



**FATEC – SP**

**Faculdade de Tecnologia de São Paulo**

*Departamento de Transportes e Obras de Terra*

**JOÃO PAULO DA SILVA DOURADO**

**UTILIZAÇÃO DE PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO**

**SÃO PAULO  
2015**

**JOÃO PAULO DA SILVA DOURADO**

**UTILIZAÇÃO DE PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Tecnólogo em Construção Civil na Modalidade de Movimento de Terra e Pavimentação.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Leila Meneghetti

**SÃO PAULO**  
**2015**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a Deus por me conceder a sua benção e sabedoria.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças e guiado os meus passos e iluminado o meu caminho para chegar até esse momento tão importante.

Minha família, minha mãe Maria Antonia, meu pai Oscar e minhas irmãs Janaina e Patricia que sempre se mostraram presente em todos os momentos ao meu lado me sustentando e incentivando a sempre buscar o melhor. A minha namorada Suellen por todo o carinho e compreensão.

A Faculdade de Tecnologia de São Paulo, especialmente ao Departamento de Transporte e Obras de Terra.

Meus sinceros agradecimentos a Prof<sup>a</sup>. Leila Meneghetti, que com sabedoria orientou para o sucesso e conclusão desta pesquisa.

A todos os professores que contribuíram ao longo do curso passando informações de grande valor, tanto para o trabalho quanto para a vida profissional.

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso estuda a Utilização de Pavimento de Baixo Custo. A condição para o uso desse pavimento é a aplicação de solos lateríticos de granulação fina ou misturas com agregados como material para bases naturais, ou com misturas com agregados, e a sua ocorrência em áreas próximas as obras, em condições ambientais satisfatórios. Deve-se utilizar também revestimento betuminoso usinado a quente com espessura de no máximo 3 cm, de modo a atender os tráfegos urbano (muito leve e leve) e rodoviário (com  $N < 5 \times 10^6$  solicitações do eixo simples padrão de 80 KN). A conclusão é de que a adoção de pavimentos com solos lateríticos para vias de tráfego muito leve e leve é extremamente interessante e vantajosa, pois em comparação com os métodos convencionais possibilita a execução de praticamente o dobro da área pavimentada com os mesmos recursos financeiros, simplesmente fazendo a troca das bases convencionais por bases com solos lateríticos.

palavra-chave: solos lateríticos, pavimento de baixo custo, revestimento betuminoso, vias de tráfego

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ocorrências de solos arenosos e argilosos de comportamento laterítico.....	3
Figura 2.2 - Horizontes e a gênese das camadas do solo tropical.....	4
Figura 2.3 - Perfil de solo mostrando os horizontes A, B e C.....	5
Figura 3.1 - Ensaio da Metodologia MCT Mini CBR.....	9
Figura 3.2 - Ensaio de CBR e Mini CBR para a obtenção da Expansão.....	10
Figura 3.3 - Ensaio de Contração montagem do croqui.....	11
Figura 3.4 - Ensaio de Permeabilidade montagem do croqui.....	13
Figura 4.1 - Atividades envolvidas nos Estudos Geotécnicos.....	14
Figura 4.2 - Propriedade Típicas dos Solos dos Grupos da MCT.....	15
Figura 4.3 - Perfil Geotécnicos do Subleito de uma Via Urbana.....	19
Figura 4.4 - Perfil Geotécnico de uma Jazida.....	20
Figura 5.2 - Etapas construtivas de Bases de SALF.....	27
Figura 5.3 - Cidades com Pavimentos de Bases de ALA.....	28
Figura 5.4 - Mistura de Argila e Areia com Pá Carregadeira.....	29
Figura 5.5 - Etapas construtivas de Bases de ALA.....	30
Figura 5.6 - Cidades com pavimentos de Bases de SLAD.....	32
Figura 5.7 - Etapas construtivas de Bases de SLAD e aspecto de sua superfície.....	33
Figura 5.8 - Cidades com pavimentos de Bases de Argila Laterítica.....	35
Figura 5.9 - Faixa Granulométrica utilizada para Bases de Argila Laterítica.....	36
Figura 5.10 - Etapas construtivas de Bases de Argila laterítica.....	38
Figura 6.1 - Etapas de aplicação da Imprimaduras Asfálticas.....	43
Figura 6.2 - Etapas executiva da Camada de Revestimento Betuminosa.....	44
Figura 8.1 - Composição de Custos de diferentes tipos de pavimentos.....	50
Figura 8.2 - Incidência do custo do revestimento nos custos da pavimentação.....	50
Figura 8.3 - Relação entre custos de pavimentos com bases de SAFL e Macadame Hidráulico.....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	OBJETIVO.....	1
1.2	JUSTIFICATIVA.....	1
1.3	METODOLOGIA .....	2
<b>2</b>	<b>PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO</b> .....	<b>3</b>
2.1	HISTÓRICO .....	3
2.2	DEFINIÇÕES .....	4
2.2.1	SOLOS .....	4
2.2.2	CLASSES DOS SOLOS .....	5
2.2.3	PAVIMENTO DE BAIXO CUSTO .....	6
2.2.4	TIPOS DE BASE UTILIZADOS EM PAVIMENTO DE BAIXO CUSTO .....	6
<b>3</b>	<b>APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA MCT</b> .....	<b>7</b>
3.1	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO .....	7
3.2	ENSAIO DE CAPACIDADE DE SUPORTE MINI-CBR .....	8
3.3	ENSAIO DE EXPANSÃO .....	10
3.4	ENSAIO DE CONTRAÇÃO.....	11
3.5	ENSAIO DE INFILTRABILIDADE.....	12
3.6	ENSAIO DE PERMEABILIDADE.....	12
3.7	ENSAIO DE PERDA DE MASSA POR IMERSÃO.....	13
<b>4</b>	<b>ESTUDOS GEOTÉCNICOS</b> .....	<b>14</b>
4.1	DEFINIÇÕES .....	14
4.2	ESTUDOS GEOTÉCNICOS DOS SOLOS DO SUBLEITO .....	16
4.2.1	ESTUDO PRELIMINAR DE CAMPO .....	16
4.2.3	ENSAIOS GEOTÉCNICOS .....	17
4.2.4	SERVIÇOS DE ESCRITÓRIO .....	18
4.3	ESTUDO GEOTÉCNICOS DE JAZIDAS.....	19
4.3.1	ENSAIOS GEOTÉCNICOS .....	20
4.3.2	AMOSTRAGEM SISTEMÁTICA .....	21
<b>5</b>	<b>TIPOS DE BASES LATERÍTICAS E SUAS CARACTERÍSTICAS SEGUNDO MCT</b> .....	<b>22</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	22
5.2	BASES DE SOLO ARENOSO FINO LATERÍTICO (SAFL) .....	23
5.2.2	DESEMPENHO DE TRECHOS COM APLICAÇÃO DE SOLO ARENOSO LATERÍTICO FINO (SALF).....	23
5.2.3	CARACTERÍSTICAS GERAIS .....	24
5.2.4	AVALIAÇÕES DO COMPORTAMENTO .....	25
5.3	BASES DE MISTURAS DE SOLO ARGILOSO LATERÍTICO E AREIA (ALA).....	28
5.4	BASES DE SOLO LATERÍTICO E AGREGADO DE GRANULOMETRIA DESCONTÍNUA (SLAD).....	31
5.4.1	CARACTERÍSTICA DE DESEMPENHO DO PAVIMENTO .....	34
5.5	BASES DE ARGILA LATERÍTICA .....	35

5.5.1 CLASSIFICAÇÃO DA ARGILA LATERÍTICA PARA BASES DE PAVIMENTOS	35
5.5.2 CARACTERÍSTICA DE DESEMPENHO DO PAVIMENTO	36
<b>6 IMPRIMADURAS ASFÁLTICAS E REVESTIMENTOS BETUMINOSOS</b>	<b>39</b>
6.1 IMPRIMADURAS ASFÁLTICAS	39
6.1.2 IMPRIMADURAS ASFÁLTICAS EM BASES DE ARGILA LATERÍTICA	39
6.1.3 EXECUÇÃO DA IMPRIMADURA	40
6.2 REVESTIMENTOS BETUMINOSOS	41
6.2.1 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS (TS)	41
6.2.2 CAMADA BETUMINOSA PRÉ-MISTURADA DE BLOQUEIO	42
6.2.3 CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)	42
<b>7 PAVIMENTOS CONVENCIONAIS</b>	<b>45</b>
7.1 BRITA GRADUADA SIMPLES	45
7.1.1 QUALIDADE DO AGREGADO	45
7.1.2 TRANSPORTE DO MATERIAL	46
7.2 SOLO CIMENTO	46
7.3 MACADAME HIDRÁULICO	47
<b>8 ANÁLISES E COMENTÁRIOS</b>	<b>49</b>
<b>9 CONCLUSÃO</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>53</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O termo pavimento de baixo custo é empregado com o uso de bases de solos naturais ou alternativas vantajosas com o propósito de reduzir os custos elevados encontrados nos métodos convencionais.

O déficit de pavimentos urbanos é grande em quase todas as cidades brasileiras abrangendo desde vias principais de cidades de grande porte, até vias de circulação de distritos e conjuntos habitacionais. Citam-se no Estado de São Paulo, cidades altamente desenvolvidas como a cidade de São Paulo, com déficit de aproximadamente 20 milhões de m<sup>2</sup>, e o município de Guarulhos que, mesmo já tendo uma rede pavimentada de 2,7 milhões de m<sup>2</sup>, ainda necessita executar, pelo menos mais 30% (800 mil m<sup>2</sup>). (VILLIBOR *et al.*, 2009)

O emprego da pavimentação convencional em estradas vicinais ou ruas de pequena intensidade de tráfego, como por exemplo, bairros periféricos, comunidades e etc., pode tornar o custo desta obra muito elevado e podendo até ser impossível a sua execução.

Por isso da necessidade de uma pavimentação alternativa com o uso, por exemplo, de solos lateríticos que se encontra em abundância na natureza. Este material empregado utiliza-se como bases naturais ou misturas com agregados.

Conforme já foi estudado utilização de bases de solos naturais e alternativas viáveis, destacando financeiramente e tecnicamente, apresentando e ilustrando através de ensaios, tabelas, gráficos, diagramas e resultados satisfatórios no seu desenvolvimento.

## 1.1 OBJETIVO

Demonstrar que a utilização de pavimento de baixo custo é viável tecnicamente e financeiramente para a execução.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Viabilizar tecnicamente e financeiramente o uso deste pavimento alternativo, através da análise de estudos realizados por NOGAMI e VILLIBOR em diversas regiões com climas e ambientes favoráveis para a execução e em locais que apresentam intensidade de tráfegos leve e muito leve, comparando com a utilização dos métodos convencionais.

### ***1.3 METODOLOGIA***

Mostrar através de gráficos, tabelas, diagramas e ensaios tecnológicos realizados por NOGAMI e VILLIBOR a utilização de solos lateríticos de granulação fina em pavimentos solos lateríticos de granulação fina como material de base natural, ou com misturas com agregados, e a sua ocorrência em áreas próximas as obras com condições ambientais satisfatórias. Nessas pesquisas aplica-se também revestimento betuminoso usinado a quente com espessura máxima de 3 cm; atendendo os tráfegos urbanos (muito leve e leve) e rodoviário (com  $N < 5 \times 10^6$  solicitações do eixo simples padrão de 80 kN).

## 2 PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO

### 2.1 HISTÓRICO

O pavimento de baixo custo com a utilização de solos lateríticos, surgiu no fim da década de quarenta, onde foram realizados ensaios que detectaram altíssimos valores de capacidade de suporte (CBR). Com isso na década de cinquenta, a fim de aumentar seu uso e diminuir deformações, foi estudada sua utilização como base de pavimento sendo executado pelo Departamento Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo (DER-SP) num dos acessos a Campinas, com orientação do Eng.º Francisco Pacheco e Silva do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Neste trabalho então, foi utilizada base de argila laterítica compactada, que obteve ótimo desempenho por vários anos, o mesmo que se fosse executada com as bases tradicionais. No entanto essa primeira experiência não teve continuidade, somente na década de 60 houve a primeira utilização com solo arenoso fino laterítico (SAFL) e a partir desta houve inúmeras pesquisas com este material com combinações alternativas. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

Dentre os estados brasileiros, São Paulo é o estado que os solos lateríticos tem o comportamento altamente satisfatório se são utilizados em camadas de bases de pavimentos e denomina-se solos arenosos finos lateríticos (SAFL). Nota-se na figura 2.1 as áreas de ocorrências desse tipo de solos.

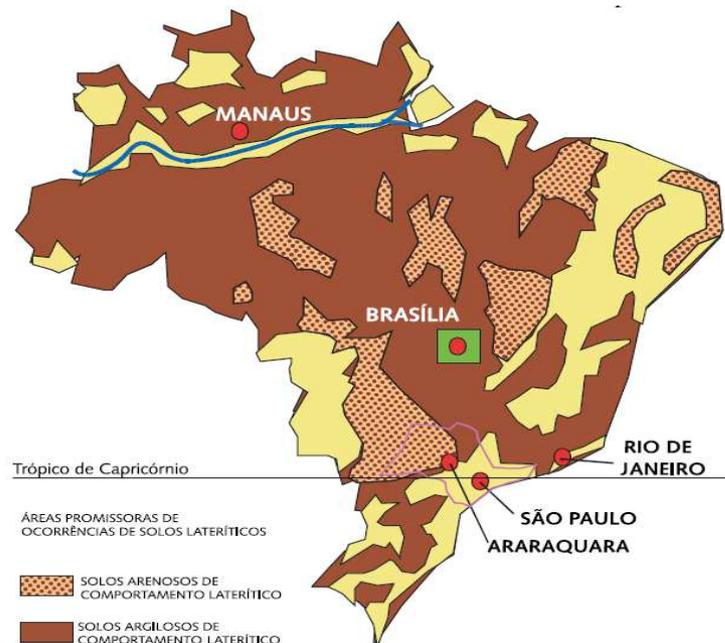


Figura 2.1 - Ocorrências de solos arenosos e argilosos de comportamento laterítico  
Fonte: NOGAMI e VILLIBOR (2009)

## 2.2 DEFINIÇÕES

### 2.2.1 SOLOS

Os solos, segundo Villibor *et al.* (2009), são materiais naturais não consolidados, ou seja, constituídos de grãos separáveis por processos mecânicos e hidráulicos, de fácil dispersão em água, e que podem ser escavados com equipamentos comuns de terraplenagem (pá carregadeira, moto-escavo-transportadora, etc.).

Estes materiais naturais constituintes da parte superficial da crosta terrestre e que não se enquadram na condição de solos, podem ser colocados como rochas. E também pode apresentar-se como estrutura natural ou artificial. Será artificial quando for transportado ou compactado mecanicamente, em aterros, barragens e etc.(NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

Os locais em que se apresentam propriedades dos solos com comportamentos próprios são as regiões tropicais. Segundo Villibor *et al.*(2009) são denominados dentro da classificação dos solos em decorrência da atuação do processo geológico e/ou pedológico. A partir dos solos tropicais obtém-se as duas classes principais: solos lateríticos e os solos saporlíticos. Conseqüentemente para que um solo possa ser considerado tropical não basta que tenha sido formado na faixa astronômica tropical ou região de clima tropical úmido é indispensável que possua peculiaridades de interesse geotécnico. Apresenta-se na Figura 2.2 um perfil típico de ocorrência de solo em clima tropical com horizontes e a gênica das camadas do solo tropical.

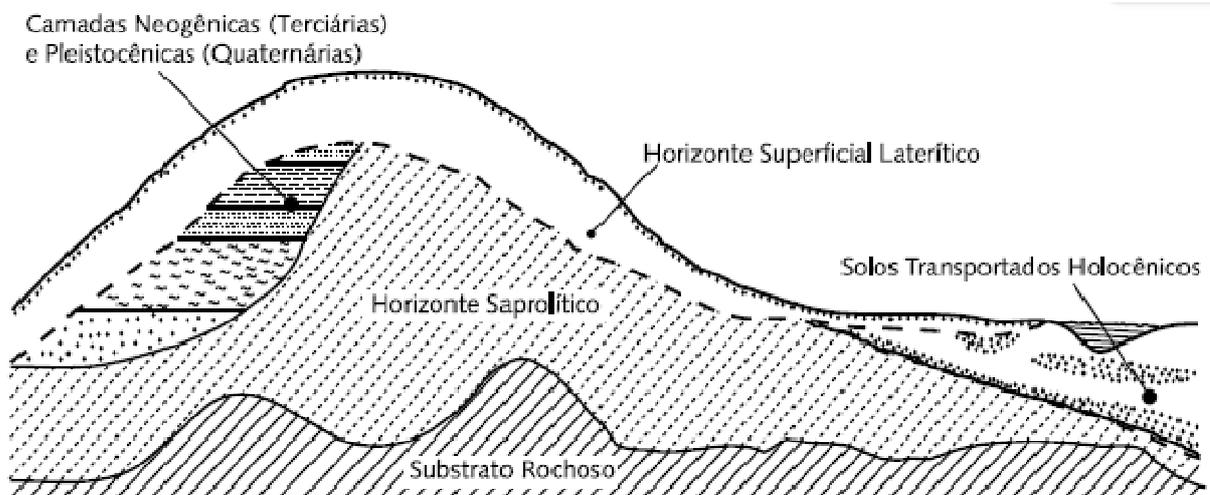


Figura 2.2 - Horizontes e a gênica das camadas do solo tropical  
Fonte: NOGAMI e VILLIBOR (2009)

### 2.2.2 CLASSES DOS SOLOS

Os solos lateríticos, segundo Villibor *et al.* (2009), são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, resultantes de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo, denominado de laterização.

Mediante as particularidades laterização se denomina o processo característico de regiões tropicais de clima úmido e estações chuvosas e secas alternadas, segundo o qual, por lixiviação, processa-se a remoção da sílica coloidal, e o enriquecimento dos solos e rochas em ferro. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

Já os solos saprolíticos (sapro, do grego: podre) são aqueles que resultam da decomposição da rocha a partir da ação das intempéries, e se constituem a parte subjacente à camada de solo superficial lateríticos. Eles são denominados também como solos residuais jovens em comparação com os solos lateríticos, maduros. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

Na figura 2.3 observa-se um perfil de solo em corte onde se identifica a distinção clara entre os horizontes A, B (lateríticos) e C (saprolítico)



Figura 2.3 - Perfil de solo mostrando os horizontes A, B e C

Fonte: MARANGON (2004)

Uma característica bem peculiar segundo Nogami e Villibor (1995) é muito comum no horizonte, ou em seus limites uma linha de seixos que variam com alguns centímetros até 1,5 m delimitando o horizonte laterítico do saprolítico.

### 2.2.3 PAVIMENTO DE BAIXO CUSTO

O conceito de pavimento de baixo custo, segundo Nogami e Villibor (2009) é definido por:

- Emprego como base constituída de materiais naturais ou misturada com pequena porcentagem de agregados, com custos menores que bases tradicionais, como: brita graduados, macadame hidráulico, solo cimento, etc.
- Utiliza revestimento betuminoso, tipo tratamento superficial duplo ou triplo, com espessura máxima de 3 cm;
- Suporta um tráfego máximo do tipo médio, com  $N_t \leq 10^6$  solicitações do eixo simples padrão de 80 kN.

### 2.2.4 TIPOS DE BASE UTILIZADOS EM PAVIMENTO DE BAIXO CUSTO

Os tipos de bases utilizadas no pavimento de baixo custo, segundo Villibor *et al.* (2009) são:

- Solo Arenoso Fino Laterítico (SAFL) com materiais de ocorrências naturais;
- Solo Laterítico-Agregado, a saber:
  - De granulação fina, definido por Argila Laterítica com Areia (ALA);
  - De granulação grossa, definido por Solo Laterítico e Agregado de Granulometria Descontínua (SLAD) e constituído de mistura de solos lateríticos com baixa porcentagem de agregado (brita, pedregulho ou laterita);
- Bases de Argila Laterítica

### **3 APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA MCT**

Segundo Nogami e Villibor (1995) a designação MCT provém da utilização de corpos de prova com dimensões reduzidas mais precisamente com 50 mm de diâmetro em solos tropicais compactados.

Esta metodologia destaca dois grandes grupos e seus associados são eles: Mini-CBR e Mini-MCV.

A partir dos ensaios de Mini-CBR, segundo Nogami e Villibor (1995) pode-se ter características referentes ao comportamento do solo como base de pavimento e a escolha do mais apropriado. Portanto após a compactação efetiva do corpo de prova tem-se determinações como: capacidade de suporte do material, expansão, contração, infiltrabilidade, permeabilidade entre outros.

Os ensaios de Mini-MCV fornecem parâmetros para a determinação dos coeficientes  $c'$  e  $e'$  e  $d'$  que permitem a classificação dos solos de acordo com a metodologia MCT e também promovem todas as propriedades mencionadas nos ensaios de MINI-CBR.

Portanto, de acordo com Villibor *et al.* (2009), esta metodologia foi executada a partir da década de 70, deve-se principalmente às seguintes causas:

- Restrições dos métodos tradicionais para caracterizar e classificar os solos com base na granulometria e limites físicos (LL e IP). Tais índices são incapazes e insuficientes para distinguir os principais tipos de solos tropicais, de propriedades diversas, conhecidos como lateríticos e saprolíticos, inadequadamente designados em outros países de residuais;

- Confirmação prática do bom desempenho de bases constituídas por solos lateríticos de granulação fina e por solo agregado com grande porcentagem de finos (passando, quase que integralmente na peneira de 0,42 mm de abertura), apesar de serem considerados inapropriados para base de pavimentos pelas sistemáticas tradicionais.

#### **3.1 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO**

Segundo Villibor *et al.* (2009) o ensaio de compactação é um dos principais ensaios de metodologia MCT, pois através dele e de seus parâmetros primordiais como

(umidade e massa específica aparente seca máxima) ensaiam-se corpos de prova para determinação de outras propriedades geotécnicas da metodologia MCT.

A aparelhagem que integra todo o contexto desta linha de ensaios possui dimensões reduzidas podendo ser efetuada por dois métodos:

- Mini-Proctor: com esse ensaio procura fixar uma energia determinada de compactação e executar uma série de copos de prova com umidades distintas até se determinar o teor ótimo para uma massa específica aparente seca máxima, afirma Villibor et al. (2009). Essas energias são do tipo Normal, Intermediária e Modificada.
- Mini-MVC: este é um ensaio desenvolvido por Nogami e Villibor em 1980 tem como princípio o estudo dos solos tropicais em dimensões reduzidas através do método proposto por Parson em 1976, conhecido, como Moisture Conditione Value(MCV). É um ensaio que aplica constantemente números crescentes de energia até se conseguir um aumento sensível da Massae específica aparente seca para distintos teores de umidades assim conseguindo uma família de curvas de compactação. Essas curvas são chamadas de curvas de deformabilidade e a partir delas tem-se o valor dos Mini-MCV para cada curva. (VILLIBOR et al., 2009)

### ***3.2 ENSAIO DE CAPACIDADE DE SUPORTE MINI-CBR***

Segundo Villibor et al. (2009) este ensaio, conforme é apresentado na Figura 3.1, juntamente aos ensaios de expansão e contração, gera resultados que possibilitam o dimensionamento de pavimentos e a escolha de solos para reforço de subleito, sub-base, bases e acostamento.

Este ensaio pode ser executado com ou sem imersão e sobrecarga e dependendo para o fim a que este solo se destina no mesmo poderá ser empregada qualquer uma das três energias normal, intermediária ou modificada.

Quando o ensaio é feito com imersão e sobrecarga segundo Nogami e Villibor (2009) é para se estudar o seu comportamento mecânico no subleito ou em camadas de aterro.

Quando o estudo é referente ao comportamento como base e o ensaio é realizado sem sobrecarga e sem imersão pois as bases de pavimentos econômicos não utilizam camadas exorbitantes de revestimentos.

O ensaio também incorpora uma relação empírica conforme a metodologia MCT que indica o quanto o solo perde o seu suporte em contato com água de acordo com Nogami e Villibor (2009). Esta relação indicada serve como um ponto principal para a identificação do comportamento laterítico do solo.

De acordo com Nogami e Villibor (2009) o ensaio Mini-CBR apresenta uma distância menor de valores de capacidade de suporte em comparação com o ensaio convencional.

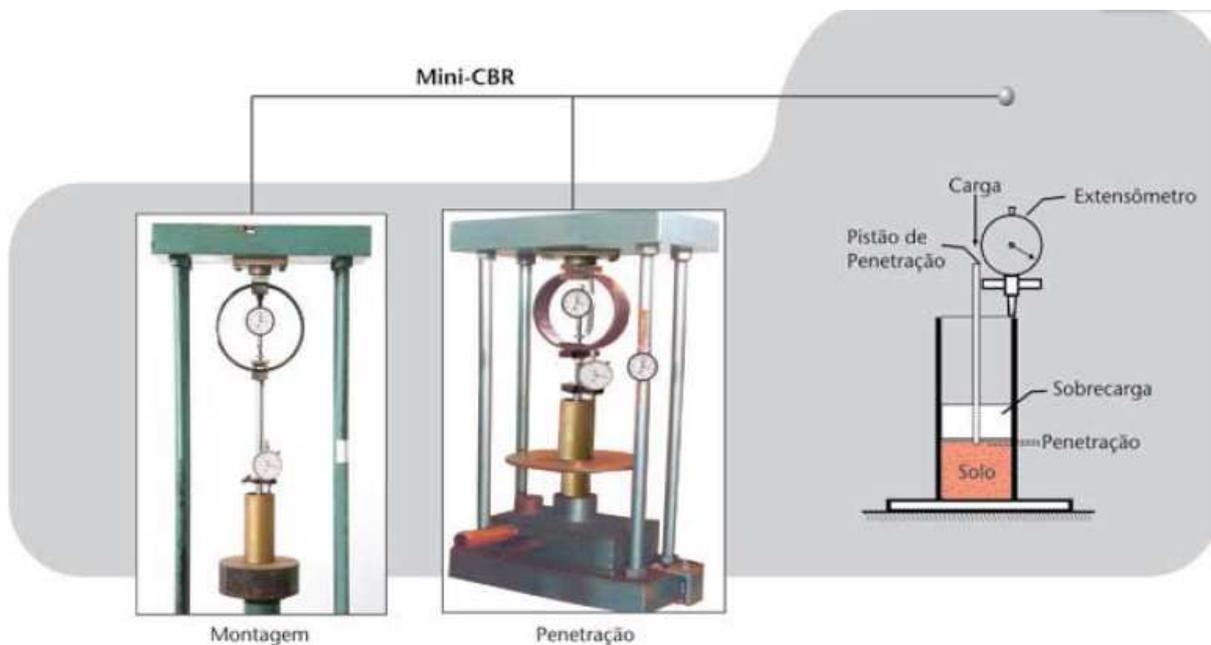


Figura 3.1 - Ensaio da Metodologia MCT Mini CBR  
Fonte: NOGAMI e VILLIBOR (2009)

### 3.3 ENSAIO DE EXPANSÃO

De acordo com Nogami e Villibor (2009) o ensaio de expansibilidade, figura 3.2, tem por objetivo principal o conhecimento de valores de expansão dos argiloso-minerais constituintes dos solos finos, hierarquizando os solos para diversos usos dentro do universo da pavimentação.

- Características do ensaio: Mede-se diretamente o  $\Delta c$  (Variação do comprimento axial) do corpo de prova compactado com o auxílio de um extensômetro à medida que é deixado em imersão por um período de 24 horas.
- Aplicação dos Resultados: Escolha do melhor solo para diversas finalidades dentre elas reforços, sub-bases, bases e acostamento acima de qualquer situação quando estão em presença de água por um período relativamente grande. (VILLIBOR, 2009)



Figura 3.2 - Ensaio de CBR e Mini CBR para a obtenção da Expansão  
Fonte: NOGAMI e VILIBOR (2009)

### 3.4 ENSAIO DE CONTRAÇÃO

Objetivo deste ensaio é verificar conforme Nogami e Villibor (2009) a contração intencional ou não durante a fase construtiva e vida útil do pavimento, com o intuito de se evitar que algumas trincas se propaguem ao longo da camada de revestimento. Este ensaio, figura 3.3, visa informar as condições de comportamento de um pavimento após o seu período de cura.

- Características do Ensaio: Mede-se diretamente a variação do comprimento a variação do comprimento axial do corpo de prova compactado com a ajuda de um extensômetro que tem por finalidade medir o teor de umidade através da exposição ao ar. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)
- Aplicação dos Resultados: É utilizado pelos órgãos DNER e DER/SP, tem por finalidade a escolha do melhor solo para camadas de base, sub-base reforços, sobretudo quando estão sujeita à secagem durante o processo de construção. (VILLIBOR, 2009)

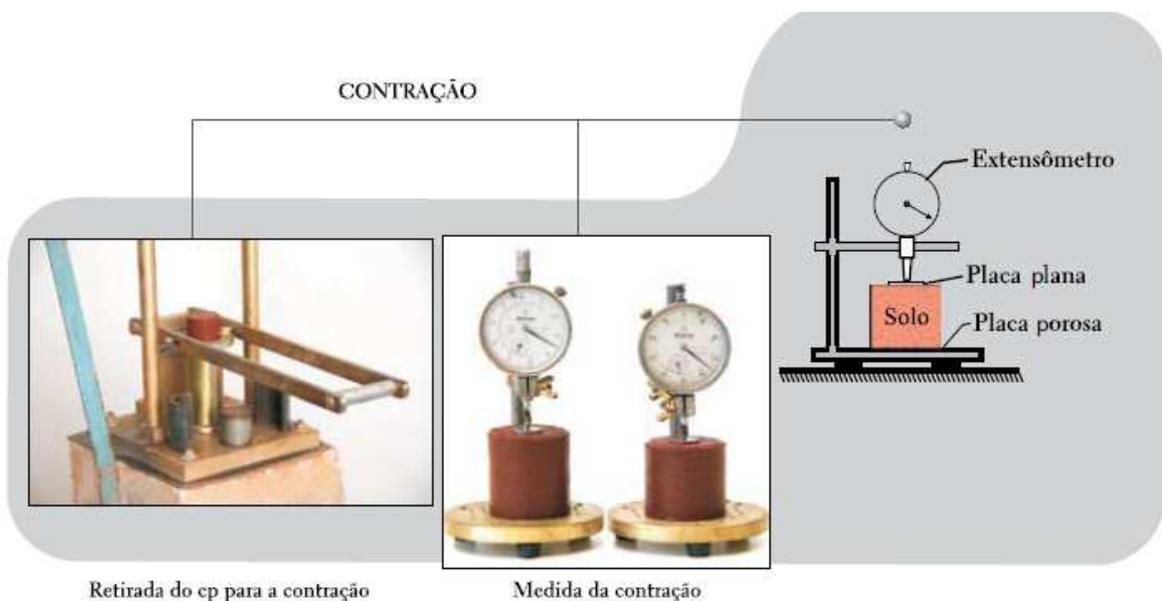


Figura 3.3 - Ensaio de Contração montagem do croqui  
Fonte: NOGAMI e VILLIBOR (2009)

### **3.5 ENSAIO DE INFILTRABILIDADE**

Tem como base medir o fluxo de água nas camadas de solo (base) durante o processo de construção da rodovia. Aproxima quanto uma frente de umidade pode caminhar para dentro do pavimento com o auxílio de uma valeta lateral não revestida ou através de locais de concentração e acúmulo de água próxima ao acostamento. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

O ensaio serve para determinar a distância em que se deve construir a rodeira externa da pista em relação aborda do acostamento a fim de dimensionar a sua largura para então evitar a ocorrência de deformação. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

Segundo Nogami e Villibor (2009), as características do ensaio.

Mede-se no tubo horizontal a quantidade de água que penetra no corpo de prova, através de sub-base, em função da raiz quadrada do tempo. Para isso, a base do corpo de prova é colocada sobre a placa porosa que delimita o recipiente cheio de água e que se comunica com o tubo horizontal de medida da água que penetra.

- Aplicação dos Resultados: Método usado pelo órgão DNER, a escolha do melhor solo para condições de base, reforço do subleito, acostamento sobre tudo quando o mesmo está sujeito a secagem intencional ou não durante ou após a construção. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

### **3.6 ENSAIO DE PERMEABILIDADE**

É uma determinação utilizada para cálculos de escoamento de água em meio saturado, tem como prioridade os solos para uso de camadas de a base de pavimento (Figura 3.4). (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

- Características do Ensaio de área variável: Mede-se a quantidade de água que percola através do corpo de prova, figura 3.4, através do deslocamento do menisco de água no tube vertical graduado em função do tempo. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)
- Aplicações dos Resultados: Utilização em cálculos de escoamento de água em meio saturado tais como camadas drenantes, filtrantes impermeabilizantes. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

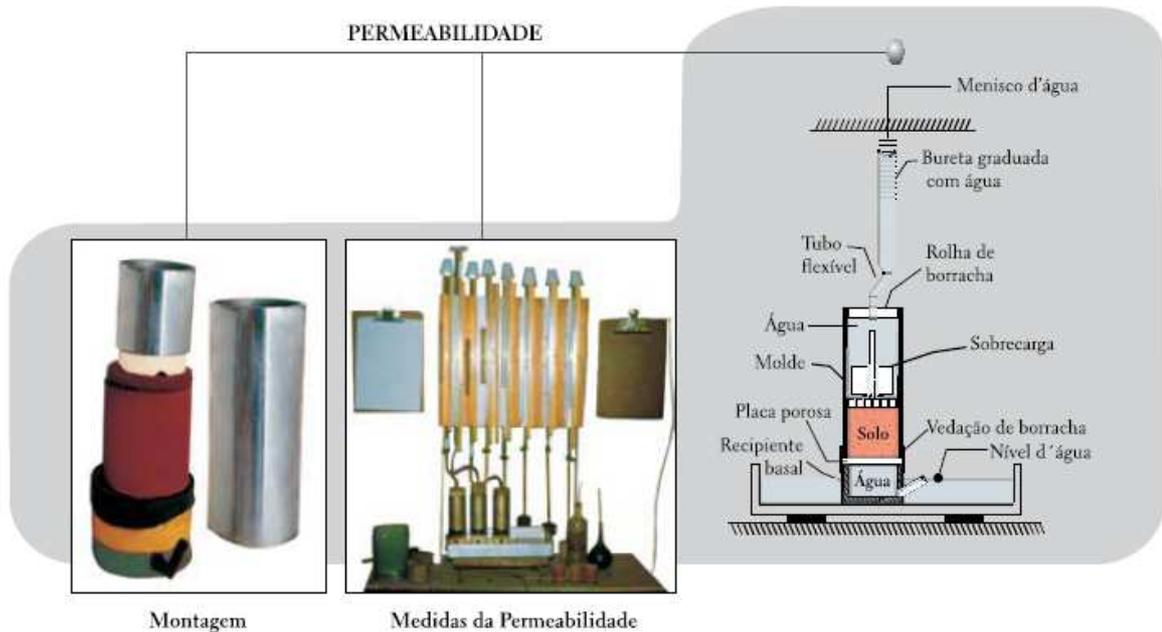


Figura 3.4 - Ensaio de Permeabilidade montagem do croqui  
 Fonte: NOGAMI e VILLIBOR (2009)

### 3.7 ENSAIO DE PERDA DE MASSA POR IMERSÃO

Parte componente do ensaio de MINI-MVC tem por finalidade distinguir solos de comportamento laterítico e não laterítico. É utilizado para determinar a classificação de solos tropicais sendo empregado para encontrar o coeficiente  $e'$ .(NOGAMI; VILLIBOR,2009)

- Características do ensaio: O corpo de prova após compactado deve ficar saliente 10cm da sua superfície e submerso em água na posição horizontal. Recolhe-se a parte efetivamente desprendida e determina-se a sua massa seca.(NOGAMI; VILLIBOR,2009)

A massa PI é expressa em porcentagem relativamente à massa seca da parte primitiva saliente do corpo de prova. (NOGAMI; VILLIBOR,2009)

## 4 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

### 4.1 DEFINIÇÕES

A análise para alcançar as características geotécnicas dos solos do subleito e de jazidas para o emprego como camadas de reforço do subleito, sub-bases e bases, contempla as atividades demonstradas na figura abaixo: (VILLIBOR *et al.*, 2009)

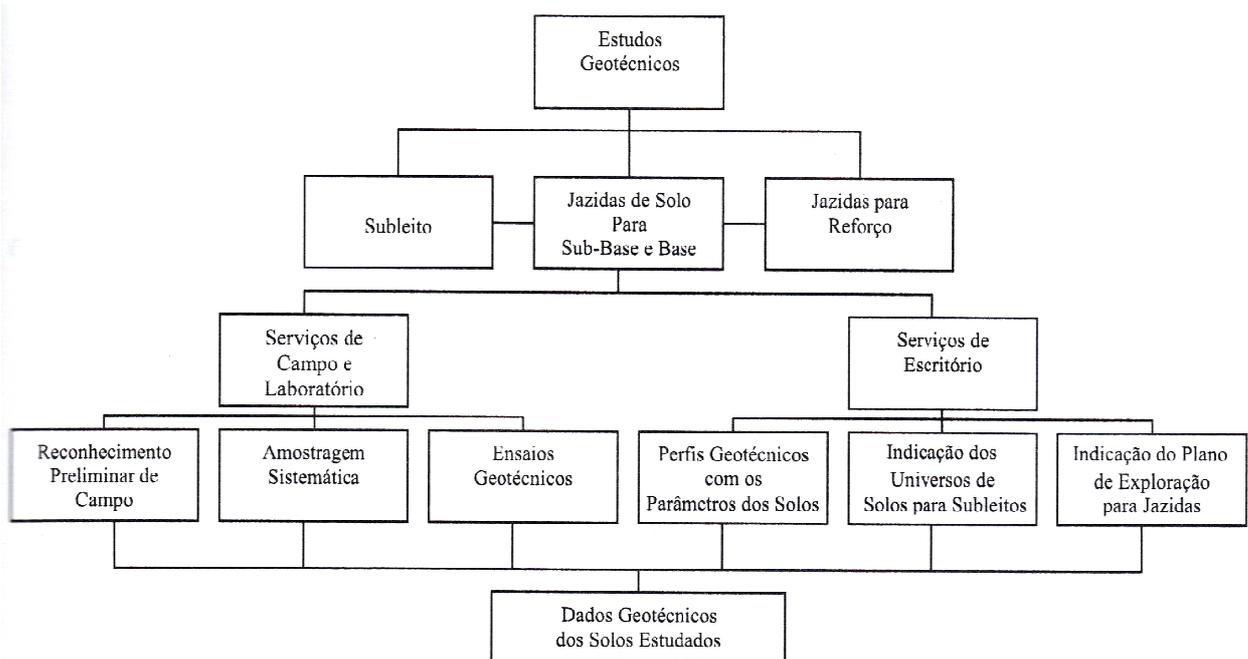


Figura 4.1 - Atividades envolvidas nos Estudos Geotécnicos  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

A nomenclatura para o reconhecimento dos materiais no perfil dos solos será verificada conforme descrito a seguir. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

- Fração Pedregulho: grãos minerais que passam na peneira de 38 mm, mas são retidos na de 2 mm.

- Fração Solo: grãos minerais que passam na peneira de 2 mm.

A fração deverá ser relacionada conforme a Classificação de Solos Tropicais segundo a Metodologia MCT da Prefeitura Municipal de São Paulo, e demonstrar a seguinte nomenclatura: (VILLIBOR *et al.*, 2009)

- Classe de Comportamento Laterítico: designada pelo prefixo L, subdividida nos seguintes grupos: (VILLIBOR *et al.*, 2009)

- LA – Areia Laterítica.
- LA' – Solo Arenoso Laterítico.
- LG' – Solo Argiloso Laterítico.
- Classe de Comportamento Não Laterítico: designada pelo prefixo N, subdividida nos seguintes grupos: (VILLIBOR *et al.*, 2009)
- NA – Areia Não Laterítica.
- NA' – Solo Arenoso Não Laterítico.
- NS' – Solo Siltoso Não Laterítico.
- NG' – Solo Argiloso Não Laterítico.

As características típicas dos inúmeros grupos de solos da Metodologia MCT são detalhadas na figura 4.2

Propriedades Típicas dos Solos dos grupos da classificação MCT									
Classes			N- Solos de Comportamento "Não Laterítico"				L- Solos de Comportamento "Laterítico"		
Grupos			NA Areias	NA' Arenosos	NS' Siltosos	NG' Argilosos	LA Areias	LA' Arenosos	LG' Argilosos
Granulometrias (Minerais)	Típicas (1)		- areias - areias siltosas - siltes	- areias siltosas - areias argilosas	- siltes (k,m) - siltes arenosos e argilosos	- argilas - argilas arenosas - argilas siltosas	- areias com pouca argila	- areias argilosas - argilas arenosas	- argilas - argilas arenosas
Cap. Suporte (2)	Mini-CBR sem imersão (%)	Muito alto > 30	Alto a Médio	Alto	Médio a Alto	Alto	Alto	Alto a Muito Alto	Alto
		Alto 12-30							
		Médio 4-12							
	Perda de Suporte por imersão (%)	Baixo < 4	Média a Baixa	Baixa	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
		Alta > 70							
		Média 40-70							
Expansão (%) (2)	Alta > 3	Baixa	Baixa	Alta	Alta a Média	Baixa	Baixa	Baixa	
	Média 0,5 - 3								
Contração (%) (2)	Baixa < 0,5	Baixa a Média	Baixa a Média	Média	Alta a Média	Baixa	Baixa a Média	Média a Alta	
Permeabilidade log (K (cm/s))	Alta > (-3)	Média a Alta	Baixa	Média a Baixa	Baixa a Média	Média a Baixa	Baixa	Baixa	
	Média (-3) a (-5)								
	Baixa < (-6)								
Plasticidade	Ip (%)	LI (%)	Baixa a Média	Média a MP	Média a MP	Alta	MP a baixa	Baixa a Média	Média a Alta
	Alta > 30	> 70							
	Média 7 - 30	30 - 70							
	Baixa < 7	< 30							

Figura 4.2 - Propriedade Típicas dos Solos dos Grupos da MCT  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

## **4.2 ESTUDOS GEOTÉCNICOS DOS SOLOS DO SUBLEITO**

As análises dos solos do subleito determinam a obtenção das características geotécnicas do subleito, a partir de serviços de campo e laboratório. A coleta das informações em campo é auxiliada por serviços de escritório, que abrangem a elaboração de perfis geotécnicos com peculiaridades dos solos, indicações dos variados tipos de solos para subleito e plano de exploração para jazidas. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

### **4.2.1 ESTUDO PRELIMINAR DE CAMPO**

As análises preliminares executam papel importante pelo fato de possibilitarem a obtenção de alguns métodos de maneira rápida, mediante o uso de procedimentos práticos e de equipamentos de fácil manuseio. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

Com as informações disponíveis em mapas pedológicos, geológicos e geotécnicos, é realizada uma vistoria no local por profissionais especializados, para a verificação das seguintes informações:(VILLIBOR *et al.*, 2009)

- Existência ou não de revestimento primário nas vias.
- Condições topográficas e aspectos ligados à drenagem superficial e profunda das vias em questão.
- Identificação expedita, tátil-visual, do subleito e das jazidas, para a verificação da mineralogia e granulometria dos solos, macroestrutura e cor etc.

### **4.2.2 AMOSTRAGEM SISTEMÁTICA**

A amostragem da via para fins geotécnicos será feita através de furos de sondagens com espaçamento máximo, entre dois furos consecutivos no sentido longitudinal, de 75 metros, devendo-se fazer furos intermediários, a cada 25 metros, para simples identificação tátil-visual dos materiais encontrados. Os furos e sondagens deverão ser locados com base nas informações obtidas no reconhecimento preliminar de campo. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

As sondagens que servirão para reconhecimento, coleta de amostras, traçado do perfil geotécnico do subleito e anotação da cota do nível d'água, se constatado, serão executadas com auxílio de equipamentos manuais (trado-espinal, cavadeira, pá etc.).

### **4.2.3 ENSAIOS GEOTÉCNICOS**

#### **- Subleito Natural**

Para esse procedimento, entende-se como subleito natural, no seu estado atual, o subleito sem presença de material pétreo lançado. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

A coleta de amostras será no primeiro metro abaixo do greide de fundação do pavimento e deverá ser representativa das camadas encontradas. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

#### **- Subleito com Camada de Revestimento Primário**

Quando as vias existentes apresentarem camada de revestimento primário em espessura superior a 10 cm, com materiais pétreos, escória ou entulho de boa qualidade, em porcentagem superior a 30% em peso (material retido na peneira de 2,00 mm), deverão ser coletadas amostras, separadamente, da camada de revestimento primário e das camadas do subleito até a profundidade de 1,00 metro abaixo do greide de fundação do pavimento. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

Com as informações obtidas no reconhecimento preliminar de campo e no levantamento topográfico (plani-altimétrico cadastral). Com essas informações coletadas o projetista poderá pré-definir o greide de implantação do pavimento e, portanto, prever a possibilidade de utilização de algumas camadas em suas condições locais. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

Os ensaios serão feitos para avaliar os materiais entre 0 e 1,00 metro abaixo do greide de fundação do pavimento, em duas camadas de aproximadamente 0,50 m. No caso dos ensaios laboratoriais, as amostras representativas dessas duas camadas, se identificadas como iguais (táctil-visual e granulometricamente), poderão ser ensaiadas em uma única amostra representativa do horizonte. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

#### 4.2.4 SERVIÇOS DE ESCRITÓRIO

A partir dos dados coletados em campos, é necessário a elaboração de documentos geotécnicos do projeto, constando de plantas e perfis e deverão conter estas informações:

**- Características Geotécnicas:**

- Identificação manual e visual, incluindo a cor de cada camada.
- Classificação MCT da fração do solo que passa na peneira de 2,00 mm.
- Massa específica aparente seca máxima.
- Teor de umidade ótima.
- Granulometria.
- Índice de suporte in situ, e moldado em laboratório.
- Indicações dos Universos de Solos

Os universos serão definidos, para efeito de dimensionamento, segundo um dos critérios:

- Por meio de intervalos de Índice de Suporte, Mini-CBR ou CBR, com Expansão # 2%:

U1: Solos com CBR ou Mini-CBR < 4%;

U2: Solos com 4% # CBR ou Mini-CBR < 8%;

U3: Solos com 8% # CBR ou Mini-CBR < 12%;

U4: Solos com CBR ou Mini-CBR ≥ 12%.

Opcionalmente poderá ser utilizada a classificação MCT, para a determinação dos universos de solos:

UL: Solos Lateríticos, pertencentes aos grupos LA' e LG', e com Mini-CBR ≥ 8%;

UN: Solos Saprolíticos, pertencentes aos grupos NS' e NG', e com Mini-CBR # 8%.

A distância entre os furos de sondagem, recomendadas para estudos geotécnicos em vias urbanas, é de 25 m. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

Caso um quarteirão tenha menos que 75 m, deverão ser locados furos de sondagem e amostrados seus solos em, no mínimo, 3 locais. A figura 4.3 ilustra um perfil geotécnico do subleito de uma via urbana. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

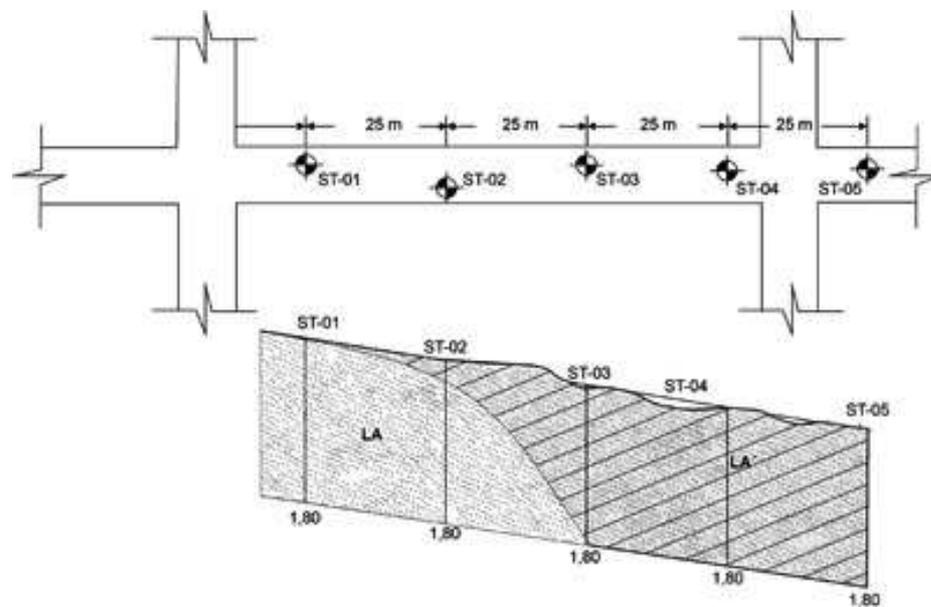


Figura 4.3 - Perfil Geotécnicos do Subleito de uma Via Urbana  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

### 4.3 ESTUDO GEOTÉCNICOS DE JAZIDAS

As análises para a determinação das características geotécnicas dos solos nas áreas de empréstimos são semelhantes aos dos solos do subleito, havendo apenas pequenas adaptações referentes a:

- Amostragem sistemática.
- Ensaios geotécnicos.
- Serviços de escritório.

### 4.3.1 ENSAIOS GEOTÉCNICOS

A análise geotécnica de jazidas para o uso em aterro, reforço do subleito, sub-base e base, será feito por métodos convencionais, com uma rede de poços de investigação espaçados, de 30 metros, nos dois sentidos, conforme ilustrado na figura 4.4 dimensões poderão ser aumentadas até 50 metros, em função da área de empréstimo, desde que a malha estudada permita a caracterização adequada dos materiais ocorrentes. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

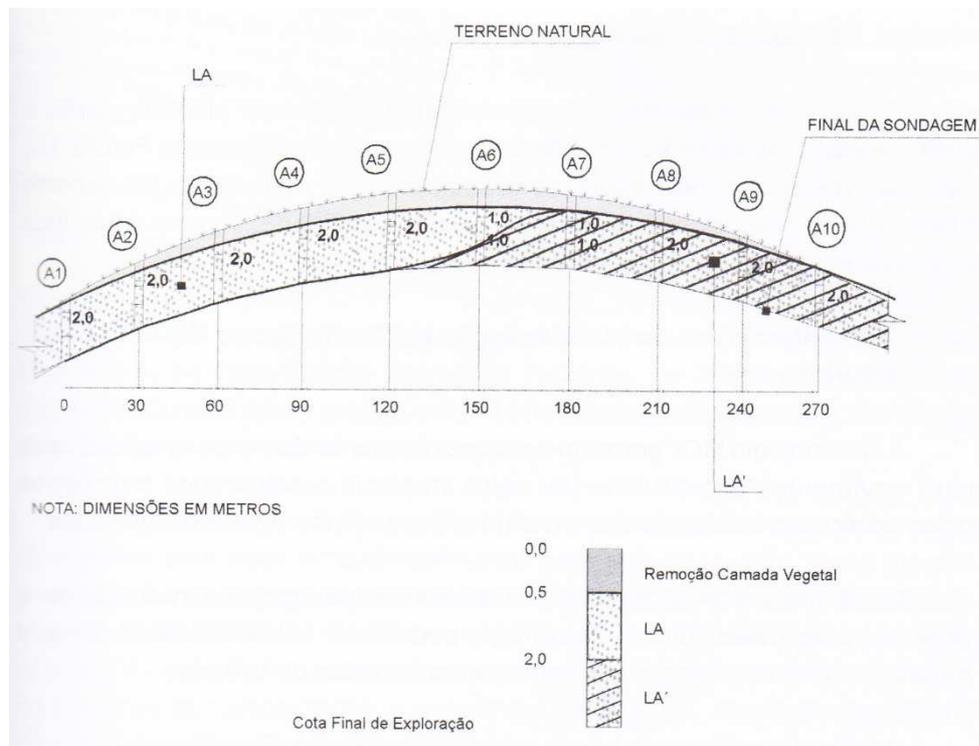


Figura 4.4 - Perfil Geotécnico de uma Jazida  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

### **4.3.2 AMOSTRAGEM SISTEMÁTICA**

As amostras deverão ser coletadas em dois níveis de profundidade, ou seja, de 0,5 até 2,0 m e de 2,0 até a cota final de exploração (ver figura 4.4). (VILLIBOR *et al.*, 2009)

Constarão do estudo geotécnico, no mínimo, 09 amostras representativas de cada camada do perfil de solo encontrado, que serão submetidas aos seguintes ensaios: (VILLIBOR *et al.*, 2009)

- Classificação MCT;
- Análise granulométrica em 50% das amostras, ou em furos alternados;
- Teor de umidade;
- Compactação Mini-Proctor na Energia Normal.
- Suporte CBR ou Mini-CBR, e expansão.

O ensaio Mini-CBR é empregado somente quando o material apresentar granulométrica com 95% passando na peneira com malha de abertura nominal de 2,00 mm. Caso contrário, utiliza-se o CBR convencional. (VILLIBOR *et al.*, 2009)

### **4.3.2 SERVIÇOS DE ESCRITÓRIO**

Após a coleta das informações em campo, deverá ser elaborado plantas, perfis e plano de exploração. Devem conter as informações indicadas na Figura 4.4, além dos dados relativos à análise granulométrica, capacidade de suporte CBR ou Mini-CBR, classificação MCT, teor de umidade, massa específica aparente seca máxima etc.

## **5 TIPOS DE BASES LATERITICAS E SUAS CARACTERISTICAS SEGUNDO MCT**

### **5.1 INTRODUÇÃO**

As técnicas rodoviárias utilizadas em construção de pavimentos em países em desenvolvimento, normalmente, são provenientes e originárias de países já desenvolvidos. No Brasil de uma maneira geral os órgãos responsáveis pela pavimentação seguem o que as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) normas estas que se baseiam em regulamentações estrangeiras, norte-americana como: corpo de engenheiros dos USA (USACE), American Association os State Highwayand Transportation Officials (AASHTO), American Socieenty for Testing na Materials (ASTM) entre outras. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

No entanto, é válido lembrar que estas normas, foram feitas para aquela região propriamente dita e não contemplam nenhuma outra a não ser que se tratem do mesmo tipo de solo. Portanto tais normas resultam basicamente do comportamento rodoviário de pistas norte americano, nestas condições para a região tropical úmida, como no caso o Brasil, estas formas de averiguação do comportamento mecânico das rodovias ficam sujeito a falhas por não concordarem com o clima vigente. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

O comportamento dos solos tropicais utilizados em obras das rodovias locais mostra a importância de um estudo mais profundo sobre em laboratório e no campo com o intuito da aplicação em campo.

## **5.2 BASES DE SOLO ARENOSO FINO LATERÍTICO (SAFL)**

### **5.2.2 DESEMPENHO DE TRECHOS COM APLICAÇÃO DE SOLO ARENOSO LATERÍTICO FINO (SALF)**

O desempenho dos pavimentos rodoviários com a utilização de SALF na base construídos no estado de São Paulo mostrou que a experiência foi muito além do esperado e superou as expectativas. Os primeiros trechos construídos foram para uma vida útil de 3 anos e apresentaram, após 6 anos de utilização, comportamento altamente satisfatório, sem sofrerem recapeamento recuperação ou qualquer intervenção relacionada a manutenção da via. Alguns trechos, inicialmente projetados para proteger a terraplenagem (Cambaratima-Bororema, Ibitinga-Itápolis) e construídos na década de 70 que até meados da década de 80 funcionaram como vias efetivamente pavimentadas sem apresentarem grandes problemas que comprometessem a ordem dos serviços. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

Na realidade, ocorreram alguns problemas relacionados ao tipo de revestimento utilizado (Tratamento Superficial), no entanto o percentual foi pequeno diante da proporção executada. Os trechos vigentes com os recapeamentos executados posteriormente ainda estão em serviço.

Tendo em vista o ótimo desenvolvimento mecânico apresentado nos trechos experimentais, a base de SALF, começou a ser empregado como parte integrante da estrutura de pavimentos com baixos custos em substituição as bases convencionais normalmente usadas geralmente materiais granulares. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

No entanto, pavimentos com essa característica de base vêm sendo utilizados em vias urbanas, pistas de aeródromos e em pátios de estacionamento, porém, os trechos pioneiros desta técnica citam as vias construídas como: Araraquara, Barretos, Descalvado Presidente Prudente, São Carlos. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

Os pavimentos propostos a este tipo de base têm atendido perfeitamente as solicitações além de serem perfeitamente econômicos por utilizarem matérias de baixos custos em suas bases e revestimentos esbeltos de tratamentos superficiais. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

### 5.2.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Alguns trechos executados com SALF apresentaram resultados excelentes como no trecho experimental em Pereira Barreto-Ilha Solteira, executado no ano de 1968 e está em funcionamento até o presente, o qual, na inspeção de 1981, não havia sofrido recapeamento e já tinha sido submetido a um tráfego  $N > 5E6$  solicitações do eixo padrão 80KN permanecendo com sua base íntegra. Muitos outros trechos com revestimento do tipo tratamento superficial de espessura equivalente a 3 cm, construídos na década de setenta, em 1981 já haviam sido solicitados por um N superior E6 (NOGAMI; VILLIBOR 2009)

Em sua grande maioria os trechos executados o subleito é constituído por solo laterítico desde argilosos até arenosos, no entanto há subtrechos sobre subleitos constituídos de solos saprolíticos de basalto ou arenito nos quais a espessura do solo foi submetida a 30 cm. A melhoria do subleito, em sua grande maioria, foi executada em todos os trechos com uma espessura equivalente de 15 cm e com os graus de compactação com uma energia  $\geq 95\%$  do Proctor Simples. Por apenas terem sido executadas pequenas correções e recapeamento esbeltos, todos os trechos continuam em serviço com comportamento Satisfatório o que comprova a qualidade estrutural de suas bases. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

A espessura máxima do Reforço do Subleito construída foi de 30 cm para subleitos argilosos. Nos trechos em que o material suas características peculiares provem da areia, geralmente não foi construído reforço apontam os estudos realizados por Nogami porém em alguns trechos foi executada a melhoria do subleito a 95% do grau de compactação do Proctor Modificado (PM). (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

As bases na grande maioria dos casos foram constituídas com 15 cm de espessura compactada aproximadamente a 95% da energia modificada (por volta de 100% da Energia Intermediária). Nos trechos em que o pavimento foi dimensionado pelo Método DER-SP usou-se o coeficiente estrutural da base igual a um. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

Observa-se na figura 5.2 as etapas construtivas para a execução das bases de SALF.

## 5.2.4 AVALIAÇÕES DO COMPORTAMENTO

Algumas características verificadas ao decorrer dos serviços dos pavimentos executados com bases de solo arenoso fino laterítico são: (VILLIBOR *et al.*, 2009)

- Baixíssima incidência de ruptura da base, exceto em locais onde o lençol freático se encontra a menos de 1,0 m de profundidade e/ou em pontos de percolação de águas superficiais.

- Pequenas deflexões, geralmente entre 20 e 60 (1/100 mm).

- Pequenas deformações nas rodeiras, porém, sem trincamento do revestimento.

- Baixa contração por secagem ao ar nos solos da área II resultando em placas de dimensões aproximadas de 50 x 50 cm na base, consideradas ideais como padrão de trincamento. Os solos da área I apresentam contração média a elevada, que conduz à formação de placas da ordem de 30 x 30 cm.

- Excelente capacidade de receber compactação (solos das áreas I e II), alcançando facilmente o grau correspondente a 100% da  $MEAS_{max}$  relativa à energia intermediária.

- Facilidade no acabamento da base e baixo desgaste superficial sob a ação do trânsito de serviço.

- Satisfatória receptividade à imprimadura, proporcionando uma boa aderência da camada de rolamento à base.

- Superfície e borda pouco susceptíveis ao amolecimento por umedecimento.

As características descritas são referentes às áreas I e II da figura 5.1. Entretanto, cabe ressaltar que, quando da utilização de solos pertencentes às áreas III e IV, observa-se o seguinte: (VILLIBOR *et al.*, 2009)

- Dificuldade de aceitar compactação. O grau de compactação atinge valores entre 93 e 97% da  $MEAS_{max}$  relativa à energia intermediária.

- Propensão para formação de lamelas na construção.

- Dificuldade no acabamento da base, principalmente sob ação do tráfego de construção.

- Superfície e borda da base muito susceptíveis ao amolecimento por absorção excessiva de umidade. Problemas de erodibilidade nas bordas quando sujeitas à ação d'água em segmentos onde não existem guias e sarjetas e/ou proteção lateral.

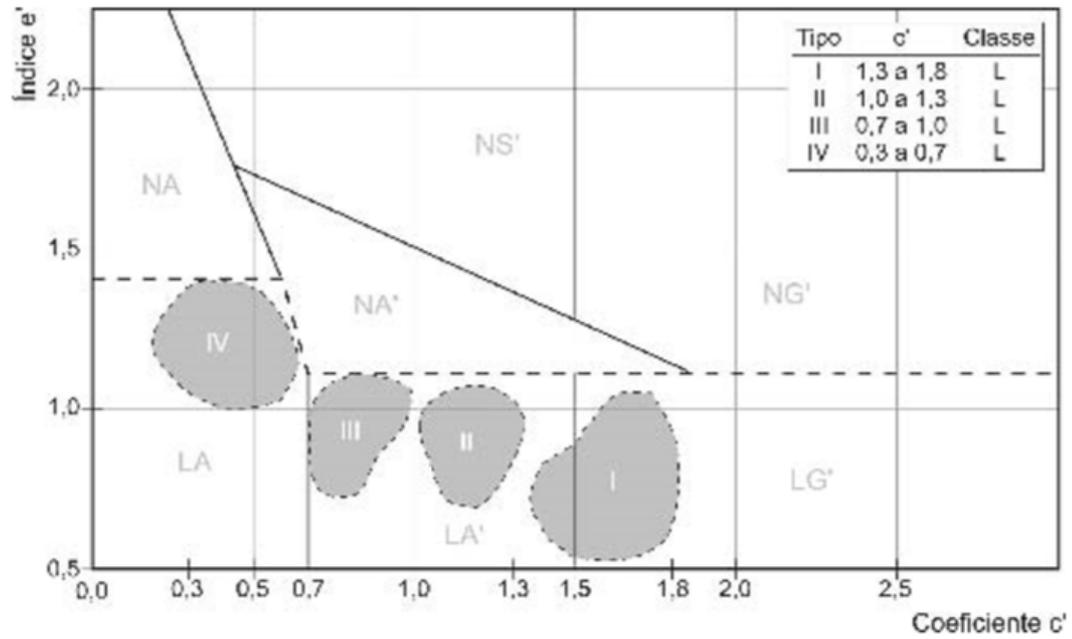


Figura 5.1 - Área no gráfico da classificação MCT dos SALF utilizados em bases de pavimentos

Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)



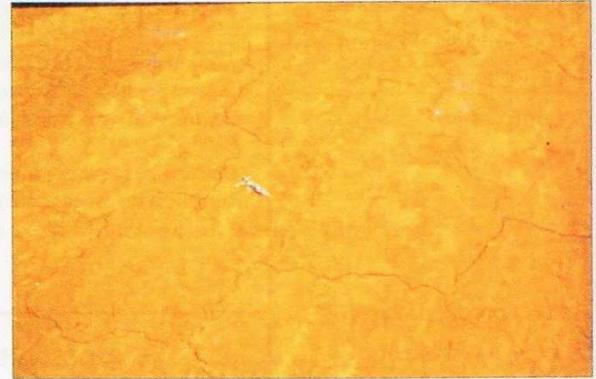
**Abertura de Caixa e Melhoria do Subleito**



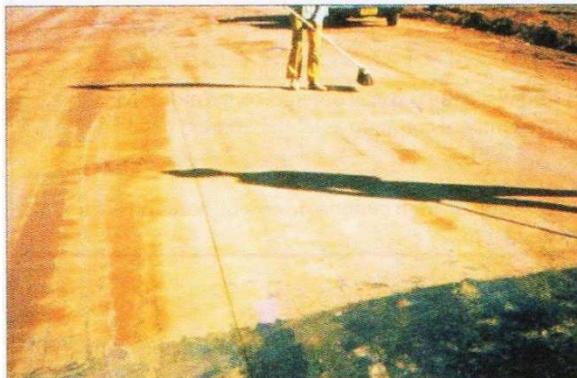
**Lançamento da Camada**



**Compactação da Base**



**Processo de Cura da Base**



**Preparação para Imprimadura**



**Imprimadura da Base**

**Figura 5.2 - Etapas construtivas de Bases de SALF**  
 Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

### 5.3 BASES DE MISTURAS DE SOLO ARGILOSO LATERÍTICO E AREIA (ALA)

Em diversas localidades do território brasileiro possuem solos lateríticos finos encontrados na natureza, que não apresentam características adequadas para seu emprego como bases de pavimentos. Todavia, esses solos, quando misturados entre si ou com areias, poderão fornecer materiais adequados com comportamento semelhante ao de um solo arenoso fino laterítico. (VILLIBOR *et al.*,2009)

Dois modos de misturas podem ser executados para a utilização desses materiais como base de pavimentos, ou seja, em caso de ocorrência de solos argilosos lateríticos (LG') nas proximidades da obra, estes devem ser corrigidos com o acréscimo de areia laterítica quartzosa e/ou areia lavada de rio. Se houver presença de areia laterítica (LA), deverá ser acrescentado solo argiloso laterítico. (VILLIBOR *et al.*,2009)

Assim sendo, essas misturas são definidas pela natureza laterítica de seu componente argiloso, que passa na peneira 0,075 mm (nº 200), e pelo uso de areia laterítica (LA) ou areia de cava ou lavada de rio. As misturas de argilas laterítica com areia (ALA) são recomendadas para uso em camadas de sub-bases de vias submetidas a tráfego pesado, ou seja, número de repetições do eixo padrão de 80 kN de até  $10^7$ . Quando utilizadas em camadas de bases, são indicadas para vias de tráfego leve, com um N máximo de  $10^5$ . (VILLIBOR *et al.*,2009)

A figura 5.3 ilustra algumas cidades onde já foram executadas bases de ALA, na espessura de 15,0 cm, ano de execução, bem como área construída com argila laterítica e areia e grupo MCT destes solos. (VILLIBOR *et al.*,2009)

CIDADE	ANO (início de execução)	CAMADA DE ROLAMENTO ESPESSURA	ÁREA (1000m <sup>2</sup> )	CLASSIFICAÇÃO MCT
JACAREZINHO – PR	78	TST - esp. 2,5 cm	20	LG' + LA
1º DE MAIO – PR	78	TSD - esp. 1,5 cm + CBUQ - esp. 3,5 cm	20	LG' + areia de cava
JAÚ – SP	82	TSS + CBUQ - esp. 3,0 cm	200	LG' + areia lavada
DESCALVADO – SP	82	TST - esp. 3,0 cm	150	LG' + areia de cava
RINCAO – SP	84	TST - esp. 2,5 cm	100	LG' + LA
ITÚ – SP	97	TSS + CBUQ - esp. 3,0 cm	300	LG' + areia lavada

Figura 5.3 - Cidades com Pavimentos de Bases de ALA  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)



Figura 5.4 - Mistura de Argila e Areia com Pá Carregadeira  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)



Figura 5.5 - Etapas construtivas de Bases de ALA  
 Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

Os desempenhos dos pavimentos com bases de misturas do tipo ALA são similares às verificadas nos pavimentos com base de solo arenoso fino laterítico SAFL. (VILLIBOR *et al.*,2009)

#### **5.4 BASES DE SOLO LATERÍTICO E AGREGADO DE GRANULOMETRIA DESCONTÍNUA (SLAD)**

As misturas de solo agregado contêm alta porcentagem de grãos retidos na peneira de abertura de 2,00 mm e são conceituados de granulação grossa. Seus finos, fração que passa na peneira de 2,00 mm, devem apresentar comportamento laterítico, segundo a classificação MCT. (VILLIBOR *et al.*,2009)

Os agregados podem ser artificiais (pedra britada ou escoria de alto forno) ou naturais (pedregulho de cava, lateritas concrecionadas e/ou quartzitos com baixa porcentagem de material passando na peneira de abertura de 0,075 mm). Quanto a sua graduação, as misturas podem apresentar uma granulometria contínua ou descontínua. Normalmente utiliza-se mistura de solo agregado de granulometria descontínua (menor porcentagem de brita), por motivos econômicos. (VILLIBOR *et al.*,2009)

Quando a jazida se encontrar próximo a obra e o custo do material não for elevado, é mais viável sempre optar por misturas de solos e agregados naturais de granulometria contínua, pelos seguintes motivos: (VILLIBOR *et al.*,2009)

- Melhor aderência da camada de rolamento a base executada com misturas de solo agregado.
- Facilidade de execução.
- Fácil obtenção de uma elevada capacidade de suporte, mesmo quando a mistura e compactada na energia intermediária.

Todavia, misturas de solo agregado de granulometria descontínua também tem sido utilizada com sucesso, porém quando compactadas na energia modificada. (VILLIBOR *et al.*,2009)

O desempenho das misturas de solo agregado está, sem dúvida, associado com a alta qualidade de seus finos de comportamento laterítico e com a baixa umidade de equilíbrio de trabalho dessas bases, geralmente da ordem de 80% da umidade ótima. Isso conduz, nos trópicos, a bases de elevada capacidade de suporte real e baixa permeabilidade, principalmente para misturas de solo agregado de granulometria descontínua. Essas misturas apresentam elevada permeabilidade e capacidade de suporte, porém com custos superiores quando comparadas com as de granulometria descontínua. (VILLIBOR *et al.*,2009)

Na ocasião em que a mistura tem em sua constituição solos lateríticos com comportamento notadamente granular não coesivo, cuja resistência após compactada, deve-se

sobretudo ao ângulo de atrito interno entre as partículas. Já no caso de o solo laterítico que tem comportamento de um material granular coesivo, cuja resistência deve-se, tanto ao atrito interno, quanto a coesão de suas partículas. As bases executadas com as misturas acima têm as seguintes características: (VILLIBOR *et al.*,2009)

Misturas Granulares Pouco ou Não Coesivas significam bases com pequena sensibilidade a segregação do solo e da brita no processo de execução, nenhuma contração por secagem ao ar, permeabilidade elevada, perda de umidade quando da compactação excessiva e baixa coesão. Também apresentam elevada penetração da imprimadura impermeabilizante na camada superficial da base.

Misturas Coesivas são bases com elevada sensibilidade a segregação do solo e da brita no processo de execução. Podem apontar contração por secagem ao ar, baixa permeabilidade, pequena perda de umidade na compactação e elevada coesão, ajudando sua aderência a camada de rolamento. Apresentam, ainda, excelente capacidade de receber compactação alcançando com facilidade o grau de compactação de 95% do Proctor Modificado.

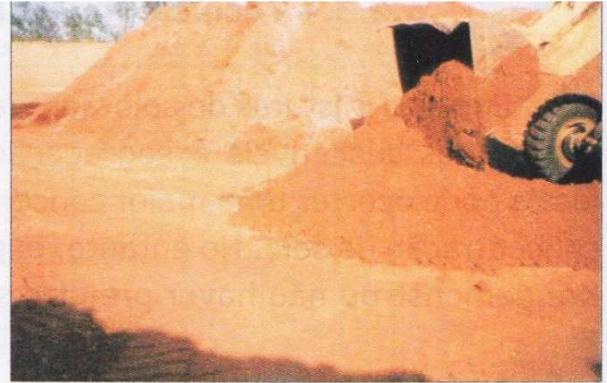
A figura 5.6 menciona algumas cidades onde já foram efetuadas as bases de SLAD, e é possível verificar suas etapas construtivas na figura 5.7.

CIDADE	ANO (início de execução)	TIPO DE BASE ESPESSURA	CAMADA DE ROLAMENTO ESPESSURA	ÁREA (1000m <sup>2</sup> )	CLASSIFICAÇÃO MCT
Ribeirão Preto	75	Solo Brita Descontínuo 15 cm	Macadame Betuminoso Selado – 5,0 cm CBUQ 5,0 cm	300	LA' – LG'
Araraquara	78	Solo Brita Descontínuo 12 - 15 cm	CBUQ 4,0 cm	400	LA'
Mirassol	86	Solo Brita Descontínuo 12 cm	TSD + Selante 1,5 cm	80	LA
Uchoa	86	Solo Brita Descontínuo 12 cm	TSD + Selante 1,5 cm	20	LA'
Itu	96	Solo Brita Descontínuo 15 cm	TSS + 3,0 cm CBUQ	600	LG'

Figura 5.6 - Cidades com pavimentos de Bases de SLAD  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)



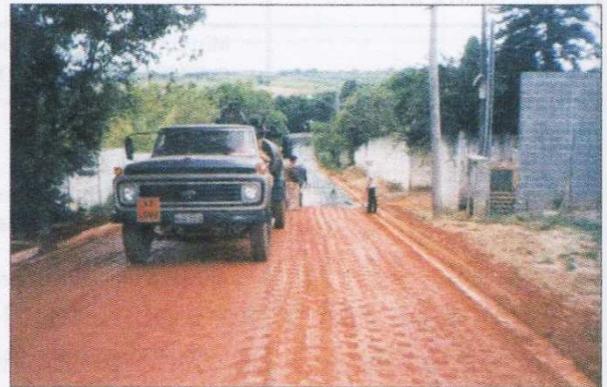
**Mistura de Solo e Pedra Britada para SLAD**



**Mistura de Solo e Pedregulho para SLAD**



**Compactação da Base**



**Imprimadura da Base**



**Textura do SLAD c/ Agregado Britado**



**Textura do SLAD c/ Agregado de Pedregulho**

**Figura 5.7 - Etapas construtivas de Bases de SLAD e aspecto de sua superfície**  
 Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

#### 5.4.1 CARACTERÍSTICA DE DESEMPENHO DO PAVIMENTO

As características de desempenho dos pavimentos verificados com base de SLAD são: (VILLIBOR *et al.*,2009)

- Ausência de ruptura de bases: não foi constatada nenhuma ruptura desse tipo, a não ser em pontos isolados, onde o nível d'água se encontra a pequena profundidade.

- Pequena deflexão: os valores de deflexões situam-se entre 20 a 60/100 mm.

- Condição hidrológica da base: as determinações dos teores de umidade, efetuadas na base, tem revelado valores abaixo da umidade ótima de compactação correspondente a energia de referência adotada.

- Ausência de lamelas na base: o fato de a mistura conter elevada porcentagem de agregado britado tem facilitado à técnica construtiva uma vez que, mesmo com elevada energia de compactação, não ocorrem lamelas causadas por super-compactação ou na fase de acabamento da mistura.

- Ausência de escorregamento do revestimento: devido ao elevado atrito entre a interface da base imprimada e o revestimento, mesmo em curvas fechadas.

- Trincamento no revestimento: este defeito ocorre muito esporadicamente, em locais isolados e é explicado pelo excesso de umidade na camada de solo-brita, especialmente em solos bastante coesivos.

## 5.5 BASES DE ARGILA LATERÍTICA

Em locais em que se apresentam climas tropicais úmidas ocorrem grandes camadas de solos lateríticos arenosos e argilosos, sendo os tipos argilosos mais frequentes, a não ser em certas regiões, como por exemplo, no noroeste do Estado de São Paulo, onde predominam os tipos arenosos finos. (VILLIBOR *et al.*,2009)

De acordo com o que foi apresentado, é de extrema importância a utilização de argilas lateríticas em bases de pavimentos de baixo custo, principalmente nas zonas periféricas de crescimento urbano mais recente. (VILLIBOR *et al.*,2009)

De acordo com Villibor *et al.*, foi realizado um Plano de Pavimentação em 1958 do DER/SP, sub-bases e reforços do subleito foram executados em grande escala, com uso de argilas lateríticas. A partir de meados da década de 80 a construção de trechos experimentais com uso de argilas lateríticas foi retomada nos Estados de São Paulo e Paraná. (VILLIBOR *et al.*,2009)

A figura 5.8 visualiza algumas cidades em que já foram executadas bases de Argila Laterítica.

CIDADE	ANO (início de execução)	CAMADA DE ROLAMENTO ESPESSURA	ÁREA (1000m <sup>2</sup> )	CLASSIFICAÇÃO MCT
Ribeirão Preto	75	Cravamento + 5,0 cm Macadame Betuminoso Selado	500	LG'
Jaú	80	Pé de Moleque + CBUQ 3,0 cm	500	LG'
Araraquara	80	Cravamento + 5,0 cm Macadame Betuminoso Selado	300	LG'
Ilha Bela	82	5,0 cm Macadame Betuminoso Selado	100	LG'

Figura 5.8 - Cidades com pavimentos de Bases de Argila Laterítica  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

### 5.5.1 CLASSIFICAÇÃO DA ARGILA LATERÍTICA PARA BASES DE PAVIMENTOS

É aceitável a utilização de argilas lateríticas em bases de pavimentos, quando não há viabilidade econômica de mistura-las com areia e/ou pedra britada. Ainda, elas somente

podem ser usadas em bases de trechos com tráfego muito leve, caracterizado por  $N \leq 10^4$  solicitações do eixo simples padrão de 80 kN. As argilas lateríticas devem demonstrar as seguintes características: (VILLIBOR *et al.*,2009)

- Classe L (comportamento laterítico) e grupo LG' (argilas lateríticas) da classificação MCT;

- Propriedades mecânicas e hídricas dentro dos intervalos indicados no gráfico de classificação MCT, quando compactadas na Energia Normal do Mini-Proctor, e granulometria com graduação que se enquadre nas faixas indicadas na figura 5.9;

PENEIRA (mm)	PORCENTAGEM QUE PASSA (%)
2,000	100
0,420	100 a 75
0,150	95 a 70
0,075	90 a 60

Figura 5.9 - Faixa Granulométrica utilizada para Bases de Argila Laterítica  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

Algumas características das argilas lateríticas utilizadas na pavimentação de vias urbanas da cidade de Jau são: (VILLIBOR *et al.*,2009)

- Massa específica aparente seca máxima moderadamente alta, em parte devido a presença de minerais de elevada massa específica real, sobretudo óxidos de ferro anidros e hidratados.

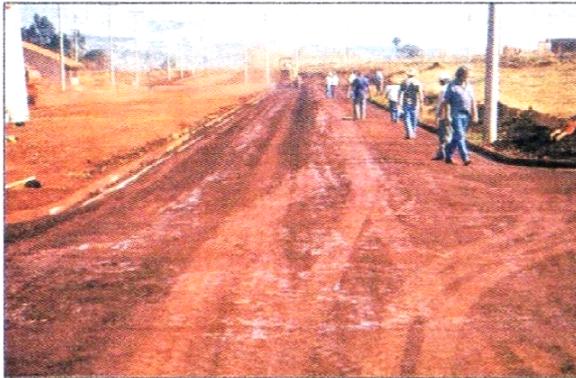
- Perda de massa por imersão em água ( $P_i$ ) na umidade ótima, moderadamente alta.

### 5.5.2 CARACTERÍSTICA DE DESEMPENHO DO PAVIMENTO

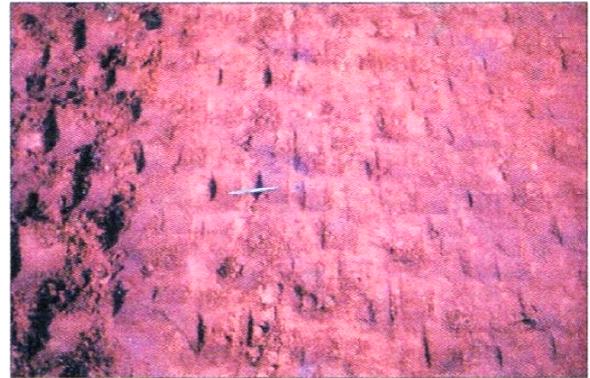
O desempenho dos pavimentos de baixo custo com bases de argila laterítica está ligado as características geotécnicas e de ocorrência das argilas lateríticas utilizadas. Essas argilas pertencem, predominantemente, a classe pedológica Latossolo roxo e são conhecidas, genericamente, por terra roxa, com grande ocorrência na região Centro-Sul do Brasil. (VILLIBOR *et al.*,2009)

Além disso, elas desenvolvem-se em condições bem drenadas em clima tropical úmido e apresentam, ainda, a peculiaridade de conter sempre apreciável porcentagem de substâncias derivadas de rochas cristalinas básicas. (VILLIBOR *et al.*,2009)

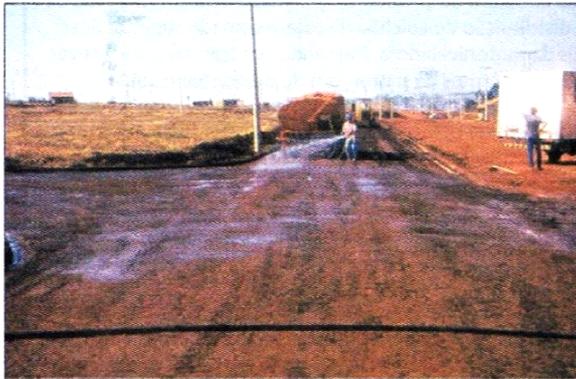
Segundo Villibor *et al.*, a camada de argila laterítica compactada demonstra trincamento, tanto na direção vertical quanto horizontal, formando blocos de solo de pequenas dimensões. No caso da execução de uma camada de revestimento de concreto betuminoso usinado a quente, ou de um tratamento superficial, observa-se uma propagação imediata das trincas da base, ficando a camada de rolamento trincada e com sua superfície similar à da base. As águas provenientes de chuvas infiltram pelas trincas, percolando para as camadas inferiores, resultando em defeitos que inviabilizam esses tipos de bases. No entanto os blocos da base (lajotas de solo de forma cubica) fora da área das trincas, apresentam valores de suporte elevados e baixa permeabilidade. Portanto, caso não apresentassem trincas verticais, tais bases funcionariam adequadamente para vias de tráfego leve.



**Preparo da Camada**



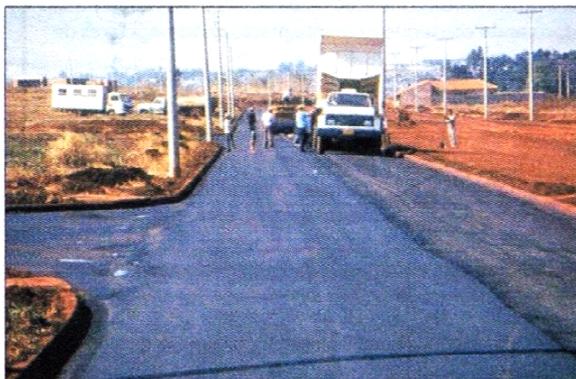
**Compactação**



**Umedecimento para Corte**



**Base em Processo de Corte**



**CBUQ sobre Camada Anti-Cravamento**



**Reflexão de Trinca no Revestimento**

Figura 5.10 - Etapas construtivas de Bases de Argila laterítica  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

## **6 IMPRIMADURAS ASFÁLTICAS E REVESTIMENTOS BETUMINOSOS**

### **6.1 IMPRIMADURAS ASFÁLTICAS**

#### **6.1.1 INTRODUÇÃO**

Grande parte dos pavimentos de baixo custo no Estado de São Paulo foi construída com camada de rolamento em tratamentos superficiais invertidos duplos ou triplos, por ser o tipo mais adequado de camada de revestimento para esses pavimentos.

A finalidade da impermeabilização, com a imprimadura asfáltica sobre bases de solos lateríticos são: (VILLIBOR *et al.*,2009)

- Aumento da coesão da parte superficial da base.
- Melhoria das condições de aderência da base ao revestimento.
- Aumento das condições de impermeabilização, dificultando a penetração de água que possa, eventualmente, infiltrar-se pelo revestimento.

#### **6.1.2 IMPRIMADURAS ASFÁLTICAS EM BASES DE ARGILA LATERÍTICA**

Sobre bases de argila laterítica, executa-se apenas uma imprimadura ligante, com o emprego de emulsão asfáltica de ruptura rápida, diluída em 40% de água, na taxa de 1,0 a 1,4 l/m<sup>2</sup>. (VILLIBOR *et al.*,2009)

O emprego de asfaltos diluídos não tem sido recomendado, sobretudo pela demora da cura (aproximadamente 72 horas, devido à baixa penetração do ligante na base) e custo mais elevado. Em contrapartida, as emulsões asfálticas têm sido utilizadas pela sua praticidade de aplicação, permitindo o início da execução da camada de rolamento praticamente de imediato. (VILLIBOR *et al.*,2009)

### 6.1.3 EXECUÇÃO DA IMPRIMADURA

Mesmo com a escolha do tipo de impermeabilização e da sua dosagem, é necessário seguir as recomendações construtivas indicadas a seguir para que a imprimadura cumpra sua função adequadamente: (VILLIBOR *et al.*,2009)

- Face a grande perda de umidade constatada em campo, a operação de compactação da base deverá iniciar com 1 a 2% acima da umidade ótima para que, no final do processo, a umidade esteja em torno da ótima de compactação;

- Evitar a superposição de faixas de irrigação na fase de compactação;

- O acabamento da base deverá ocorrer sempre em corte, para evitar a formação de lamelas e material solto na superfície da base o que, provocara escorregamentos do revestimento;

- Eliminar toda e qualquer partícula solta na superfície da base, com varredura e/ou jato de ar comprimido;

- Após a secagem da base, ela deverá ser irrigada levemente, com taxa de irrigação em torno de 0,5 a 0,8 l/m<sup>2</sup>, a fim de evitar a saturação da base e promover uma penetração adequada da imprimadura.

A imprimadura nunca deverá ser executada com o solo saturado por chuva ou eventual excesso de irrigação. (VILLIBOR *et al.*,2009)

## **6.2 REVESTIMENTOS BETUMINOSOS**

Uma das características da execução de pavimentos de baixo custo e a utilização de camada de rolamento de pequena espessura, geralmente de 1,0 a 3,0 cm, e a adoção de tratamento superficial duplo ou triplo invertido, com o uso de cimento asfáltico de petróleo, ou emulsão asfáltica RR-2C. (VILLIBOR *et al.*,2009)

A camada de rolamento em pavimentos de baixo custo não tem, necessariamente, função estrutural, mas sim a função de proporcionar segurança e conforto aos usuários, proteger a base das intempéries e evitar a ação abrasiva dos pneus dos veículos. (VILLIBOR *et al.*,2009)

Os processos executivos de revestimentos betuminosos dos tipos tratamento superficial e concreto betuminoso usinado a quente, seguem as especificações de serviço do DER/SP. (VILLIBOR *et al.*,2009)

### **6.2.1 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS (TS)**

#### **- Ligante Betuminoso**

Deverá ser utilizado cimento asfáltico de petróleo, do tipo CAP-7 ou CAP-20 e, no caso de emulsões asfálticas, o tipo RR-2C em estado natural, ou modificado por polímeros. (VILLIBOR *et al.*,2009)

#### **- Agregados**

Pode-se utilizar pedra-britada, cascalho ou seixo rolado britado. Esse material deve ser constituído por partículas limpas, duras e duráveis. A abrasão Los Angeles não deverá ser superior a 40% e a porcentagem de grãos defeituosos deverá ser inferior a 25%. (VILLIBOR *et al.*,2009)

#### **- Graduação**

Uma graduação utilizada com sucesso em tratamentos superficiais duplos invertidos, em diversos trechos no Estado de São Paulo e Paraná. (VILLIBOR *et al.*,2009)

## 6.2.2 CAMADA BETUMINOSA PRÉ-MISTURADA DE BLOQUEIO

A camada de bloqueio executada sobre bases de argila laterítica e constituída por uma camada betuminosa pré-misturada usinada, a quente ou a frio, composta exclusivamente por agregados de granulometria fina e ligante betuminoso. (VILLIBOR *et al.*,2009)

O pré-misturado denominado Pé de Moleque e espalhado sobre a base imprimada com o distribuidor de agregados rebocável, similar aos utilizados em tratamentos superficiais, em uma camada de cerca de 0,5cm de espessura e compactado com rolo de pneus de pressão variável, e rolo tandem de 5 a 8 toneladas. (VILLIBOR *et al.*,2009)

Essa camada não tem finalidade estrutural mas, de interligação entre a base e a camada de rolamento, além de inibir a propagação de trincas da base para o revestimento. Apresenta as seguintes características: (VILLIBOR *et al.*,2009)

- Granulometria aberta.
- Textura com aspecto do doce pé-de-moleque, daí a denominação.
- Elevado índice de vazios.
- Baixo teor de betume.

## 6.2.3 CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)

Nos dias de hoje tem-se usado como camada de rolamento em pavimentos de baixo custo, revestimento betuminoso usinado a quente, com espessura de cerca de 2,5 cm. (VILLIBOR *et al.*,2009)

Antes da aplicação de um concreto betuminoso (CBUQ) sobre bases de SAFL, ALA e de Argila Laterítica, e recomendável a execução de uma camada anticravelamento ou de bloqueio (TS ou Pé-de-moleque), com o objetivo de melhorar interface base/revestimento. A aplicação de CBUQ deverá ser efetuada com vibro-acabadora; a compactação, com rolo de pneus e rolo tandem liso leve. (VILLIBOR *et al.*,2009)

O revestimento betuminoso usinado a quente apresenta as seguintes peculiaridades: (VILLIBOR *et al.*,2009)

- Facilidade na execução de camadas delgadas, de apenas 2,5 cm.
- Elevado teor de betume.
- Camada compactada com textura superficial praticamente impermeável e elevada resistência a deformação. A técnica construtiva dessa camada segue os critérios

tradicionais; no entanto, deve-se tomar cuidados especiais na execução das juntas e no acabamento das sarjetas.

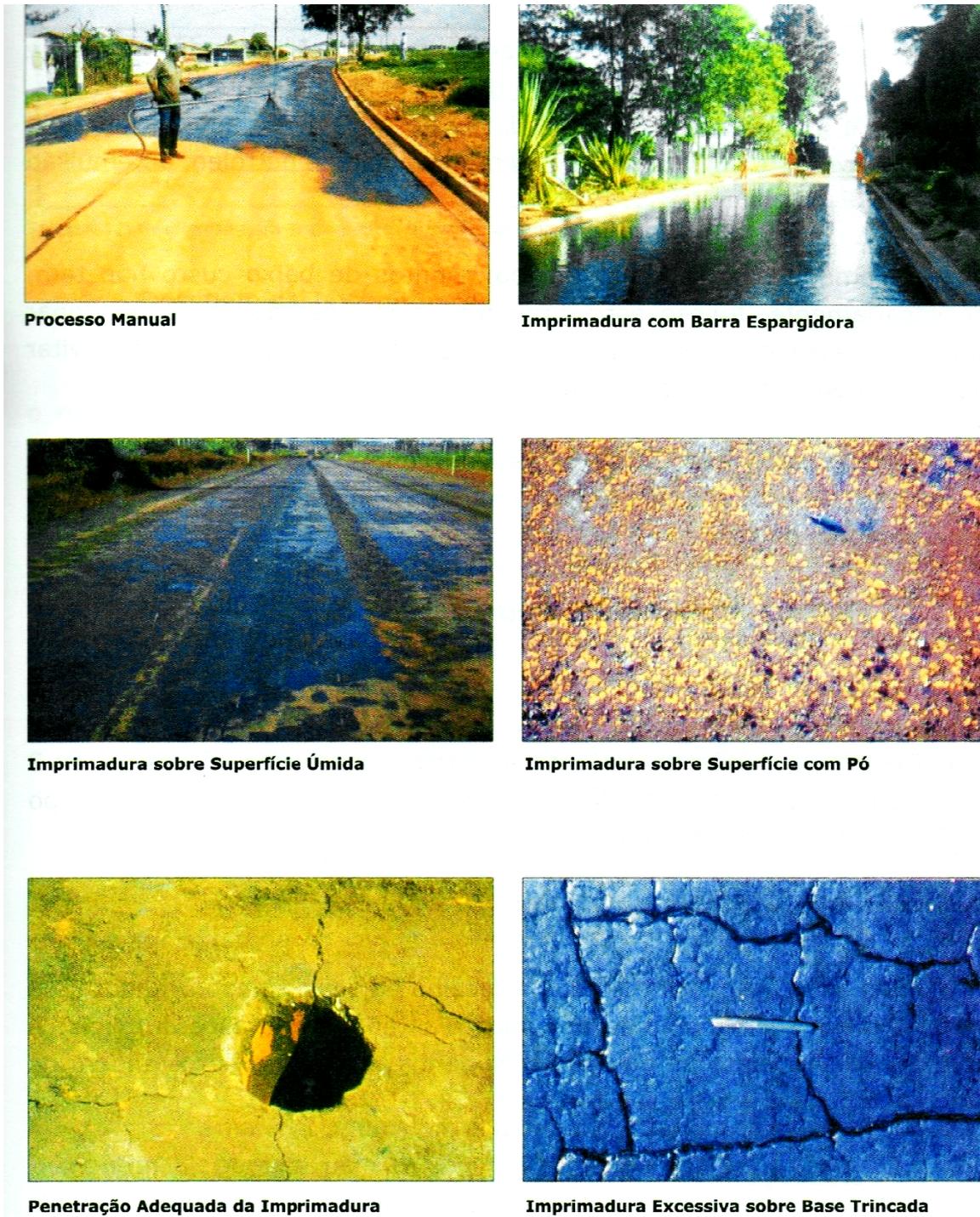
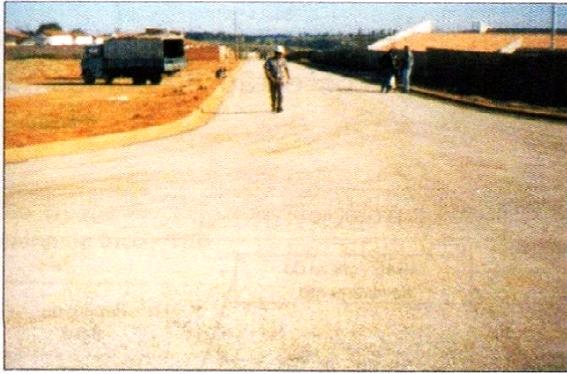
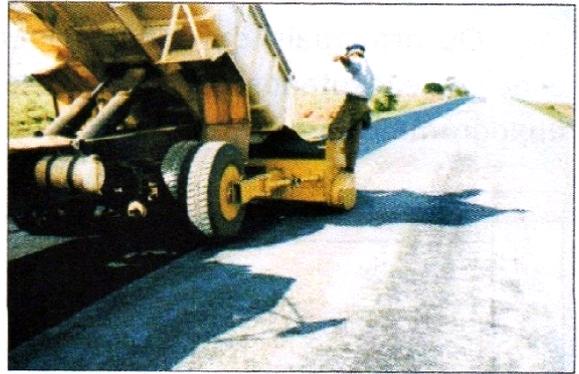


Figura 6.1 - Etapas de aplicação da Imprimaduras Asfálticas  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)



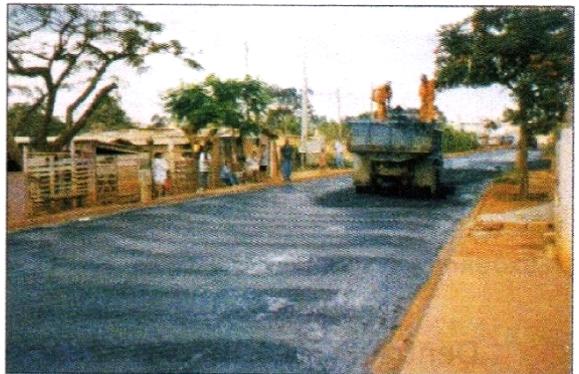
**Camada Anticrramento (TSS)**



**Execução de Tratamento Superficial Duplo**



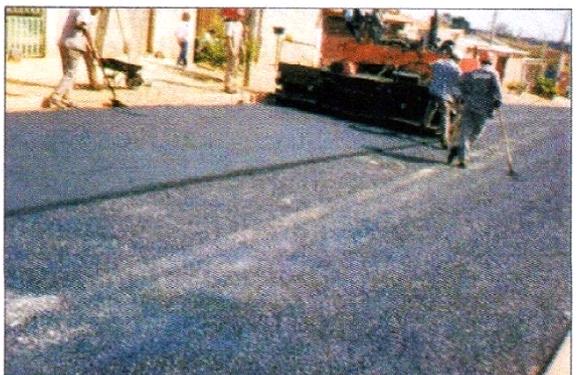
**Execução de Tratamento Superficial Duplo**



**Execução de TSD - Processo Manual**



**Revestimento de CBUQ**



**CBUQ sobre Camada Anti-Crramento**

Figura 6.2 - Etapas executiva da Camada de Revestimento Betuminosa  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

## **7 PAVIMENTOS CONVENCIONAIS**

Serão apresentados algumas definições e características técnicas de base de pavimentos convencionais utilizados nesta análise.

### **7.1 BRITA GRADUADA SIMPLES**

A BGS (brita graduada simples) são materiais resultante da mistura (em usina apropriada) de agregados britados que passaram por processo de peneiramento e classificados (divididos e estocados por faixas de diâmetro), sendo todas as suas frações provenientes de britagem, em geral de uma mesma rocha, resultando em mistura bem graduada, com umidade controlada em usina, seguida de compactação do material em pista. Seu emprego é dos mais amplos em pavimentação, tendo substituído, de modo relevante, o emprego de macadames hidráulicos, comuns no passado. (BALBO, 2007)

Constituem camadas de base e de sub-base de elevada qualidade quando compactadas corretamente, na energia modificada ou, ainda, além dessa. São normalmente empregadas em camadas de 100 mm a 150 mm diversos tipos de pavimentos e para quaisquer tipos de tráfegos. (BALBO, 2007)

Dentro das proporções no que se refere à granulometria, pode-se dizer que a brita graduada é tida como sucessora, e com certas vantagens, sobre a tradicional base de macadame hidráulica, pois a mesma confere algumas dificuldades inerentes a construção as quais são eliminadas na base de brita. (SENÇO, 2007)

#### **7.1.1 QUALIDADE DO AGREGADO**

O nível de desempenho mecânico do agregado está diretamente ligado a sua formação geológica, ou seja, propriedades geológicas da rocha de origem. Portanto, são importantes informações o tipo de rocha, sua composição mineralógica, sua composição química, sua granulação, seu grau de alteração, sua capacidade de resistência frente a abração ou fratura sob o tráfego e por último não menos importante adesão do ligante asfáltico em sua superfície. (BERNUCCI, 2008)

A variabilidade de agregados passíveis de utilização em revestimentos asfálticos ou até mesmo em bases de pavimentos flexíveis é muito grande, no entanto, cada utilização em particular requer agregados com características peculiares o que acaba inviabilizando muitas fontes potenciais. (BERNUCCI, 2008)

Os agregados dentro da mecânica dos pavimentos podem ser classificados em três grandes grupos, segundo sua natureza, tamanho e distribuição granulométrica. (BERNUCCI, 2008)

Os agregados submetidos a obras civis devem atender a certos valores, especificações que são avaliadas através de ensaios normativos. (BALBO, 2007)

### **7.1.2 TRANSPORTE DO MATERIAL**

A brita graduada produzida na usina deve ser descarregada sobre os caminhões basculantes e na sequência são transportadas para o local de aplicação. O material possui uma umidade na qual atingirá o valor especificado pelo projeto, portanto o mesmo deve ser devidamente coberto para assim então evitar uma possível perda de umidade. (DER/SP, 1991)

Por ser um material usinado e necessitar de um controle rigoroso, a estocagem não é permitida. E sua produção deve ocorrer a medida que forem aparecendo frentes de trabalho no local de sua aplicação. (DER/SP, 1991)

## **7.2 SOLO CIMENTO**

O emprego de misturas solo cimento em bases de pavimentos emergiu do fato de que, em muitas obras viárias, não se encontravam disponíveis a custo razoável (causado por grandes distâncias de transporte) os materiais britados, de tal sorte que, nos primórdios de sua utilização, era indicado o material como alternativa de pavimento de baixo custo. (BALBO, 2007)

Segundo Baldo (2007) que sugere teores de cimento não inferiores a 7% em massa ou 8% em volume para os solos finos, para os solos siltosos e argilosos que estudou predominantemente em seus experimentos. O autor também recorda que o atraso na compactação da mistura traz grandes prejuízos às propriedades mecânicas da mistura final

curada, de modo que se recomenda a compressão da mistura em prazo que não supere o tempo de início de pega do Solo Cimento. (BALBO, 2007)

### **7.2.1 EQUIPAMENTOS**

Para execução de base de solo-cimento, são indicados os equipamentos seguintes: (BALBO, 2007)

- a) Moto niveladora com escarificador;
- b) Pulvimisturador;
- c) Trator de esteiras ou pneumático;
- d) Carro-tanque distribuidor de água;
- e) Rolos compactadores tipo pé-de-carneiro, liso, liso-vibratório e pneumático;
- f) Sapo mecânico;
- g) Rolo vibratório portátil;
- h) Central de mistura de capacidade adequada à obra.

### **7.3 MACADAME HIDRÁULICO**

O macadame hidráulico é uma camada resultante da compressão de agregados graúdos seguida de preenchimento dos vazios, do agregado graúdo por agregado miúdos, o que é realizado com auxílio de varrição, de água e de compressão mecânica. (BALBO, 2007)

Durante décadas, o MH foi um material preferencial na pavimentação urbana, perdendo depois terreno para a BGS; em parte, esta alteração ocorreu pelo processo artesanal e mais lento de execução do MH, cujo resultado, em termos de qualidade, fica muito suscetível à experiência de quem o executa. (BALBO, 2007)

Os MHs são empregados tanto em camadas de base quanto de sub-base de pavimentos, geralmente com espessura entre 100 mm e 150 mm. Não existe critério de dosagem para o material, a não ser o próprio controle granulométrico dos agregados a serem empregados, sendo o processo de enchimento de vazios observado diretamente em campo, por meio de controle visual. (BALBO, 2007)

–Equipamentos

Para execução de base de solo-cimento, são indicados os equipamentos seguintes:  
(BALBO, 2007)

- a) Distribuidores dos agregados rebocáveis ou automáticos possuindo dispositivos que permitam um espalhamento homogêneo da quantidade de material desejado;
- b) Moto niveladora;
- c) Rolos compressores do tipo liso de três rodas ou tandem de 10 t a 12 t ou liso vibratório e rolos de pneus pesados de pressão variável;
- d) Carro tanque distribuidor de água com capacidade adequada devidamente equipado;
- e) Equipamentos auxiliares compostos de vassouras mecânicas, soquetes mecânicos, pequenas ferramentas, vassourões, etc.

## 8 ANÁLISES E COMENTÁRIOS

Este trabalho teve como objetivo analisar estudos realizados referentes à utilização de solos lateríticos em bases de pavimentos de vias urbanas, e conforme demonstrado tecnicamente nos capítulos anteriores, sendo uma opção para um excelente desempenho em camadas de pavimento de baixo custo, substituindo as bases convencionais.

Apesar de evidenciar uma boa capacidade de suporte e desempenho em sua estrutura, os pavimentos convencionais apresentam elevado custo que encarecem sua execução. Isto pode ser demonstrado com o transporte de material da jazida de grande distância, dificuldade para extração do material, utilização de grande quantidade de máquinas e equipamentos e além do impacto ambiental causado na exploração e retirada do material da jazida. Já as bases de solos lateríticos apresentando os mesmos desempenho e capacidade de suporte do solo, possuem baixo custo em relação às utilizadas atualmente em vias urbanas e com condições ambientais favoráveis.

Afim de obter uma comparação de custos foi realizado um estudo econômico de implantação de diversos tipos de pavimentos, utilizando-se bases convencionais constituídas por materiais pétreos e bases de solos lateríticos retirados da natureza e/ou misturas com agregados. Para isso, consideraram-se os seguintes itens: (VILLIBOR *et al.*,2009)

- Abertura de caixa.
- Melhoria e preparo do subleito.
- Execução de uma camada de reforço do subleito, com solo selecionado, na espessura de 15,0 cm.
- Transporte do reforço numa distância de 5 km.
- Camada de base, na espessura de 15,0 cm.
- Imprimadura impermeabilizante.
- Revestimento asfáltico, podendo ser Tratamento Superficial Duplo (TSD), Tratamento Superficial Triplo (TST), Macadame Betuminoso (MB) ou Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

Na figura 8.1, observam-se os custos para a implantação dos diferentes tipos de pavimentos, com bases convencionais e bases de solos lateríticos, e os diversos tipos de revestimentos asfálticos com seus respectivos custos. (VILLIBOR *et al.*,2009)

CUSTO TOTAL DO PAVIMENTO POR METRO QUADRADO (US\$ /m <sup>2</sup> )					
Preço Unitário TPU DER/SP Dez./2006. Valor do Dolar na Mesma data = R\$2,137					
BASES	REVESTIMENTOS (US\$/m <sup>2</sup> )	TSD (e=2cm)	TST (e=3cm)	MB (e=4cm)	CBUQ (e=3.5cm)
	INFRAESTRUTURAS (US\$/m <sup>2</sup> )	2,37	3,71	5,31	7,72
CONVENCIONAIS	Macadame Hidráulico 7,97	10,33	11,67	13,28	15,69
	Brita Graduada Simples 8,36	10,72	12,06	13,67	16,08
	Solo-Cimento 8% 7,25	9,62	10,96	12,56	14,97
ALTERNATIVAS	SLAD 50% 4,16	6,53	7,87	9,47	11,88
	ALA 25% 2,88	5,25	6,59	8,19	10,60
	SAFL 2,40	4,77	6,11	7,71	10,12
NOTAS:		1) Espessuras Bases e Reforços do Subleito = 15 cm 2) Distância de Transporte da Base e do Reforço = 5 km 3) Os preços das bases incluem o preparo do Subleito e o Transporte			

Figura 8.1 - Composição de Custos de diferentes tipos de pavimentos  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

Nos valores por metro quadrado apresentados nas figuras 8.1 e 8.2, pode-se visualizar que o revestimento tem custo relativamente elevado na composição de preço do pavimento chegando, para alguns tipos de pavimento, a superar o custo de execução das camadas de reforço do subleito e base. (VILLIBOR *et al.*,2009)

CUSTO DO REVESTIMENTO/(CUSTO DA BASE + INFRAESTRUTURA) (%)					
REVESTIMENTOS (US\$/m <sup>2</sup> )	TSD (e=2cm)	TST (e=3cm)	MB (e=4cm)	CBUQ (e=3.5cm)	
INFRAESTRUTURAS (US\$/m <sup>2</sup> )	2,37	3,71	5,31	7,72	
SAFL 2,40	98%	154%	221%	321%	
Brita Graduada Simples 8,36	28%	44%	64%	92%	

Figura 8.2 - Incidência do custo do revestimento nos custos da pavimentação  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

A figura 8.3 visualiza uma análise comparativa de custos entre pavimentos convencional (base de macadame hidráulico) e alternativo (base de solo arenoso fino laterítico). (VILLIBOR *et al.*,2009)

RELAÇÃO DO CUSTO PARA DIVERSOS REVESTIMENTOS				
REVESTIMENTOS	TSD (e=2cm)	TST (e=3cm)	MB (e=4cm)	CBUQ (e=3.5cm)
	2,37	3,71	5,31	7,72
MAC. HIDRÁULICO / SAFL	2,17	1,91	1,72	1,55

Figura 8.3 - Relação entre custos de pavimentos com bases de SAFL e Macadame Hidráulico  
Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009)

Verifica-se que o custo de implantação de um pavimento convencional com base de macadame hidráulico e TSD é maior do que o dobro do custo de um pavimento alternativo com base de SAFL e TSD. Para revestimentos mais distintos e espessos, com os mesmos tipos de bases mencionadas anteriormente, a diferença de custos também é bastante significativa. (VILLIBOR *et al.*,2009)

## 9 CONCLUSÃO

Diante do estudo apresentado ao longo deste trabalho, referente à utilização de pavimentos de baixo custo com bases de solos lateríticos, pode-se verificar no resultado obtido, segundo Villibor *et al.*, que o uso desse tipo de solo possibilita o dobro de área pavimentada com os mesmos recursos financeiros em comparação com bases de pavimentos convencionais. No entanto, é necessário ressaltar além do custo, os procedimentos de execução e a qualidade técnica das bases lateríticas, sendo natural ou com misturas de areia e/ou brita apresentam também um ótimo desempenho nos pavimentos.

Verificou-se também que, dependendo do tipo destas bases, é possível atender um tráfego urbano médio com custo viável na sua execução, desde que haja a presença de solos naturais em regiões próximas às obras, sem agredir o meio ambiente e com um transporte sem grandes distâncias; mas não apresenta bom resultado em pavimentos com tráfego intenso, principalmente de veículos de grande porte, sendo seu dimensionamento em rodovias limitado.

Portanto, pode-se concluir que sua execução e/ou utilização em locais urbanos é viável tecnicamente e financeiramente, tendo como embasamento as informações descritas e analisadas ao longo desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentos econômicos: Tecnologia do uso dos solos finos lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.

NOGAMI, J.S; VILLIBOR, D.F. **Pavimento de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Arte e Ciência, 1995.

VILLIBOR, Douglas Fadul. *et al.* **Pavimento de Baixo Custo para Vias Urbanas**. São Paulo: Arte e Ciência, 2009.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. 1 ed. Rio de Janeiro: Petrobrás ABEDA, 2008.

SENÇO, W de. **Manual de técnicas de Técnicas de Pavimentação**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2007

DER/SP-DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Normas-Pavimentação. Seção 3.06**. Sub-Bases e bases de brita graduada ou não com cimento. São Paulo 1991

MARANGON, MÁRCIO. **Proposição de Estruturas Típicas de Pavimentos para Região de Minas Gerais Utilização Solos Lateríticos Locais a Partir da Pedologia, Classificação MCT e Resiliência**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ, 2004.