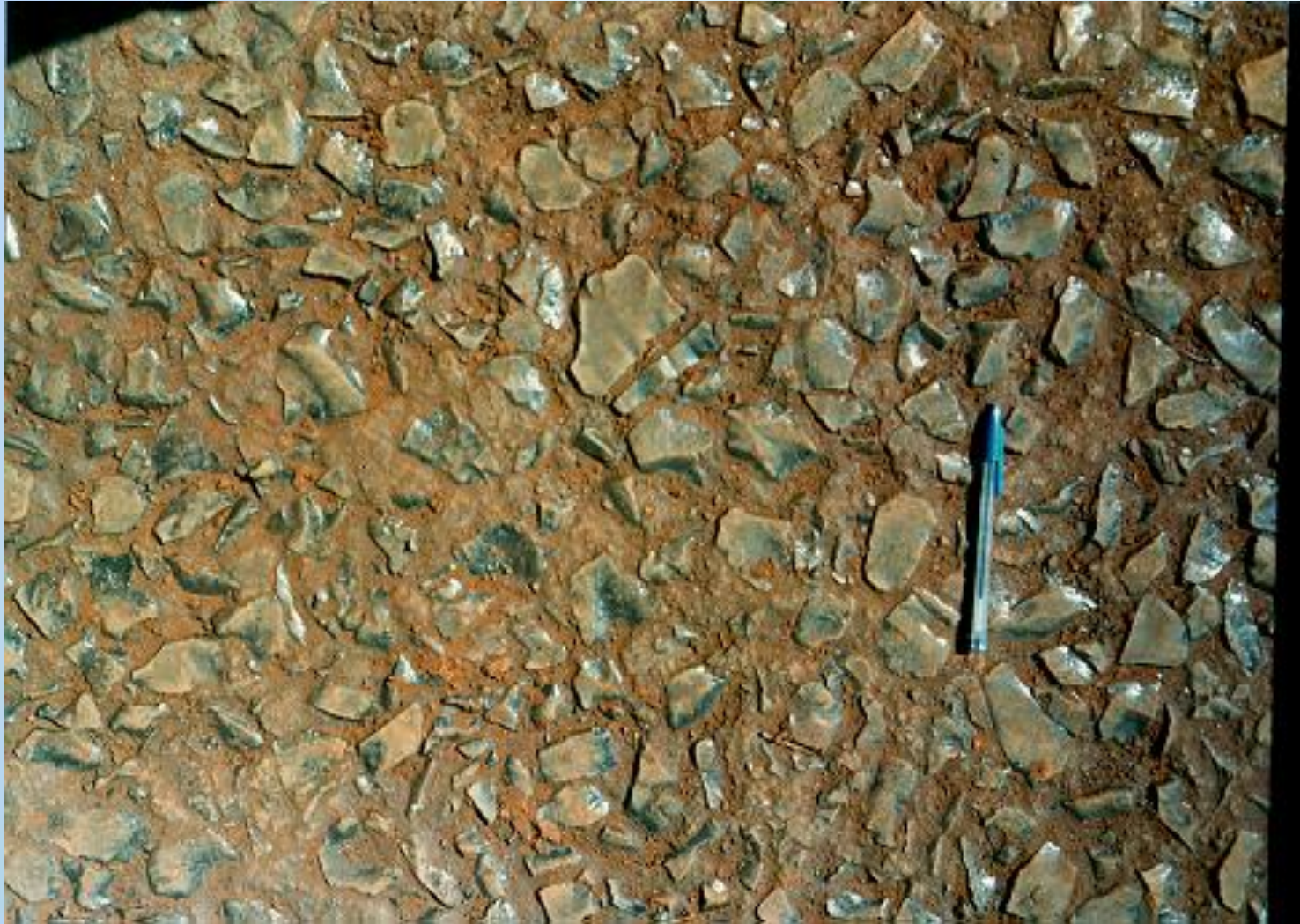
Solo-Agregado



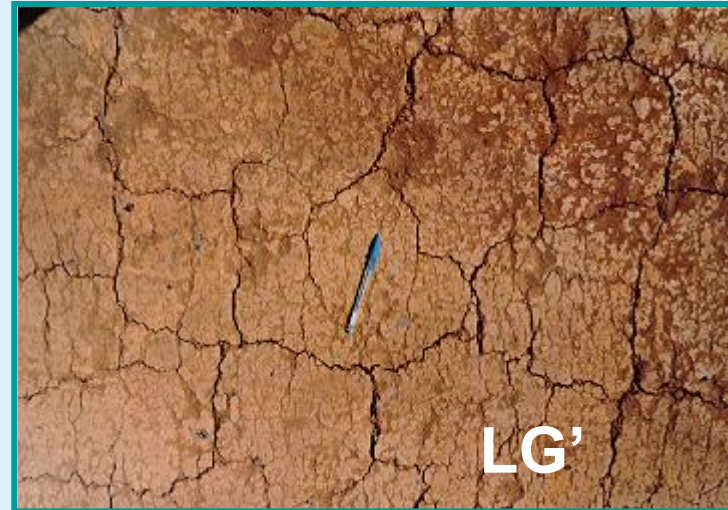
Base de solo-brita
tipo (c)



Cravamento de agregados na superfície:



Solo Arenoso Fino Laterítico



Camadas compactadas de solos Lateríticos:

- perda de umidade causa trincamento
- Quanto mais argiloso, camadas mais trincadas

Fotos: Douglas Villibor

Laterita

Lateritas são concreções, formando agregados de natureza laterítica. Ocorrem na natureza geralmente misturadas com finos compondo um solo-agregado descontínuo (solo + pedregulho ou pedra, com pouca fração areia)



Outros Materiais Granulares



Rachão são agregados de grande dimensão empregados principalmente como recurso de aumento da capacidade de suporte de subleitos.



Rachão

Outros Materiais Granulares



Os agregados reciclados de resíduo sólido de construção civil são materiais resultantes da seleção e britagem de “entulho” da construção e demolição. Podem ser empregados como camada de reforço do subleito, sub-base e em algumas situações como base de pavimentos.



Agregados reciclados

Outros Materiais Granulares

Os agregados reciclados de resíduo sólido de construção civil cimentícios (menor absorção que os cerâmicos e maior resistência).



Resíduo de placas de concreto



Britagem de resíduo de concreto



Agregados reciclados

Tipos de agregados reciclados

Agregado reciclado de concreto / argamassa



Agregado reciclado misto (vermelho)

Tipos de agregados reciclados

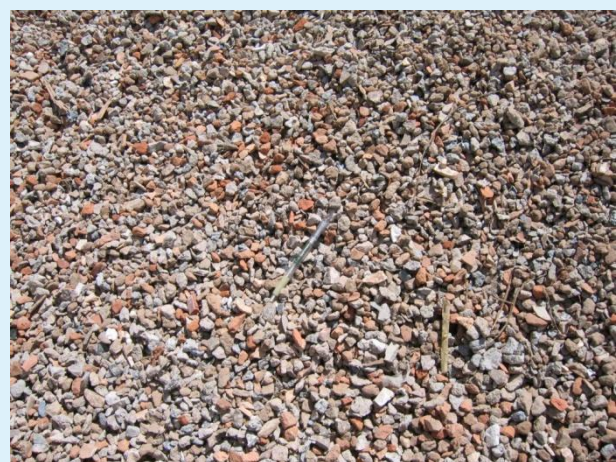
Rachão



Pedra 2 a 3



Pedra 1



Pedrisco



Areia



Bica corrida



Caracterização física do agregado reciclado



Teor de materiais indesejáveis

Gesso



Madeira



Plástico



Estudo de caso – USP Leste – Pavimento Ecológico



- Base e Sub-Base de agregado reciclado de RCD



- **Controle tecnológico dos materiais**
 - **Falling Weight Deflectometer (FWD)**
 - * **Deflectômetro de impacto**
 - * **Bacias de deflexão (7 pontos de afastamento da carga)**



Estudo de caso – USP Leste – Pavimento Ecológico



• Retroanálises

➤ ELSYM5

Segmento homogêneo	Camada	Material	M_R [MPa]
1	base	BGS	336
	sub-base	Agregado reciclado	316
2	base	Agregado reciclado	333
	sub-base		294
3	base	Agregado reciclado	255
	sub-base		238
4	base	Agregado reciclado	336
	sub-base		314

Outros Materiais Granulares



Escória são resíduos da fabricação do ferro (escória de alto-forno) ou do aço (escória de aciaria). Podem ser empregados como agregados, sendo que as de aciaria podem ser expansivas, dependendo do tempo de estocagem deste materiais.



Escória de aciaria

Materiais Cimentados ou rígidos ou estabilizados quimicamente



- Brita graduada tratada com cimento
- Solo-cimento
- Solo-cal
- Solo-cal-cimento
- Solo-brita com cimento
- Concreto rolado (concreto compactado a rolo)

Solo-Cimento

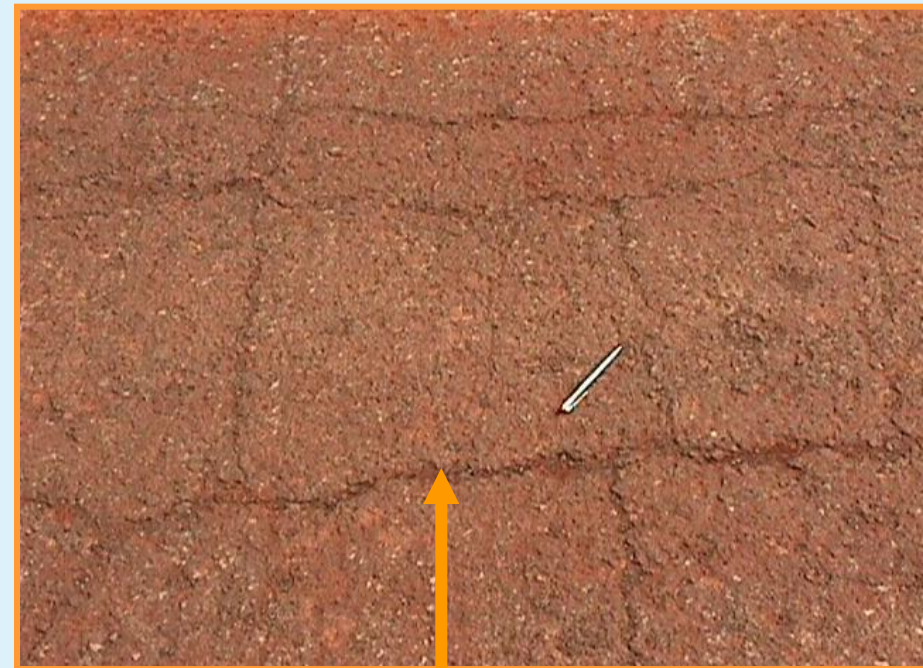


Solo-cimento

Solo Arenoso Fino com Cal



Mistura de cal a solo em pista



Base de solo-cal trincada pela retração

Solo-Brita-Cimento



Caminhão dosador de cimento



Cimento sobre a camada de solo-brira

Solo-Brita-Cimento



Recicladora para misturar cimento à camada de solo-brira e Caminhão pipa para adicionar água

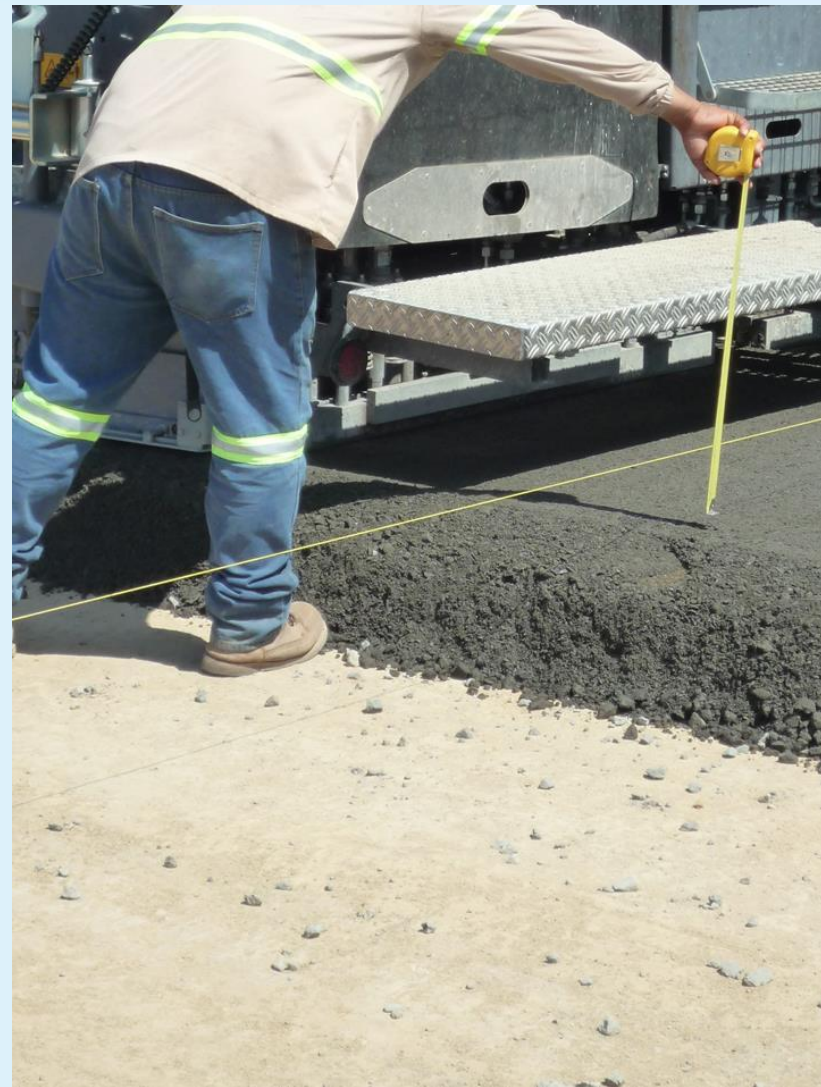


Detalhe da recicladora



Compactação após mistura

Brita Graduada Tratada com Cimento



**Transporte com
caminhões e
distribuição na pista
com vibroacabadora**

Brita Graduada Tratada com Cimento



Compactação da
BGTC



Camada logo após a
compactação



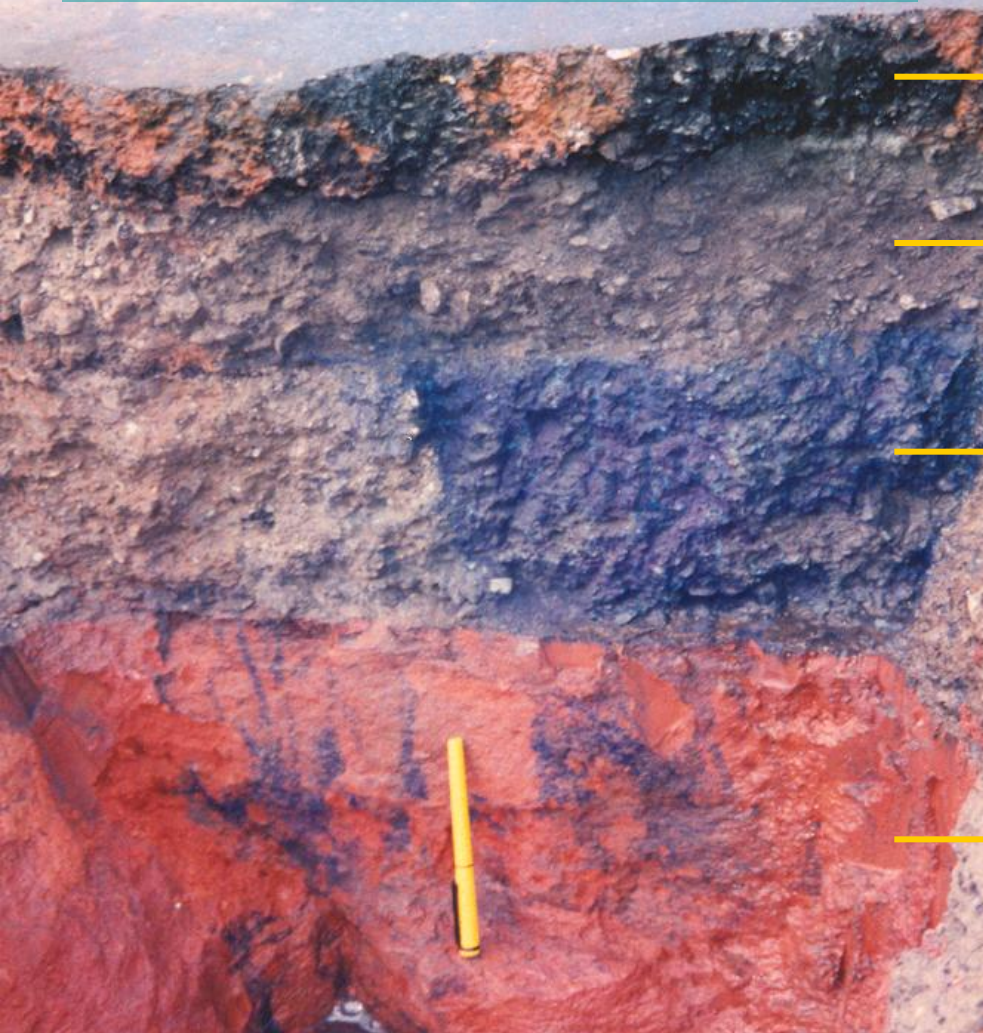
**Brita graduada tratada
com cimento (BGTC)**

**Brita graduada
simples (BGS)**

Brita Graduada Tratada com Cimento



Pavimento “invertido” semi-rígido



Revestimento asfáltico

BGS

BGTC

Solo Arenoso Fino Laterítico

Concreto Compactado a Rolo

O CCR transportado por caminhões basculantes deverá ser protegido por lona, que só será retirada no momento da descarga



Azevedo, Felix e Ricci, 2009

COMPACTAÇÃO do CCR



Executada pelo rolo vibratório

**Duas primeiras passadas:
Sem vibração**

**Demais:
Vibração com amplitude tal que garanta o grau de compactação especificado em projeto.**



Azevedo, Felix e Ricci, 2009

CURA do CCR



- O CCR executado deverá ser protegido contra a evaporação de água.
- Aspersão de água sobre a superfície com caminhão pipa
- Proteção mais comum : Imprimação betuminosa, executada por caminhão espargidor, com taxa de aplicação de 0,80 l/m² a 1,20 l/m², aplicada imediatamente após a conclusão da compactação.



Azevedo, Felix e Ricci, 2009

Solo -asfalto



- Base de pavimento de solo- emulsão após mais de 20 anos de uso, revestido de TS estrada estadual RJ

Relatório Fotográfico da Visita Técnica realizada na RJ 148



Foto 17 - Desgaste do revestimento nas curvas



Foto 18 - Desgaste do revestimento nas curvas



DOSAGEM SOLO-EMULSÃO

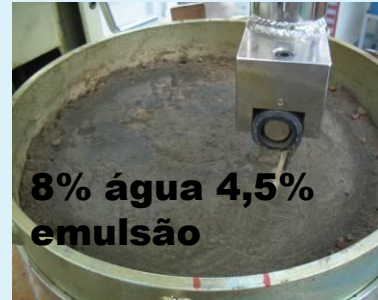


AÇÃO DA IMERSÃO



Walter Sant'Anna, 2009

DOSAGEM SOLO-EMULSÃO



WTAT



sem emulsão

com emulsão

Walter Sant'Anna, 2009

Etapas Construtivas



► **Umedecimento da base compactada** ► **Escarificação de 5cm**

Walter Sant'Anna, 2009

Etapas Construtivas



➤ **Reumedecimento da base compactada**

➤ **Homogeneização com grade de discos**

Walter Sant'Anna, 2009

Etapas Construtivas



➤ **Aplicação de emulsão**

➤ **Homogenização com grade de discos**

Walter Sant'Anna, 2009

Etapas Construtivas



➤ **Regularização da camada**

➤ **compactação**

Walter Sant'Anna, 2009

Alguns equipamentos usados na construção das camadas de solo



Alguns equipamentos usados na construção das camadas de solo



Rolo pé de carneiro



Construção: base brita (ex.)



Exemplo de construção de base



Alguns equipamentos usados na construção das camadas de solo



Soluções de Pavimentação



Com o objetivo de mostrar algumas aplicações dos materiais de base, sub-base e reforço do subleito, algumas estruturas-tipo são ilustradas como possíveis combinações de materiais e revestimentos.

A classificação de tráfego é apenas indicativa.

Para simplificação de designações serão empregados os termos genéricos :

- Muito Pesado para tráfego com $N \geq 10^8$ repetições de carga do eixo padrão;
- Pesado para tráfego com $10^7 \leq N < 10^8$ repetições de carga do eixo padrão;
- Médio para tráfego com $10^6 \leq N < 10^7$ repetições de carga do eixo padrão
- Baixo volume de tráfego $N < 10^6$ repetições de carga do eixo padrão

Soluções de Pavimentação



As espessuras dependem de projeto de dimensionamento e são tipicamente as seguintes:

- Revestimentos asfálticos de milímetros (tratamentos superficiais) a dezenas de centímetros (Vide Bloco 4)
- Placas de concreto de cimento Portland simples em geral de 17 a 25 cm
- Camadas de materiais granulares e solo da ordem de 10 a 20 cm
- Camadas de materiais cimentados como solo-cimento e solo-cal em geral de 15 a 20 cm
- Camadas de concreto rolado de 10 a 20 cm

Pavimentos Flexíveis



- Vias de tráfego médio ou pesado

Revest. Asfáltico (rolamento): **CA (concreto asf.)** ou **SMA (stone matrix asphalt)**

Revest. Asf. (intermediária): **CA (concreto asf.)** ou **PMQ (pré-misturado a quente)**

Base: **brita graduada simples**

Sub-base: **solo-brita** ou **brita graduada simples**

Reforço do subleito: **solo laterítico**

Subleito

Pavimentos Flexíveis



- Vias de tráfego pesado com solução de aumento de aderência pneu-pavimento

Revestimento asfáltico: **CPA-camada porosa de atrito**

Revestimento asfáltico: **CA-concreto asfáltico**

Revestimento asfáltico (intermediária): **CA ou PMQ**

Base: **brita graduada simples**

Sub-base: **solo-brita ou brita graduada simples**

Reforço do subleito: **solo laterítico**

Subleito

Pavimentos Flexíveis



- Vias de tráfego médio ou pesado

Revestimento asfáltico: **CA ou SMA**

Base: **brita graduada simples**

Sub-base: **brita graduada simples**

Reforço do subleito: **solo-brita ou solo laterítico**

Subleito

Pavimentos Flexíveis



- Vias de tráfego médio ou baixo volume de tráfego

Revestimento asfáltico: **tratamento superficial**

Base: **laterita**

Reforço do subleito: **solo selecionado**

Subleito

Pavimentos Flexíveis



- Vias de tráfego médio ou baixo volume de tráfego

Revestimento asfáltico: **areia asfalto a quente**

Base: **laterita**

Reforço do subleito: **laterita**

Subleito

Pavimentos Flexíveis



- Vias de tráfego médio ou baixo volume de tráfego

Revestimento asfáltico: **tratamento superficial**

Base: **solo-brita**

Reforço do subleito: **solo selecionado**

Subleito

Pavimentos Flexíveis



- Vias de baixo volume de tráfego

Revestimento asfáltico: **tratamento superficial**

Base: **solo arenoso fino laterítico**

Reforço do subleito: **solo arenoso fino laterítico**

Subleito

Pavimentos Flexíveis



- Vias de baixo volume de tráfego

Revestimento asfáltico: **tratamento superficial**

Base: **solo arenoso fino laterítico**

Subleito

Pavimentos Flexíveis



- Vias de tráfego médio ou baixo volume de tráfego

Revestimento asfáltico: **CA**

Base: **brita graduada simples**

Sub-base: **agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil**

Subleito

Pavimentos Semi-Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Revest. asf.: **CA ou mistura asfáltica descontínua (Gap-graded, BBTM ou SMA)**

Revestimento asfáltico (intermediária): **CA ou PMQ**

Base: **brita graduada tratada com cimento**

Sub-base: **brita graduada simples ou solo-brita**

Reforço do subleito: **solo laterítico**

Subleito

Pavimentos Semi-Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Revestimento asfáltico: **CA ou mistura asfáltica descontínua**

Revestimento asfáltico (intermediária): **CA ou PMQ**

Base: **solo-brita com cimento**

Sub-base: **solo-brita**

Reforço do subleito: **solo laterítico**

Subleito

Pavimentos Semi-Rígidos Invertidos



- Vias de tráfego pesado

Revestimento asfáltico: **CA ou mistura asfáltica descontínua**

Revestimento asfáltico (intermediária): **CA ou PMQ**

Base: **brita graduada simples**

Sub-base: **brita graduada tratada com cimento**

Reforço do subleito: **solo laterítico**

Subleito

Pavimentos Semi-Rígidos Invertidos



- Vias de tráfego médio ou pesado

Revestimento asfáltico: **CA** ou **mistura asfáltica descontínua**

Revestimento asfáltico (intermediária): **CA** ou **PMQ**

Base: **brita graduada simples**

Sub-base: **solo-cimento**

Reforço do subleito: **solo laterítico**

Subleito

Pavimentos Semi-Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Revestimento asfáltico: **CA ou mistura asfáltica descontínua**

Revestimento asfáltico (intermediária): **CA ou PMQ**

Base: **concreto compactado a rolo**

Sub-base: **brita graduada simples ou solo-brita**

Reforço do subleito: **solo laterítico**

Subleito

Pavimentos Semi-Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Revestimento asfáltico: **CA ou mistura asfáltica descontínua**

Revestimento asfáltico (intermediária): **CA ou PMQ**

Base: **concreto compactado a rolo**

Reforço do subleito: **brita graduada simples**

Subleito

Pavimentos Semi-Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Revestimento asfáltico: **CA** ou **mistura asfáltica descontínua**

Base: **concreto compactado a rolo**

Sub-base: **brita graduada simples ou solo-brita**

Reforço do subleito: **solo selecionado**

Subleito

Pavimentos Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Concreto de cimento Portland

Sub-base: **brita graduada simples ou solo-brita**

Reforço do subleito: **solo laterítico**

Subleito

Pavimentos Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Concreto de cimento Portland

Sub-base: **solo-cimento**

Reforço do subleito: **solo selecionado**

Subleito

Pavimentos Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Concreto de cimento Portland

Sub-base: **brita graduada tratada com cimento**

Reforço do subleito: **solo selecionado**

Subleito

Pavimentos Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Concreto de cimento Portland

Concreto compactado a rolo

Sub-base: brita graduada simples

Reforço do subleito: solo selecionado

Subleito

Pavimentos Rígidos



- Vias de tráfego pesado

Concreto de cimento Portland

Concreto compactado a rolo

Sub-base: brita graduada simples

Subleito

Exercício



Faça a concepção de uma estrutura de pavimentos para uma dada situação, sabendo que a sua disposição encontram-se:

- Possíveis limitações de materiais disponíveis na região e para o subleito.
- Para as condições climáticas preponderantes.
- Para o tráfego que utilizará este pavimento.

Situação-Exemplo 1



- Uma estrada no interior do Mato Grosso com:
 - ✓ *laterita à disposição de alta qualidade;*
 - ✓ *brita, porém a um alto custo;*
 - ✓ *solo de boa qualidade laterítico;*
 - ✓ *asfalto e emulsão.*
- Para as condições climáticas de intenso calor e períodos longos de chuvas.
- Para o tráfego de caminhões carregados e muito pesados na safra da soja.

Pavimentos Flexíveis – exercício 1



- Vias de tráfego médio ou baixo volume de tráfego
- Caminhões pesados no interior do Mato-Grosso

Revestimento asfáltico: **tratamento superficial**

Base: **laterita**

Reforço do subleito: **solo selecionado laterítico**

Subleito

Situação-Exemplo 2



- Uma estrada de tráfego pesado no Estado de São Paulo com:
 - ✓ *Cimento, cal;*
 - ✓ *brita;*
 - ✓ *solo parcialmente laterizado;*
 - ✓ *Asfalto, emulsão, asfalto diluído.*
- Para as condições climáticas de calor úmido e inverno seco.
- Para o tráfego de caminhões carregados e muito pesados, alto volume de tráfego.

Pavimentos semi-rígido

Exercício 2



- Vias de tráfego pesado – estado de São Paulo

Revest. Asfáltico (rolamento): **CA (concreto asf.)** ou **SMA (stone matrix asphalt)**

Revest. Asf. (intermediária): **CA (concreto asf.)** ou **PMQ (pré-misturado a quente)**

Base: **brita graduada simples**

Sub-base: **brita graduada simples** Ou
brita graduada tratada com cimento

Reforço do subleito: **solo parcialmente laterítico**

Subleito

Pavimentos Semi-rígidos

Exercício 2



- Vias de tráfego pesado com solução de aumento de aderência pneu-pavimento

Revestimento asfáltico: **CPA-camada porosa de atrito**

Revestimento asfáltico: **CA-concreto asfáltico**

Revestimento asfáltico (intermediária): **CA ou PMQ**

Base: **brita graduada tratada com cimento**

Sub-base: **solo-brita ou brita graduada simples**

Reforço do subleito: **soloparcialmente laterítico**

Subleito

Pavimentos Flexíveis

Exercício 3



- Vias de tráfego médio

Revestimento asfáltico: **CA**

Base: **brita graduada simples**

Reforço do subleito: **solo-brita ou solo laterítico**

Subleito