

**ÉDER FRANCISCO MATTEDI**

**ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE ALGUNS LATOSSOLOS DA REGIÃO  
DO VALE DO PARAÍBA, ESTADO DE SÃO PAULO, PARA USO EM  
CAMADAS ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS DE BAIXO VOLUME DE  
TRÁFEGO.**

Guaratinguetá, SP - Brasil

2011

**ÉDER FRANCISCO MATTEDI**

**ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE ALGUNS LATOSSOLOS DA REGIÃO  
DO VALE DO PARAÍBA, ESTADO DE SÃO PAULO, PARA USO EM  
CAMADAS ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS DE BAIXO VOLUME DE  
TRÁFEGO.**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador:  
Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira

Guaratinguetá, SP - Brasil

2011

Mattedi, Eder Francisco  
M43      Estudo sobre o potencial de alguns latossolos da região do Vale do  
5e      Paraíba, estado de São Paulo, para uso em camadas estruturais de  
pavimentos de baixo volume de tráfego / Eder Francisco Mattedi –  
Guaratinguetá : [s.n], 2011.  
55 f. : il.

Bibliografia : f. 47-49

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade  
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira

1. Pavimentos 2. Latossolos I. Título

CDU 625.8

**ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE ALGUNS LATOSSOLOS DA REGIÃO DO VALE DO PARAÍBA, ESTADO DE SÃO PAULO, PARA USO EM CAMADAS ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO.**

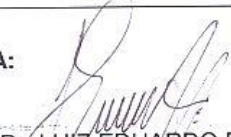
**ÉDER FRANCISCO MATTEDI**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL.

  
Prof.º. Dr.º. SILVIO JORGE COELHO SIMÕES  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. LUIZ EDUARDO DE OLIVEIRA  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof.º. MSc. CLEITON MANFREDINI  
UNESP-FEG

  
Prof.º. Dr.º. ANTONIO WANDERLEY TERNI  
UNESP-FEG

Guaratinguetá  
2011

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pela saúde, fé e perseverança que tem me dado. A meus pais, por todo esforço despendido em minha formação e aos meus familiares e amigos que tanto me apoiaram nesta etapa de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

É difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, nos momentos serenos e ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida, por isso primeiramente agradeço à todos de coração.

Agradeço aos meus pais, Edson Tadeu Mattedi e Maria Donizeth Bueno Pedroso Mattedi, pela determinação e luta na minha formação.

Agradeço a minha irmã Carla Renata Mattedi e minha sobrina Isabella Mattedi Motta, que por mais difícil que fossem as circunstâncias, sempre tiveram paciência e confiança.

De modo especial, agradeço a todos meus familiares que sempre me apoiaram e sempre estiveram presentes dividindo as dificuldades e compartilhando as alegrias.

Agradeço aos meus colegas de classe e com certeza futuros excelentes profissionais.

Agradeço aos professores que desempenharam com dedicação as aulas ministradas, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira.

E finalmente agradeço a Deus, por proporcionar estes agradecimentos à todos que tornaram minha vida mais afetuosa, além de ter me dado uma família maravilhosa e amigos sinceros. Deus, que a mim atribuiu alma e missões pelas quais já sabia que eu iria batalhar e vencer, agradecer é pouco. Por isso lutar, conquistar, vencer e até mesmo cair e perder, e o principal, viver é o meu modo de agradecer sempre.

## **RESUMO**

A proposta de pesquisa objetiva levantar, a partir de ensaios laboratoriais, algumas propriedades geotécnicas de latossolos da região do Vale do Paraíba e confrontá-las com as exigências prescritas nas especificações técnicas **ES-P 08/05** do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (sub-base ou base de solo arenoso fino de comportamento laterítico – SAFL) e **ET-DE-P00/006** (sub-base ou base de solo-brita), do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo DER/SP. Com base nos resultados obtidos avaliar-se-á o potencial de emprego desses solos, em camadas estruturais de pavimentos de baixo volume de tráfego.

**Palavras Chaves:** latossolos, solo-brita, pavimento

## **ABSTRACT**

The main purpose of this research is to raise, through lab rehearsals, the geometric properties of some oxisols from the region of Vale do Paraíba as well as comparing them to demands prescribed by Technical Specifications **ES-P08/05** of the Road Department of the State of Paraná, for sub-base or fine grained lateritic soil base (SAFL) and in the Technical Specification **ET-DE-P00/006** of the Road Department of the State of São Paulo (DER/SP) for sub-base or crushed stone base. According to the results that were obtained it will be feasible to appraise the usage of these sorts of soils in structure layers of low-weight traffic pavements.

**Keywords:** oxisols, soil gravel, pavement



## LISTA DE FIGURAS

## PÁGINAS

Figura 1	Localização da Região do Vale do Paraíba	20
Figura 2	Mapa Geológico da Região do Vale do Paraíba	21
Figura 3	Mar de Morros	22
Figura 4	Folhelho	23
Figura 5	Conglomerado	24
Figura 6	Hierarquização dos SAFL de acordo com a Classificação MCT	30
Figura 7	Vista parcial do Loteamento Portal dos Eucaliptos	32
Figura 8	Local de coleta da amostra 1	34
Figura 9	Local de coleta da amostra 2	34
Figura 10	Local de coleta da amostra 3	35
Figura 11	Local de coleta da amostra 4	35
Figura 12	Local de coleta da amostra 5	36
Figura 13	Local de coleta da amostra 6	36
Figura 14	Plasticidade das Amostras	38

Figura 15	Granulometria das Amostras	39
Figura 16	Classificação MCT-M das amostras naturais de solo.	40
Figura 1A	Arranjo de equipamento para a compactação do solo	49
Figura 2A	Curvas de deformabilidade	51
Figura 3A	Curva $c'$ x Mini-MCV	51
Figura 4A	Tanque de imersão com corpo de prova e recipiente de coleta	52
Figura 5A desprendida	Coeficientes de correção da $P_i$ em função da forma da porção	53
Figura 6A	Curva $P_i$ x Mini-MCV	54
Figura 7A	Ábaco de atributos das curvas $P_i$ x Mini-MCV	54
Figura 8A	Ábaco MCT-M para classificação de solos tropicais	55

## LISTA DE TABELAS

### PÁGINAS

Tabela 1	Informações sobre os locais de procedência das amostras de solo	33
Tabela 2	Resultados da caracterização geotécnica básica	38
Tabela 3	Parâmetros classificatórios MCT e classificações MCT-M das amostras.	40
Tabela 4	Resultados de ensaios de compactação, massa específica real das partículas sólidas e equivalente de areia.	41
Tabela 5	Resultados da verificação do atendimento às condições estabelecidas pelas inequações constantes na Condição A, da Especificação Técnica (ET-DE-P00/006).	41
Tabela 6	Resultados de ensaios de compactação e capacidade de suporte CBR	43

## LISTA DE QUADROS

PÁGINAS

Quadro 1	Requisitos para as sub-bases e bases de SAFL	29
----------	--	----

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
MCT-M	Miniatura, Compactado, Tropical – Modificado
MINI-MCV	EMCV miniatura
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Altura inicial do corpo de prova
A <sub>4n</sub>	Altura do corpo de prova após 4n golpes
a <sub>n</sub>	Diferença de altura
A <sub>n</sub>	Altura do corpo de prova após o número de golpes n
A <sub>t</sub>	Atributo
B	Número de golpes que resulta da intersecção da curva Mini-MCV com a reta de equação a <sub>n</sub> = 2,00mm.
c'	Coefficiente angular da parte da curva (ΔA <sub>n</sub> x Golpes) mais inclinada e retilínea
e'	Expressão matemática
H <sub>e</sub>	Teor de umidade de compactação
IP	Índice de Plasticidade
K	Fator de correção.
M <sub>d</sub>	Massa de solo seco da porção desprendida do corpo de prova
M <sub>g</sub>	Massa úmida do corpo de prova
M <sub>s</sub>	Massa seca em estufa do corpo de prova
P <sub>i</sub>	Perda de massa por imersão

## SUMÁRIO

	PÁGINAS
1. Introdução	16
2. Objetivo	18
3. Materiais e Métodos	19
4. Características físicas da área de estudo	20
4.1    Localização e Acesso	20
4.2    Geologia regional	21
4.3    Pedologia	25
4.4    Geomorfologia	26
5. Características exigidas para os solos arenosos finos lateríticos e solo brita	29
5.1    Solos arenosos finos lateríticos	29
5.2    Solo brita	31
6. Resultados obtidos e discussões	32
7. Conclusões	44
8. Referências bibliográficas	45
Anexo A - Propostas de alteração dos procedimentos para a classificação mct de solos tropicais	48

## **ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE ALGUNS LATOSSOLOS DA REGIÃO DO VALE DO PARAÍBA, ESTADO DE SÃO PAULO, PARA USO EM CAMADAS ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO.**

### **1. INTRODUÇÃO**

A região do Vale do Paraíba, localizada no leste do Estado de São Paulo, destaca-se por apresentar um crescimento significativo do seu parque industrial, com conseqüente aumento da população em seus municípios. Este crescimento tem exigido, por parte das prefeituras da região, um grande esforço para expandir e melhorar a infraestrutura urbana. Neste processo de expansão e melhoria, a pavimentação asfáltica destaca-se por onerar sobremaneira os cofres públicos. Tal fato tem motivado diversas prefeituras a buscar formas de reduzir os custos da pavimentação e, conseqüentemente, ampliar a malha viária pavimentada nos municípios.

Na Região do Vale do Paraíba ocorrem solos parcialmente evoluídos, notadamente nas colinas terciárias, os quais tendem a apresentar bom comportamento quando utilizados em camadas inferiores de estruturas de pavimentos, conforme estudos realizados por Oliveira (1998). Entretanto, poucos estudos têm sido desenvolvidos no sentido de avaliar o potencial de uso desses solos em camadas superiores de pavimentos, notadamente nos de baixo volume de tráfego. Na região, as bases dos pavimentos são construídas com material granular, destacando-se o emprego de brita graduada e de macadame hidráulico, o que encarece sobremaneira o custo final da pavimentação.

Segundo Villibor (1974), no Estado de São Paulo, concentradas nas regiões norte, noroeste e central, as ocorrências de “Solos Arenosos Finos” abrangem aproximadamente 46,6% da sua área total. Em São Paulo, as primeiras experiências de emprego de “Solos Arenosos Finos” em camadas de bases de pavimentos ocorreram em 1967, em uma pista de uma variante de trânsito da Rodovia Washington Luiz (SP-310), construída pelo DER-SP através da firma TALAVASSO, denominada Variante do Periquito. Esses solos,



embora não atendam integralmente as exigências das especificações tradicionais para as bases estabilizadas granulometricamente, as quais fixam faixas granulométricas e limites de consistência (Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade), apresentam elevado Índice de Suporte Califórnia (CBR) atingindo, frequentemente, valores superiores a 100% quando compactados na energia “Modificada” e na umidade ótima.

Considerando-se a necessidade de buscar soluções alternativas para reduzir os custos da pavimentação e propiciar um melhor aproveitamento do potencial dos solos parcialmente evoluídos da região do Vale do Paraíba, este trabalho propõe verificar o enquadramento de alguns latossolos da região do Vale do Paraíba nas especificações técnicas ES-P 08/05 do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (sub-base ou base de solo arenoso fino de comportamento laterítico – SAFL) e **ET-DE-P00/006** (sub-base ou base de solo-brita), do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo DER/SP.

## 2. OBJETIVO.

Objetiva verificar o enquadramento dos solos analisados na Especificação Técnica **ES-P 08/05** do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná para sub-base ou base de solo arenoso fino de comportamento laterítico – SAFL e na Especificação Técnica **ET-DE-P00/006** do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP) para sub-base ou base de solo-brita. Com base nos resultados obtidos avaliar-se-á o potencial de emprego desses solos, em camadas estruturais de pavimentos de baixo volume de tráfego.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS:

Para execução das atividades de campo e laboratório utiliza-se a infraestrutura da Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá (FEG-UNESP), composta pela biblioteca, o pólo computacional, o setor de viaturas e o laboratório de transportes.

As amostras de solos, após coletadas através da abertura de trincheiras em áreas de ocorrências de solos parcialmente evoluído e, preferencialmente, em áreas urbanas, foram encaminhadas ao Laboratório de Transportes da FEG/UNESP para ensaios as normas e procedimentos abaixo relacionados:

- Solo – Análise granulométrica.(NBR-7181/84),
- Solos – Determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito (DNER-ME 122-94),
- Determinação do limite de plasticidade (DNER-ME 082-94);
- Ensaio de Mini-MCV, executado conforme a proposta apresentada por Marson (2004). (Anexo A).
- Ensaio de compactação Proctor e de CBR (DNER-ME 48-64) e (DNER-ME 50-64)
- Equivalente de Areia (DNER-ME 54-63)
- Densidade real de solos (DNER-ME 93-64)

À partir dos resultados dos ensaios acima mencionados, as amostras foram classificadas segundo os sistemas USCS (Unified Soil Classification System) e MCT-M (Miniatura, Compactado, Tropical - Modificado) conforme proposto por Vertamatti (1988).

Ao final, os resultados obtidos serão confrontados com algumas recomendações constantes nas especificações técnicas, ES-P 08/05 do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (sub-base ou base de solo arenoso fino de comportamento laterítico – SAFL) e ET-DE-P00/006 (sub-base ou base de solo-brita), do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo DER/SP, para utilização em camadas de sub-base e base de pavimentos de baixo volume de tráfego.

## 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A região do Vale do Paraíba, cortada pelo Rio Paraíba do Sul que lhe dá o nome, localiza-se no leste do Estado de São Paulo entre as coordenadas 22° 24' e 23° 40' S e 44° 09' e 45° 16' W, perfazendo aproximadamente 13.000 Km<sup>2</sup>.

A região é acessada basicamente pela rodovia BR-116 (Rodovia Presidente Dutra), pela antiga estrada São Paulo - Rio de Janeiro que passa por São José do Barreiro e Bananal, e também pela Estrada de Ferro MRS-Logística.

As vias transversais que ligam o Vale do Paraíba a cidades como Campinas, Campos do Jordão, Itajubá, Passa Quatro, Parati, Ubatuba, Caraguatatuba e outras, também constituem-se em importantes vias de penetração, sendo interligadas por estradas de menor importância. As dificuldades naturais de acesso à região são ocasionadas por obstáculos constituídos pelos altos da Serra da Mantiqueira ao norte, e pelas Serras de Bocaina, Quebra Cangalha, Jambeiro e do Mar ao sul.

Através da Figura 1 ilustra-se a localização da região do Vale do Paraíba, no Estado de São Paulo.

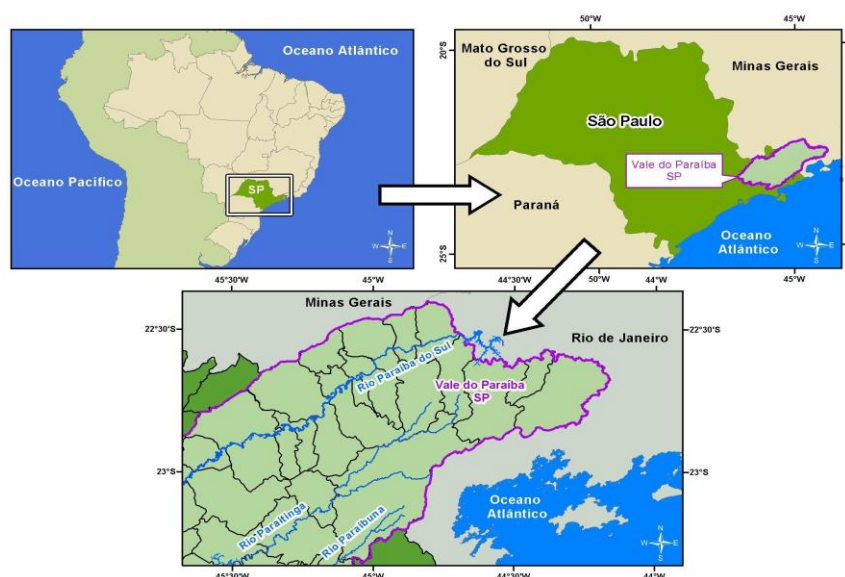


Figura 1 - Localização da região do Vale do Paraíba, SP.

## 4.2. GEOLOGIA REGIONAL

A evolução geológica do leste paulista pode ser descrita em termos de três grandes eventos tectônicos: O Ciclo Transamazônico, o Ciclo Brasileiro e a Reativação Wealdeniana. Durante o Ciclo Transamazônico, desenvolveu-se o Grupo Paraíba, cujas litologias presentes compõem-se de migmatitos complexos, rochas metadioríticas e metaliasíticas e granulitos. Durante o Ciclo Brasileiro, desenvolveu-se o Grupo Açungui, que é caracterizado por filitos, xistos, quartzitos, rochas calcossilicatadas, calcários metamórficos, metaconglomerados, anfibolitos e rochas migmatíticas, estando presente em todos os compartimentos tectônicos. Por último, ocorreu a Reativação Wealdeniana, a qual teve início em tempos Juro-Cretácicos com injeção de diques de diabásio e no Cretácio-Terciário a injeções de magma alcalino.

No Terciário médio e superior, ocorreu um recrudescimento da atividade tectônica, originando assim, o *Graben* do Paraíba, o qual, em função da sua geometria, foi preenchido por uma sequência sedimentar formando a Bacia de Taubaté. Esta deposição realizou-se em condições iniciais predominantemente lacustres (Formação Tremembé), passando, a seguir, a predominantemente fluviais (Formação Caçapava).

Finalmente, desenvolveram-se no Quaternário aluviões ao longo do Rio Paraíba do Sul, assim como outras formações detríticas de menor porte.

Através da Figura 2, apresenta-se o Mapa Geológico da Região do Vale do Paraíba.

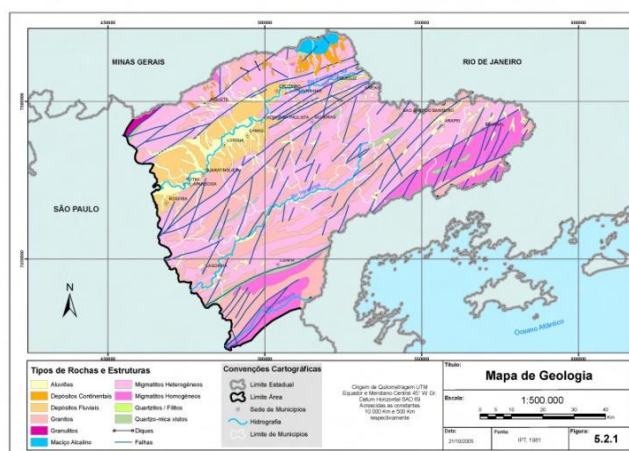
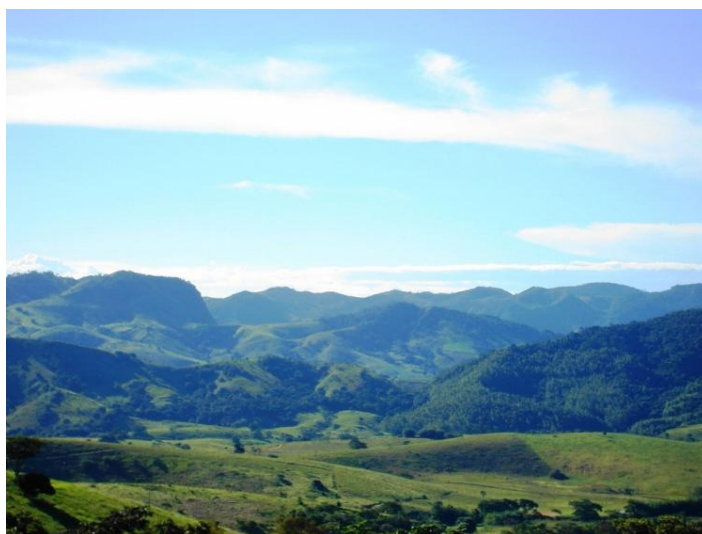


Figura 2. Mapa geológico (IPT, 1981) mostrando as diferentes unidades litológicas e as principais direções de lineamentos regionais. Apud: Soares et al (2008).

Diante disso, temos que o médio do Vale do Paraíba pode ser dividido em dois compartimentos: Vale Inferior e Superior. O primeiro compartimento comporta a parte mais desenvolvida da zona de morros, tendo influência estrutural mais observável, o segundo, se caracteriza pela faixa sedimentar que acompanha o Rio Paraíba nos morros recortados, formando a bacia e os alinhamentos como os observados na Serra de Quebra Cangalha, conforme ilustra a Figura 3.



*Figura 3. Mar de Morros.*

*Apud.: [http://br.olhares.com/mar\\_de\\_morros\\_foto1288051.html](http://br.olhares.com/mar_de_morros_foto1288051.html).*

*Data de acesso: (28/09/2010)*

**Bacia de Taubaté:** Faz parte de um conjunto de bacias tafrogênicas cenozóicas, que se dispõe sobre uma faixa orientada segundo a direção ENE, subparalela às principais feições estruturais da região sudeste do Brasil (ALMEIDA, 1976).

Localizada entre a Serra da Mantiqueira e do Mar, no Planalto Atlântico, apresenta forma alongada com aproximadamente 170 km de comprimento, largura média de 25 km e espessura máxima de sedimentos de 850 m.

Os sedimentos terciários e quaternários (aluviões) compõem a bacia, que pertence ao Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (RICCOMINI, 1989), relacionada à tectônica distensiva de idade terciária. Esta bacia assenta-se sobre rochas ígneas e metamórficas do Cinturão de Dobramentos Ribeira, datadas desde o Paleoproterozóico até o Neoproterozóico (HASUI & PONÇANO, 1978).

O conjunto de sedimentos é denominado Grupo Taubaté, que possui duas unidades, a Formação Tremembé e a Formação Caçapava.

**Formação Tremembé:** É constituída por depósitos lacustres que se interligam lateralmente com os sedimentos da Formação Resende, e constitui a unidade mais representativa da porção central da bacia. Esta formação apresenta as fácies argilitos verdes maciços, dolomitos tabulares, ritmitos formados por alternância de folhelhos e margas, arenitos com estratificação cruzada sigmoidal e granodecrescência de areia média até silte e arenitos grossos arcoseanos (RICCOMINI, 1989).

Segundo Suguio (2003), a Formação Tremembé é rica em fósseis e contém restos de peixes, ossos de aves, mamíferos e répteis, além de ostracóides, gastrópodes, insetos, macrorrestos (folhas e caules) e microrrestos (polens e esporos) vegetais e são de idades entre o Oligoceno e o Mioceno. Ainda segundo esse autor, nesta formação ocorrem os folhelhos pirobetuminosos e prováveis depósitos turbidíticos lacustres. Através da Figura 4 ilustra-se um pequeno detalhe de um folhelho.



Figura 4. Folhelho.

Apud. :<http://www.geoturismobrasil.com/Material%20didatico/Rochas%20Sedimentares.pdf>  
Data de acesso: (15/09/2010)

**Formação Caçapava:** Segundo Sousa (2001), a Formação Caçapava (TQc) encontra-se sobreposta à Formação Tremembé exibindo uma descontinuidade erosiva e compondo-se de conglomerados, arcóseos, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos formados em condições essencialmente



fluviais de canais, planícies de inundação e lagos esparsos, apresentando no topo depósitos recentes de turfa (BRANDALISE et al, 1976). A turfa, atualmente não é explorada como recurso energético e a água subterrânea possui grande potencialidade (IPT, 1978). Através da Figura 5 ilustra-se um pequeno detalhe de um conglomerado.



*Figura 5. Conglomerado.*

*Apud.: <http://www.geoturismobrasil.com/Material%20didatico/Rochas%20Sedimentares.pdf>*

*Data de acesso: (15/09/2010)*

**Sedimentos Quaternários:** Os depósitos quaternários são constituídos por aluviões pré-atuais, atuais, depósitos coluviais e depósitos de tálus, configurando os únicos ambientes de agradação hodierna.

Pelo motivo de o Período Quaternário ser breve, com curto espaço de tempo geológico envolvido, seus depósitos são pouco espessos e apresentam distribuições descontínuas. Não há dúvida de que a quantidade de eventos climáticos registrados, especialmente nos sedimentos oceânicos (Emiliani, 1955; Shackleton e Opdyke, 1973; Berggren et al, 1980), mais que o dobro dos glaciais e interglaciais distinguidos nos depósitos continentais, ressalta o contraste entre o Quaternário e os demais períodos de tempo geológico: não simplesmente a ocorrência de fases quentes e frias, mas a freqüência e a amplitude das oscilações climáticas registradas dentro de um intervalo de tempo geológico bastante curto. No entanto, este contraste está ligado, pelo menos em parte, à preservação (e reconhecimento) dos registros de flutuações climáticas no passado geológico, pois, como discutido por Fisher (1982), existem indícios de mudanças cíclicas de caráter regional na natureza



sedimentológica e biológica do registro fanerozóico, só atribuíveis a mudanças globais no clima.

A partir disso, temos, conforme sua origem, o grande número de falhas na região e a sua localização intraplacas, um tectonismo ativo, representados por movimentos de distensão, sendo a região mais sísmica do Estado de São Paulo e sendo agravante de ocorrências relacionadas ao movimento de massas como escorregamentos e deslizamentos.

Essa região apresenta predomínio de rochas pré-cambrianas, podendo ser bem estruturadas e podendo ter uma alta variação na composição mineralógica dessas rochas, determinando variações de suscetibilidades quanto ao intemperismo físico dessas rochas.

Então, temos que a região do Vale do Paraíba, tem um relevo diverso, sendo constituído por cerca de doze unidades geomorfológicas, tendo portanto, áreas de planícies aluvionares de baixa declividade e áreas de relevos de serras (mares de morros) de alta declividade.

### 4.3. PEDOLOGIA

Usando a classificação de solos da EMBRAPA, temos cinco unidades de solo na região do Vale do Paraíba, que são (nome seguido de sua sigla segundo a classificação do EMBRAPA):

- **Latosolos Vermelhos – Amarelos (LVA):** São bem desenvolvidos, não tem minerais primários, tendo alta capacidade de drenagem, sendo encontrados na maioria do Vale do Paraíba, estando em regiões de relevo de baixa declividade (pouco ondulados), de altitudes de 500 m a 1000 m, possibilitam a infiltração e a percolação da água. São provenientes de rochas metamórficas como granitos e gnaisses e como tem horizontes bem definidos são menos erodíveis pela chuva.
- **Argissolos Vermelho – Amarelo (PVA):** Tem horizonte B textural, ricos em argila em profundidade, sendo encontrado em regiões de alta declividade (ondulados e fortemente ondulados) de altitudes de 750 m a

1300 m. São provenientes de granitos, gnaisses e xistos, tendo o solo descoberto, sendo que, conforme o índice de precipitação da área pode agravar processos erosivos.

- **Cambissolos Háplicos (CH) e Cambissolos Húmicos (CX):** Tem horizonte B pouco espesso, tendo minerais primários intemperizáveis. São localizados nas áreas de Serra e Zona Montanhosa como a Serra do Mar, Serra da Mantiqueira, sendo portanto, característico de áreas acidentadas de alta variação de declividade (fortemente ondulado até escarpado) e de altitudes maiores do que 1000 m. São formadas por associações graníticas, sendo solos muito erodíveis.

- **Gleissolos Melânicos (GM):** São ricos em matéria orgânica, tem nível freático próximo a superfície, estando localizados, segundo o IAC, na Bacia de Taubaté acompanhando o Vale até Cachoeira Paulista, tendo portanto, áreas de baixa declividade (plano a suavemente ondulada) de altitudes baixas de 400 m a 500m, tendo pouca capacidade de drenagem.

- **Espodossolos (E):** São localizados no litoral Paulista, tendo sua formação relacionada a situação do Mar e de bacias muito antigas.

O Vale do Paraíba é composto por três compartimentos, os quais apresentam abundância de sedimentos, caracterizando sua tectônica ventilada.

#### 4.4. GEOMORFOLOGIA

O sudeste do Brasil constitui uma unidade a parte no bloco continental ou então da América do Sul onde antigas superfícies aplainamento sugerem a existência de uma estrutura irregular, fraturada e falhada, constituída predominantemente terrenos pré-cambrianos (Ab'Saber e Bernardes, 1956).

Movimentos diastróficos, arqueanos e fraturamentos, que originaram a Serra do Mar, o Vale do Paraíba e a Mantiqueira estão ligados a reativação tectônica da plataforma brasileira, particularmente intensa desde o fim do Jurássico até o Quaternário, esse fenômeno consiste em uma reorganização

estrutural da plataforma, que se parte em blocos. Acompanhando antigas fraturas a plataforma ergue-se em arqueamentos e montanhas de blocos, e difere localmente em bacias tectônicas nas quais acumulam sedimentos em espessuras que podem atingir milhares de metros.

A Bacia de Taubaté corresponde ao abatimento de blocos de falhas, produzidas durante o Terciário Superior, levando em conta o período geológico durante os quais se desenvolveram esses movimentos crustais, podemos considerar como pertencentes ao estágio neotectônico, período de tempo geológico ligado a evolução da atual topografia, e a áreas de sedimentos cenozóicos que se desenvolveram ao longo do rio Paraíba, onde existem terraços formados durante o Quaternário e colinas terciárias.

Os morros cristalinos emolduram a faixa central aparecendo em níveis mais altos e constituindo como degraus intermediários entre as áreas sedimentares, mais baixas, e os alinhamentos mais altos.

Os terraços Quaternários, localizados a altitudes entre 3 e 8 m acima da planície de inundação, aparecem de forma descontínua ao longo do vale, na Bacia de Taubaté aparecem ao longo de trechos consideráveis em Taubaté e Caçapava, enquanto em Guaratinguetá, Lorena e Cachoeira Paulista são mais raros.

Nos terrenos Terciários, que correspondem a calha aluvial, aparece uma série de níveis intermediários de terraços e colinas que se desenvolveram mais ou menos de forma contínua ao longo do rio, estes níveis intermediários entre os quaternários e os terrenos pré-cambrianos ficaram preservados de forma mais notável sobre a margem direita do rio, especialmente entre Jacareí e Aparecida e entre Guaratinguetá e Cachoeira Paulista. Entre Aparecida e Guaratinguetá um patamar terciário desdobra-se em diversos níveis e aparece com maior amplitude a margem esquerda do Paraíba.

Com suas formas amplas, topos achatados e encostas suavemente inclinadas, este relevo colinoso atinge seu nível mais alto entre 615-650m de altitude.

A derrubada da floresta higrofila e a degradação dos solos que protegiam as encostas contribuíram para a alteração do freático, que já não tem capacidade de armazenar as chuvas excessivas. Antes da intervenção do homem, esta água armazenada contribuía para manter a correnteza dos

afluentes do Paraíba ao longo do ano. Hoje as enchentes e os deslizamentos nas vertentes são constantes na região.

O conjunto de terras baixas associados ao Paraíba no trecho que se estende entre Lorena e Guaratinguetá, caracteriza-se entres outros aspectos, por apresentar variações consideráveis na sua largura ao longo de um percurso relativamente curto. O rio Paraíba aparece dentro da bacia em meio a terrenos parcialmente alagadiços, a várzea em torno do rio varia entre 2.5 a 4 km, em Aparecida percebe-se um alargamento (cerca de 2,5 a 3 km) e em Guaratinguetá a planície volta a se estreitar.

Os solos da Bacia de Taubaté apresentam características diferenciadas nos diversos setores. Assim, nas áreas mais permanentemente hidratadas apresentam solos turfosos, formados por acúmulo de matéria orgânica, as áreas de aluvião apresentam ondulações de pouca altura (1m), predominando solos de textura siltica arenosa, sendo que na maioria dos locais a areia aparece escassa a profundidade de 1 a 1,5 m. A textura muda para argila-siltosa nas áreas mais altas da várzea e encontramos no freático a pouca profundidade (0,6 a 1,3 m), nas partes planas mais afastadas do Paraíba os solos pertencem ao tipo argiloso, no qual o superficial, de cor cinzento rosado, repousa sobre o outro argiloso, cinzento escuro.

A influência do homem foi muito forte na formação da paisagem atual da região, e iniciou-se com a derrubada da mata por volta do fim do século XVIII, para o plantio do café. A retirada da mata modificou, em primeiro lugar, o clima e o solo, as amplitudes térmicas aumentaram, do mesmo modo a variação da umidade, intensificou o processo de transporte de sedimentos contribuindo para o empobrecimento do solo, a queimada, processo comum até o final do século XX, também contribuiu para o impermeabilização do solo, com o final do cultivo do café a atividade pecuária intensificou, bem como atualmente o problema do crescimento desordenado das cidades emergiu (Coltrinari, 1975).

## 5. CARACTERÍSTICAS EXIGIDAS PARA OS SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS E SOLO BRITA

### 5.1 SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS

A especificação de serviços rodoviários ES-P 08/05 do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER-PR define o solo arenoso fino laterítico como aquele em que predomina a fração areia fina, e que foi submetido, durante sua formação, aos processos geológicos designados genericamente por laterização. São características típicas dos solos arenosos finos lateríticos:

- a) a presença considerável de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio;
- b) a presença de caulinita, na condição de argilo-mineral praticamente exclusivo;
- c) macroestrutura e microestrutura da parte fina porosas, e
- d) coloração vermelha, amarela, marron e alaranjada.

O solo arenoso fino laterítico deverá atender os requisitos constantes do Quadro 1 abaixo

Quadro 1. Requisitos para as sub-bases e bases de SAFL. Fonte: DER-PR (2005)

ITEM	SUB-BASE	BASE
% p # 40	85 a 100	85 a 100
% p # 200	20 a 40	23 a 35
IP (%)	NP a 10	5 a 10
ISC (%)	> 40	> 80 para $N \geq 10^5$
		> 60 para $N \leq 10^5$
Expansão (%)	< 0,1	< 0,1
Teor de argila (%)	> 12	> 12

A energia de compactação a adotar como referência é a intermediária ou a modificada para sub-base, e a modificada para base.

A especificação técnica **ET-DE-P00/015** do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, apresenta a classificação MCT, esta é apresentada a seguir e posteriormente verifica-se o enquadramento das amostras de solos nesta classificação.

Na classificação MCT, recomenda-se que seja obedecida a seguinte seqüência de preferência de escolha dos tipos – ver Figura 6:

- tipo I, com prioridade da subárea próxima à interface com tipo II,  $c'$  compreendido entre 1,3 a 1,8;
- tipo II, com prioridade da subárea próxima à interface com tipo I,  $c'$  compreendido entre 1,0 a 1,3;
- tipo III, com prioridade da subárea próxima à interface com tipo II,  $c'$  compreendido entre 0,7 a 1,0;
- tipo IV,  $c'$  compreendido entre 0,3 a 0,7 e  $e'$  maior 1,0.

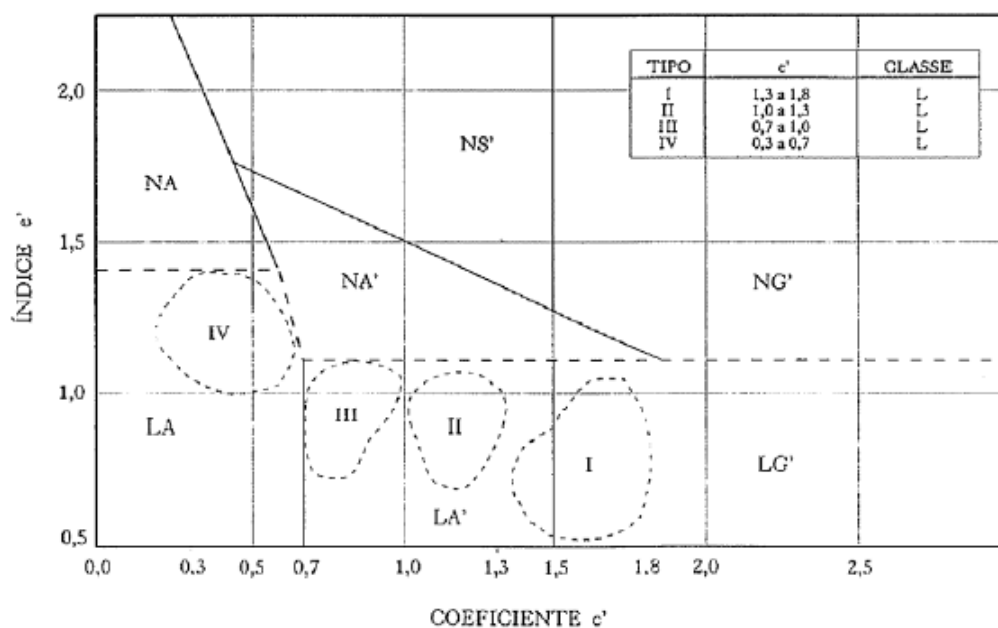


Figura 6. Hierarquização dos SAFL de acordo com a Classificação MCT. Fonte: DER-SP (1989)

## 5.2 CARACTERÍSTICAS EXIGIDAS PARA SOLO-BRITA.

A Especificação Técnica ET-DE-P00/006, do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, que versa sobre sub-base ou base de solo brita, estabelece como critério principal que os materiais finos dos solos, isto é, com diâmetro inferior a 0,42 mm devem satisfazer as seguintes condições:

apresentar limite de liquidez inferior a 25%;

apresentar índice de plasticidade inferior a 6%.

Comparando-se os resultados dos ensaios de plasticidade verifica-se que, os materiais considerados não atendem os requisitos acima, ainda que as amostras 05 e 06, tenha seus limites próximos de atenderem. Entrementes, a citada especificação tolera, na impossibilidade de atender os limites acima, valores de wLL e wIP maiores, desde que sejam satisfeitas uma das seguintes condições abaixo:

### Condição A:

- sejam satisfeitas as seguintes inequações:

$$(X/100) \cdot wIP \leq 100/pd - [X \cdot (wLP/100) + (100/ps)]$$

(1)

$$(X/100) \cdot wLL \leq 100/pd - 100/ps$$

(2)

Onde:

X – porcentagem em peso de material que passa na peneira de abertura 0,42 mm;

wLL – limite de liquidez;

wLP – limite de plasticidade;

wIP – índice de plasticidade;

pd - massa específica aparente seca máxima após a compactação na energia intermediária;

ps - massa específica real das partículas sólidas.

### Condição B:

O equivalente de areia deve ser superior a 30%.

## 6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os locais de coleta das amostras de solo e os resultados preliminares dos ensaios de caracterização geotécnica e de Mini-MCV, das amostras de solos naturais. Para os solos arenosos finos lateríticos avaliou apenas o enquadramento dos solos no grupo da classificação MCT- I, II, III ou IV como demonstrado na Figura 6, e suas características de plasticidade e granulometria e capacidade de suporte CBR e expansão.

Foram coletadas um total de 6 (seis) amostras de solo em 3 (três) municípios da região do Vale, sendo: duas em Pindamonhangaba, duas em Guaratinguetá e duas em Lorena

No Loteamento Residencial Portal dos Eucaliptos, localizado no município de Pindamonhangaba, foram coletadas as amostras 1 e 2. Situado às margens da Rodovia SP 62 – Antiga Estrada Velha São Paulo - Rio de Janeiro, no Distrito de Moreira César, este loteamento, em fase de implantação, possui 230.332,60 m<sup>2</sup> de área, com um amplo sistema viário.

A topografia da área do loteamento apresenta-se bastante plana, conforme ilustra a Figura 7, o que poderá dificultar uma adequada drenagem superficial no sistema viário, podendo, eventualmente, comprometer o bom desempenho dos pavimentos a serem construídos no local. Na área observou-se a ocorrência de solo superficial parcialmente evoluído, sendo identificado através do Mapa geológico (figura 2) como Latossolo Amarelo – LA6.



*Figura 7. Vista parcial do Loteamento Portal dos Eucaliptos: Observa-se a topografia plana da área. Data da registro da imagem: 08/09/2010 Fonte: Autor.*



Na Tabela 1 apresentam-se informações sobre os solos considerados e as respectivas coordenadas dos locais de amostragem, e através das Figuras 8 até 13 ilustram-se os locais de coleta.

*Tabela 1. Informações sobre os locais de procedência das amostras de solo*

AMOSTRA	LOCAL	LATITUDE	LONGITUDE	UNIDADE PEDOLÓGICA
1	Av. 9 (Est. 2 – eixo)	22° 53,472' S	45° 23,202' W	Latossolo Amarelo LA6
2	Av.6 (Est. 36 – eixo)	22° 53,824' S	45° 23,020' W	Latossolo Amarelo LA6
3	Guaratinguetá Santa Luzia	22° 48,444' S	45° 14,209' W	Latossolo Amarelo LA5
4	Guaratinguetá São Manoel	22° 46,204' S	45° 12,845' W	Latossolo Amarelo LA5
5	Lorena Novo Horizonte	22° 44,991' S	45° 05,282' W	Latossolo Amarelo LA6
6	Lorena Brisas do Campo	22° 45,903' S	45° 08,179' W	Latossolo Amarelo LA6



*Figura 8. Local de coleta da amostra 1. Data de registro da imagem: 08/09/2010.  
Fonte: Autor.*



*Figura 9. Local de coleta da amostra 2. Data de registro da imagem: 08/09/2010.  
Fonte: Autor.*

No município de Guaratinguetá – SP, foram coletadas as amostras 3 e 4 nos bairros Santa Luzia e São Manoel respectivamente. Nota-se que em ambos bairros, o sistema viário não conta com pavimentação nem com coleta de águas pluviais como pode ser visto nas figuras 10 e 11.



*Figura 10. Local de coleta da amostra 3. Data de registro da imagem: 14/09/2010.  
Fonte: Autor.*

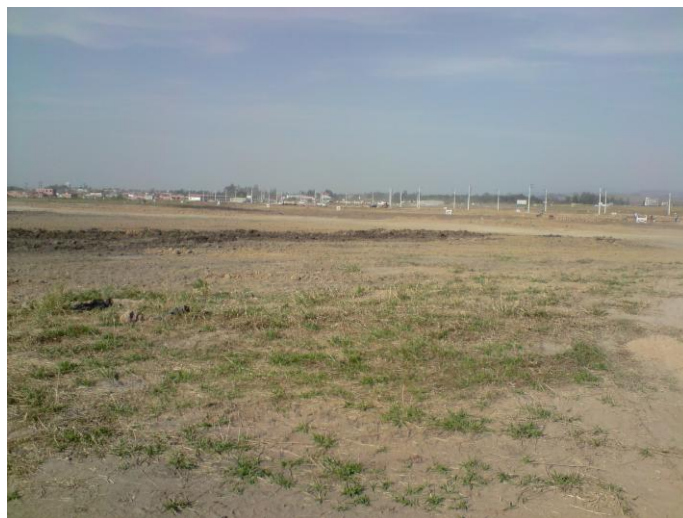


*Figura 11. Local de coleta da amostra 4. Data de registro da imagem: 14/09/2010.  
Fonte: Autor.*

No município de Lorena – SP, foram coletadas as amostras 5 e 6 nos bairros Novo Horizonte e Brisas do Campo respectivamente. Nota-se que em ambos bairros, o sistema viário não conta com pavimentação nem com coleta de águas pluviais como pode ser visto nas figuras 12 e 13.



*Figura 12. Local de coleta da amostra 5. Data de registro da imagem: 14/09/2010.  
Fonte: Autor.*



*Figura 13. Local de coleta da amostra 6. Data de registro da imagem: 14/09/2010.  
Fonte: Autor.*

No Laboratório de Transportes da FEG/UNESP, as amostras foram submetidas a ensaios de caracterização geotécnica básica e de Mini-MCV. Os resultados preliminares obtidos e as classificações das amostras, através do Sistema Unificado, encontram-se apresentados na Tabela 2. Nas Figuras 14 e 15 apresentam-se, respectivamente, a localização da amostras na Carta de Plasticidade de Casagrande e as curvas de distribuição granulométrica.

Analisando-se os resultados constantes na Tabela 2, observa-se que as amostras apresentaram características de solos argilo-arenosos de baixa plasticidade, sendo classificadas como CL (argila pouco plástica arenosa).

Considerando-se os limites de plasticidade estabelecidos nas especificações de serviços rodoviários ES-P 08/05 do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER-PR. Observa-se que os solos considerados apresentaram índices de Plasticidade acima do especificado com exceção das amostras 5 e 6 que apresentaram índices de plasticidade igual a 8% e 9% respectivamente.

As amostras 3 e 4, representativas da unidade pedológica LA5, apresentaram percentuais de partículas passando através da peneira #200 superiores às das demais amostras, coletadas na unidade pedológica LA6.

Através da Figura 15, que apresenta as curvas de distribuição granulométrica das amostras e a faixa granulométrica estabelecida para os SAFL, conforme apresenta Villibor (1974), observa-se que as amostras apresentam fração granular constituída essencialmente por areia fina, com menor percentual de areia média. Nota-se, também, que as amostras representativas da unidade pedológica LA6 (amostras 1, 2, 5 e 6) apresentaram percentuais de partículas passando através da peneira # 200 dentro dos limites estabelecidos na faixa dos SAFL. Entretanto, estas mesmas amostras apresentam carência de fração areia fina para o seu melhor enquadramento na referida faixa. As amostras 3 e 4, procedentes da unidade pedológica LA5, apresentaram percentuais de partículas passando na peneira # 200 fora dos limites estabelecidos para os SAFL, com excesso de partículas finas (silte + argila).

Considerando-se que a especificação de serviços rodoviários ES-P 08/05 do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER-PR, estabelece que o solo arenoso fino laterítico deve possuir percentual de partículas passando na peneira # 200 entre 20% e 40%, para emprego em camada de sub-base, e entre 23% e 35% para emprego em camada de base, verifica-se que as amostras 1 e 2, também, apresentam excesso de partículas finas (silte + argila).

Tabela 2. Resultados da caracterização geotécnica básica

AMOSTRA	1	2	3	4	5	6
Limite de Liquidez (%)	29	30	47	36	29	24
Limite de Plasticidade (%)	15	19	33	24	21	15
Índice de Plasticidade (%)	14	11	14	12	8	9
Granulometria (% que passa)	# 10	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	# 16	98,6	98,4	100,0	98,8	98,3
	# 30	95,9	95,8	95,8	96,1	91,5
	# 40	87,8	90,2	92,8	93,5	83,7
	# 50	75,9	79,5	89,1	90,1	75,2
	# 100	53,0	57,5	79,0	77,8	57,7
	# 200	43,6	45,8	69,3	61,4	30,9
Classificação "USCS"	CL	CL	CL	CL	CL	CL

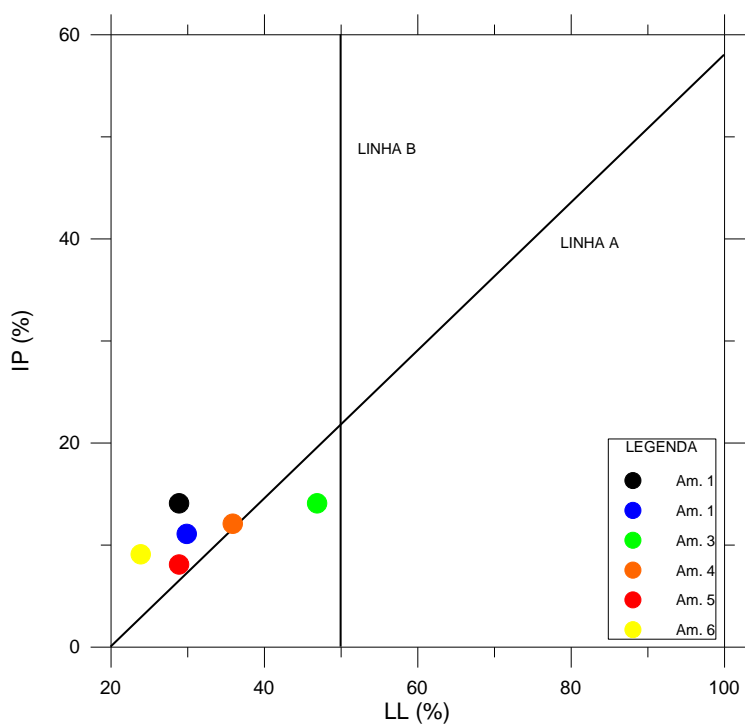


Figura 14. Plasticidade das amostras

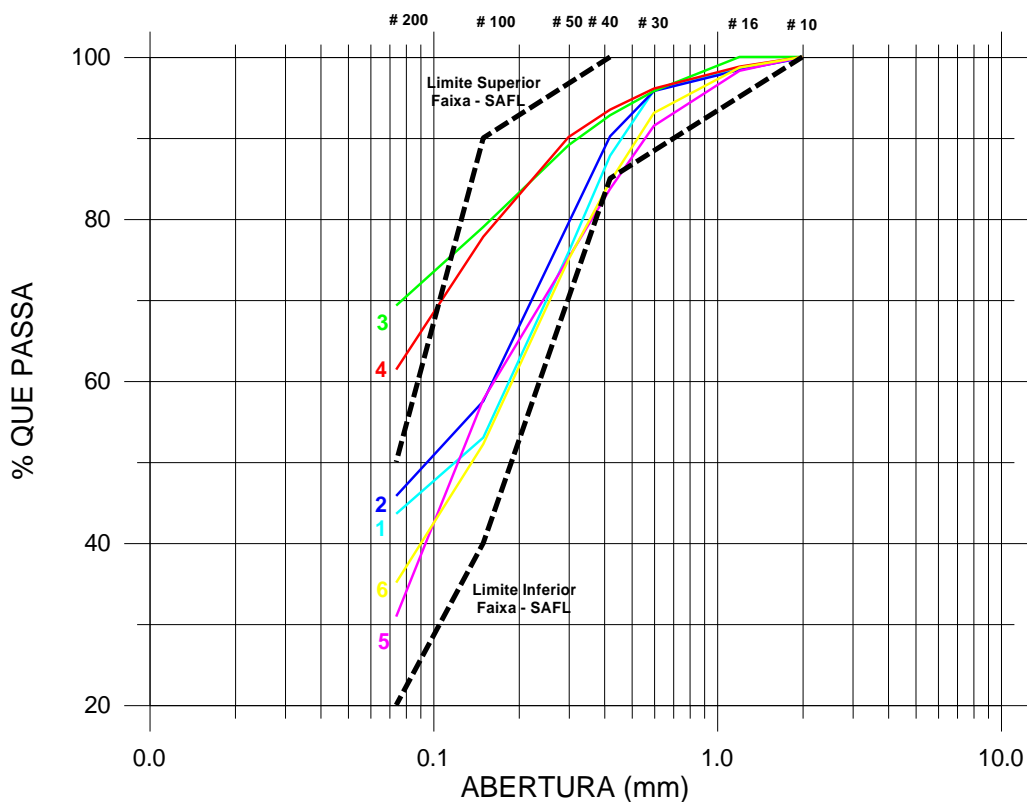


Figura 15. Granulometria das amostras.

Na Tabela 3 apresentam-se os valores dos parâmetros classificatórios MCT e as respectivas classificações MCT-M das amostras, e na Figura 16 indicam-se as localizações das amostras no ábaco classificatório MCT-M.

Dos resultados apresentados observa-se que as amostras foram classificadas como solos de comportamento laterítico areno-argiloso (LA`G`) e solos de comportamento laterítico argiloso (LG`). Confrontando-se os resultados obtidos com as áreas apresentadas na Figura 16, observa-se que as amostras 1, 5 e 6 enquadraram-se na área dos SAFL Tipo I, e as amostras 2, 3 e 4, situaram-se próxima a esta área.

Tabela 3. Parâmetros classificatórios MCT e classificações MCT-M das amostras.

Amostra	Parâmetros Classificatórios MCT			Classificação MCT-M
	Pi (%)	c'	e'	
1	20	1,67	0,63	LA`G`
2	5	1,40	0,45	LA`G`
3	50	2,00	0,71	LG`
4	28	1,82	0,53	LG`
5	40	1,60	0,89	LA`G`
6	45	1,42	0,95	LA`G`

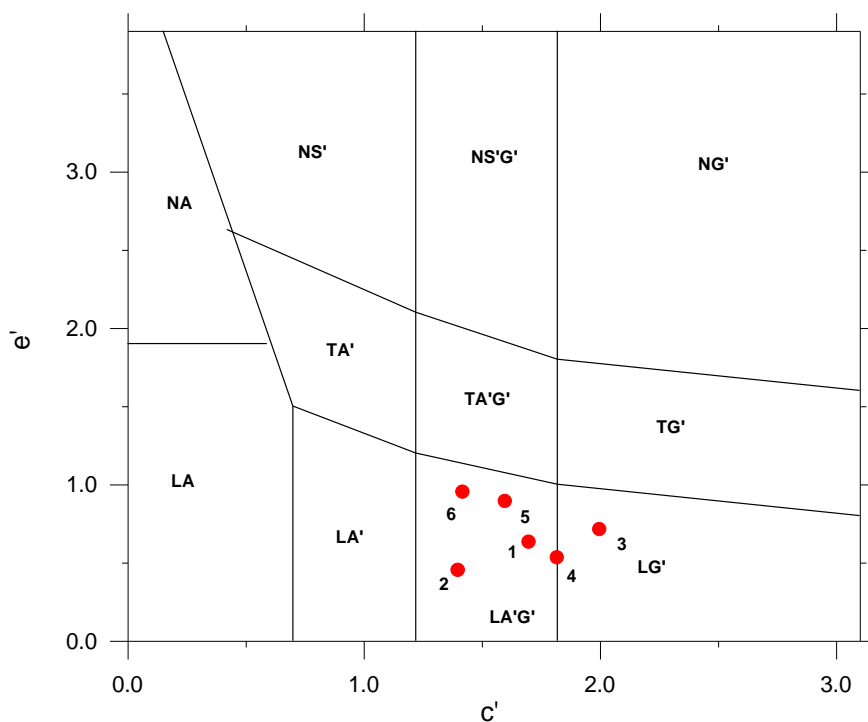


Figura 16. Classificação MCT-M das amostras naturais de solo.

No estudo do potencial de uso dos solos, considerando-se a especificação solo-brita e verificando-se as condições A e B nela contidas, foram realizados ensaios de compactação, de determinação de massa específica real das partículas sólidas, e de equivalente de areia, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela 4.



Tabela 4 – Resultados de ensaios de compactação, massa específica real das partículas sólidas e equivalente de areia.

AMOSTRA	01	02	03	04	05	06
Teor de Umidade Ótima (%)	14,5	15,0	22,0	18,0	15	13,0
Massa específica aparente seca máxima $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,82	1,82	1,61	1,72	1,82	1,90
Massa específica real das partículas sólidas - $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,69	2,70	2,71	2,69	2,70	2,71
Equivalente de areia (%)	19	12	08	09	20	17

Com base nos resultados acima apresentados, avaliou-se o enquadramento dos solos nas condições estabelecidas pelas inequações indicadas na condição A, obtendo-se os resultados constantes da Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da verificação do atendimento às condições estabelecidas pelas inequações constantes na Condição A, da Especificação Técnica (ET-DE-P00/006).

AMOSTRA	01	02	03	04	05	06
a	12,29	9,92	12,99	11,22	6,70	7,61
b	4,60	0,77	-5,41	-1,48	0,33	3,04
c	25,46	27,06	43,62	33,66	24,27	20,30
d	17,77	17,91	25,21	20,96	17,91	15,73

Na Tabela 5, tem-se:

$$a = (X / 100) \cdot w_{IP} \quad (3)$$

$$b = 100/\rho_d - [X \cdot (w_{LP}/100) + (100/\rho_s)] \quad (4)$$

$$c = (X / 100) \cdot w_{LL} \quad (5)$$

$$d = 100/\rho_d - 100/\rho_s \quad (6)$$

Dos resultados constantes das Tabelas 4 verifica-se que, nenhum dos solos considerados apresentou EA superior a 30%. Entretanto, deve-se destacar que estes solos apresentam, conforme revelam os resultados dos ensaios de granulometria indicados na Tabela 2, frações retidas na peneira 200

constituídas predominantemente por areia fina, evidenciando que os resultados obtidos nos ensaios de equivalentes de areia e granulometria não são consistentes.

Na Tabela 5, que apresenta os resultados da verificação do atendimento às condições estabelecidas pelas inequações constantes na Condição A, da Especificação Técnica (ET-DE-P00/006), observa-se que as amostras não atenderam aos requisitos impostos. Entretanto, deve-se enfatizar as preocupações externadas por renomados autores como Nogami e Villibor (1980) e Sória (1986), os quais, dentre outras observações, destacam que em razão dos países sub-desenvolvidos e em desenvolvimento localizarem-se, na sua maioria, em regiões tropicais e sub-tropicais e serem importadores naturais de tecnologia por encontrarem-se em um estágio menos avançado cientificamente, tem-se registrado, ao longo do tempo, experiências relatando diversas incompatibilidades quando da aplicação das metodologias citadas nesses países, notadamente no que se refere à seleção e escolha de materiais para comporem estruturas de pavimentos. Conforme relatos feitos por Santana (1976), que constatou que alguns solos com características tecnológicas que não se enquadravam nas especificações rodoviárias usuais, apresentavam bom comportamento geotécnico quando utilizados em obras, citando-se, como exemplo típico, a utilização de solos lateríticos em camadas estruturais de pavimentos.

Tabela 6 – Resultados de ensaios de compactação e capacidade de suporte CBR

AMOSTRA	COMPACTAÇÃO PROCTOR (ENERGIA INTERMEDIÁRIA)		CAPACIDADE DE SUPORTE CBR (ENERGIA INTERMEDIÁRIA)		
	$\rho_{d_{máx}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	W <sub>ót.</sub> (%)	$\Delta w$ (%)	CBR (%)	Exp. (%)
01	1,82	14,5	+1,1	10	0,8
02	1,82	15,0	-1,3	10	1,0
03	1,61	22,0	+1,6	13	1,3
04	1,72	18,0	+1,2	11	1,2
05	1,82	15,0	-1,0	14	1,5
06	1,90	13,0	+1,4	16	1,8

Na Tabela 6 são apresentados os resultados dos ensaios de compactação e capacidade de suporte CBR, observando-se que os valores indicados na coluna ( $\Delta w$ ) representam os desvios dos teores de umidade de moldagem dos corpos-de-prova, em relação aos teores de umidade ótima correspondentes aos ensaios Proctor.

Os ensaios de compactação foram realizados na energia do Proctor Intermediário, por ser a normalmente utilizada em camadas de sub-base e base de vias urbanas e estradas vicinais, e os resultados, apresentados na Tabela 6, evidenciam o carácter argiloso dos solos considerados.

Os resultados de capacidade de suporte CBR, se considerados à luz das especificações clássicas para seleção de materiais para comporem estruturas de pavimentos, conduzem à não utilização desses solos em camadas de sub-base e base.

## 7. CONCLUSÕES

Considerando-se a especificação de serviços rodoviários ES-P 08/05 do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER-PR, conclui-se que os solos necessitam de pequenas correções granulométricas para um melhor enquadramento na faixa estabelecida para os SAFL. Com as correções granulométrica, que ocorrerão com a adição de areia fina, os índices de plasticidade das amostras também sofrerão modificações, possibilitando o seu enquadramento nos limites estabelecidos na citada especificação de serviço.

Os resultados da caracterização geotécnica dos solos considerados neste estudo revelaram o seu caráter argiloso. Esses materiais, não atenderam os requisitos constantes da Especificação Técnica ET-DE-P00/006, do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. Entretanto, apesar da consideração sobre o elevado grau de dispersão a que estão sujeitos os resultados de ensaios de plasticidade, os quais constituem os principais parâmetros para seleção de solos nas misturas solo-brita.

Portanto os solos estudados neste trabalho, segundo as especificações ES-P 08/05 do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná e a ET-DE-P00/006 do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, não são ideal ao uso de solo-areia ou solo-brita, porém deve-se realizar a mistura com areia ou com brita e posteriormente verificar se passam a atender as especificações para uso em sub base ou base de pavimentos de baixo volume de tráfego.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N.; BERNARDES, N. 1956. Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. **Engenharia, Mineração e Metalurgia**, 24 (143). p.284-292.

ALMEIDA, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 48 (Supl.), p.15-26, 1976.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**. Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

BRANDALISE, L. A.; RIBEIRO, J. H.; FERRARI, P. G. **Projeto Vale do Paraíba do Sul: relatório final**. DNPM/CPRM. Belo Horizonte, 1976.

BERGGREN, W.A.; BURCKLE, L.H.; CITA, M.B.; COOKE, H.B.S.; FUNNELL, B.M.; GARTNER, S.; HAYES, J.D.; KENNETT, J.P.; OPDYKE, N.D.; PASTOURET, L. SHAKLETON, N.J.; TAKAYANAGI, Y. Towards a new Quaternary time scale. **Quat. Res. New York**, 13(3): 377-202, May.1980.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 08/05**. – Pavimentação: Solo Arenoso Fino Laterítico. Curitiba, 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **ET-DE-P00/015**. – Sub-base ou base de solo arenoso fino de comportamento laterítico – SAFL. São Paulo, 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **ET-DE-P00/006**. – Sub-base ou base de solo-brita. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 48-64**: Compactação de solos, Brasília, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 50-64**: Índice de suporte Califórnia de solos, Brasília, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 082-94**: Solos – Determinação do limite de plasticidade, Brasília, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 122-94**: Solos – Determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito, Brasília, 1994.

EMILIANI, C. Pleistocene Temperatures. **J. Geol.** Chicago 63(6): 538-78, Nov. 1955

HASUI, Y. & PONÇANO, W.L. Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, v. 1, p. 368-381.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Geologia da folha de São José dos Campos**. São Paulo, IPT, 1978, v.1.

MARSON, M. – **Análise crítica da Classificação MCT para solos tropicais**. Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. São José dos Campos, 2004.

OLIVEIRA, L.E. 1991. **Caracterização geotécnica de latossolos do Vale do Paraíba para finalidades viárias**. (Dissertação de Mestrado), ITA, São José dos Campos.

RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. 1989. 256f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SENÇO, W. **Pavimentação**. 3ª. ed. São Paulo. Grêmio Politécnico, 1980.

SHAKLETON, N.J. & OPDYKE, N.D. **Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific cores V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10 year and 10 year scale**. *Quat. Res.* New York 3(1): 39-55, jan.1973.

SOARES, P. V.; PEREIRA, S. Y.; SIMÕES, S. J. C.; BERNARDES, G. P.; BARBOSA, S. A. **Mapa de infiltração do alto e médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos do meio físico e na precipitação**. *Ambi-Agua*. Taubaté, v. 3. N.1, p.26-42, 2008.

SOUZA, M.L. **Estudos Geológico-Geotécnicos de feições erosivas**

**voltadas a tomada de procedimentos d decisões quanto a medidas correlativas, mitigadoras e preventivas – Aplicações no município de Umuarama – PR. 2001.** Rio Claro Universidade Estadual Paulista. Tese (Doutorado em Geociências).

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

VERTAMATTI, E. **Contribuição ao conhecimento geotécnico de solos da Amazônia com base na investigação de aeroportos e metodologias MCT e Resiliente**. 1988. 156 f. Tese (Doutorado em Ciência) – Divisão de Infra-estrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1988.

VILLIBOR, D.F. 1974. **Utilização de solo arenoso fino na execução de bases para pavimento de baixo custo**. (Dissertação de Mestrado), EESC-USP, São Carlos.

VILLIBOR, D.F. e SÓRIA, M.A. **A técnica construtiva das bases de solo arenoso fino laterítico**. An. EPUSP, São Paulo, 1 (Série A, pt. 4); 127 – 155, 1988.

## ANEXO A

### PROPOSTAS DE ALTERAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS PARA A CLASSIFICAÇÃO MCT DE SOLOS TROPICAIS

MARSON (2004) propôs alterações nos procedimentos para a Classificação MCT, as quais são apresentadas a seguir. Tais alterações visaram, também, tornar as normas de ensaios (DNER-ME 256/94, DNER-ME 258/94 e DNER-CLA 259/96) mais simples e objetivas, evitando que se cometam erros na classificação das amostras decorrentes da falta de clareza do texto contido nelas.

#### 1. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO Mini-MCV

##### 1.a. **Preparação da amostra:**

A amostra de solo deve ser seca ao ar, destorroada e homogeneizada, com um teor de umidade que permita a trabalhabilidade do material na peneira nº 10.

Em seguida, deve-se passá-la na peneira nº 10, destorroando as frações retidas. Obter cerca de 1.000g de material passando nessa peneira, acondicionar em saco plástico e determinar o teor de umidade, para orientação das umidades a adicionar nas porções que serão compactadas.

Toma-se, então 3 (três) porções com cerca de 300g cada e adiciona-se, a cada uma delas, água em quantidade tal que se consigam umidades sucessivamente crescentes, de cerca de 2%. Essas porções devem abranger uma faixa de umidade que permita a obtenção de uma curva de deformabilidade cujo traçado seja próximo do ponto de intersecção do Mini-MCV = 10 com a reta  $a_n = 2,00\text{mm}$ , uma antes e outra depois deste ponto. A curva de deformabilidade próxima do Mini-MCV = 10 geralmente é obtida quando a amostra apresenta teor de umidade próximo ao ótimo determinado no ensaio Proctor na energia normal. Após isso, devem-se acondicioná-las em sacos plásticos, onde permanecerão até o momento da compactação dos corpos de prova.



Porém, como foi constatado que o tempo de difusão da umidade na amostra não altera significativamente o resultado final, sugere-se compactar cada corpo de prova logo após a homogeneização da água na porção de solo, traçando, em seguida, sua curva de deformabilidade. Deste modo, é possível conhecer a posição da curva em relação ao Mini-MCV = 10 e planejar a adição de água para moldar os próximos corpos de prova.

#### 1.b. Ensaio:

Passar vaselina internamente aos moldes que serão utilizados. Colocar o espaçador da base, colocar o molde sobre o mesmo e introduzir o disco de papel filtro no molde para que cubra o topo do pistão (vide Figura 1A).

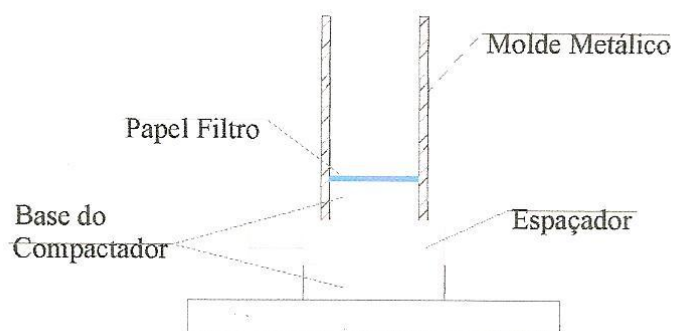


Figura 1A – Arranjo de equipamento para a compactação do solo

Pesar 200g de solo e despejá-lo no molde com auxílio do funil. A seguir, nivelar o solo dentro do molde com auxílio do assentador, exercendo pequena pressão, e colocar outro disco de papel filtro sobre o topo da porção de solo. Retirar uma porção da amostra restante no saco plástico para determinação do teor de umidade.

Posicionar o soquete tipo leve, previamente aferido, sobre a porção de solo do molde. Dar o primeiro golpe, efetuando logo em seguida a leitura do paquímetro correspondente a este golpe, e retirar o espaçador da base. Dar golpes sucessivos e efetuar leituras do paquímetro correspondentes à seguinte série de golpes: 2, 3, 4, 6, 12, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192, 256 e 384, interrompendo o processo quando:

- a) a diferença entre a leitura obtida após 4n golpes e a obtida após n golpes indicar o início de inflexão da curva de deformabilidade;
- b) o número de golpes atingir 384 (solo seco demais);
- c) houver início de exsudação de água na base do corpo de prova (amostra úmida demais).

Terminada a operação de compactação, retirar do molde o soquete e da base o molde com o corpo de prova. Repetir estas operações utilizando as outras porções de solo preparadas com teores de umidade diferentes.

#### 1.c. Cálculos:

Determinar o teor de umidade de cada porção utilizada na compactação. Calcular as diferenças de altura  $a_n$  pelas leituras do extensômetro ou paquímetro correspondentes a cada golpe da série mencionada acima, pela Equação 1A.

$$a_n = A_n - A_{4n} \quad (1A)$$

onde:

$a_n$  - diferença de altura, mm;

$A_n$  – altura do corpo de prova após o número de golpes n, mm;

$A_{4n}$  – altura do corpo de prova após 4n golpes, mm.

Traçar as curvas de Mini-MCV (deformabilidade) referentes a cada teor de umidade de compactação, representando em abscissas o número de golpes (em escala logarítmica) e em ordenadas os valores de  $a_n$  calculados segundo discriminado acima (vide Figura 2A). A intersecção dessas curvas com a reta horizontal  $a_n = 2,00\text{mm}$  fornece o Mini-MCV diretamente em escala gráfica apropriada ou utiliza-se, para isso, a Equação 2A.

$$\text{Mini - MCV} = 10 \times \log_{10} B \quad (2A)$$

onde:

B – número de golpes que resulta da intersecção da curva Mini-MCV com a reta de equação  $an = 2,00\text{mm}$ .

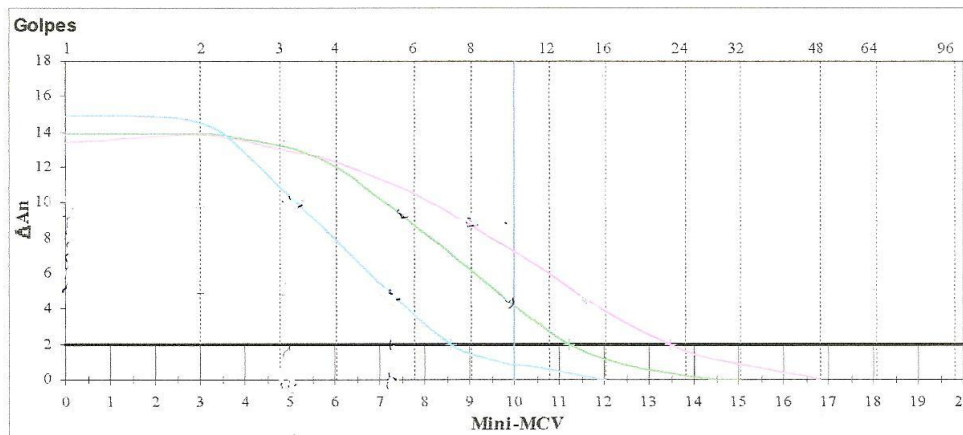


Figura 2A – Curvas de deformabilidade

Para cada uma destas curvas determinar o parâmetro  $c'$ , que é o coeficiente angular de sua parte mais inclinada e retilínea; traçar uma curva  $c' \times$  Mini-MCV, representando os valores de Mini-MCV em abscissas e os valores de  $c'$  em ordenadas, como ilustrado na Figura 3A, e obter o  $c'$  correspondente ao Mini-MCV = 10.

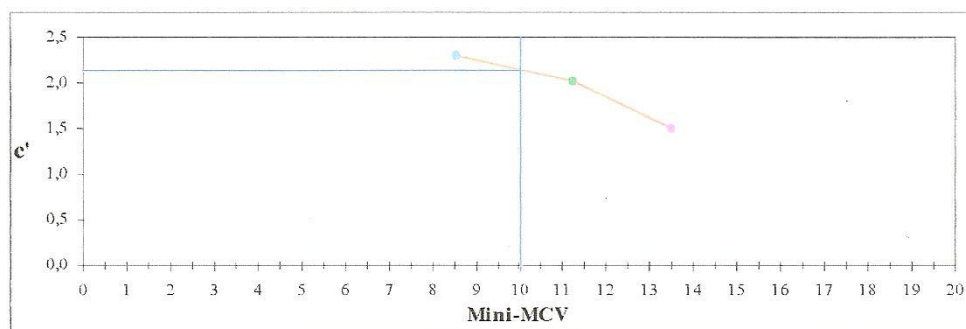


Figura 3A – Curva  $c' \times$  Mini-MCV

## 2. DETERMINAÇÃO DA PERDA DE MASSA POR IMERSÃO

### 2.a. **Ensaio:**

Deslocar o corpo de prova contido no molde, com uso de um extrator apropriado, de maneira que este fique 10mm para fora do cilindro.

Retirar, então, os discos de papel filtro das extremidades do corpo de prova e transferi-lo com o molde para um tanque de imersão, posicionando-os horizontalmente sobre um suporte e colocando uma cápsula metálica no tanque de imersão, de modo que esta fique sob a parte exposta do corpo de prova (vide Figura 4A). A lâmina de água no tanque de imersão deve atingir pelo menos 1cm acima da superfície externa do molde.

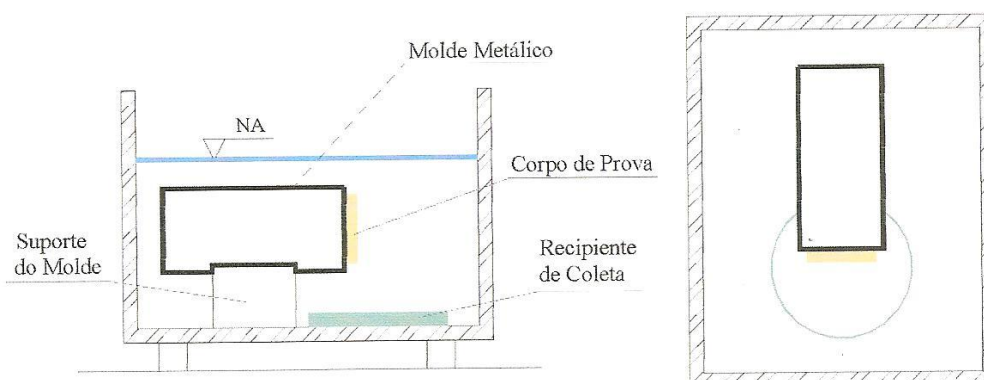


Figura 4A – Tanque de imersão com corpo de prova e recipiente de coleta

Após um mínimo de 4 horas, retirar o molde do tanque de imersão mantendo-o na posição horizontal; examinar e anotar a forma da porção de solo que permaneceu no molde. Retirar, então, a cápsula do tanque de imersão e, se a mesma contiver alguma porção de solo desprendida do corpo de prova, anotar a sua forma e em seguida determinar a sua massa após secagem em estufa padrão, para o cálculo da perda de massa por imersão.

### 2.b. **Cálculos:**

A perda de massa por imersão ( $P_i$ ), para uma determinada condição de compactação, é obtida pela Equação 3A.

$$P_i = [(10 \times M_d \times A) : M_s] \times k \quad (3A)$$

onde:

$P_i$  – perda de massa por imersão, expressa em %;

$M_d$  – massa de solo seco da porção desprendida do corpo de prova, em g;

$A$  – altura inicial do corpo de prova em mm, com precisão de 0,01mm;

$M_s$  – massa seca em estufa do corpo e prova calculada pela Equação 4A;

$k$  – fator de correção.

$$M_s = [(100 \times M_g) : (100 + H_e)] \quad (4A)$$

onde:

$M_g$  – massa úmida do corpo de prova, expressa em g;

$H_e$  – teor de umidade de compactação, expresso em %.

A massa de solo seco da porção desprendida de cada corpo de prova deve ser corrigida de acordo com sua forma, observando-se os coeficientes apresentados na Figura 5A.







Fator de Correção	0,00	0,25	0,50	0,50	0,75	1,00
Descrição do Bloco Desprendido	Sem queda	Maciço	Fissurado	Parcial	Fragmentado	Massa diluída
Formato do Bloco Desprendido						

Figura 5A – Coeficientes de correção da  $P_i$  em função da forma da porção desprendida (VERTAMATTI, 1988).

Após obter os valores de  $P_i$  para todos os corpos de prova, construir a curva  $P_i$  x Mini-MCV e determinar o  $P_i$  para Mini-MCV = 10 (vide Figura 6A).

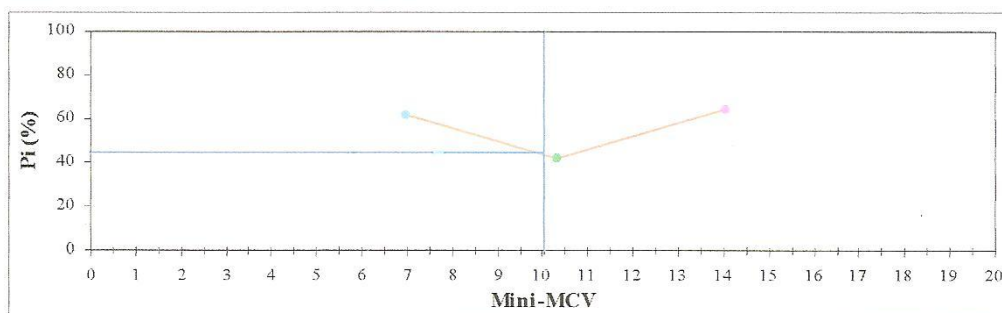


Figura 6A – Curva  $P_i$  x Mini-MCV

Esta mesma curva deve, então ser lançada no ábaco de atributos das curvas  $P_i$  x Mini-MCV (vide Figura 7A) para a obtenção de seu Atributo ( $A_t$ ), o qual varia de 1 a 3, conforme a área onde se localiza a curva.

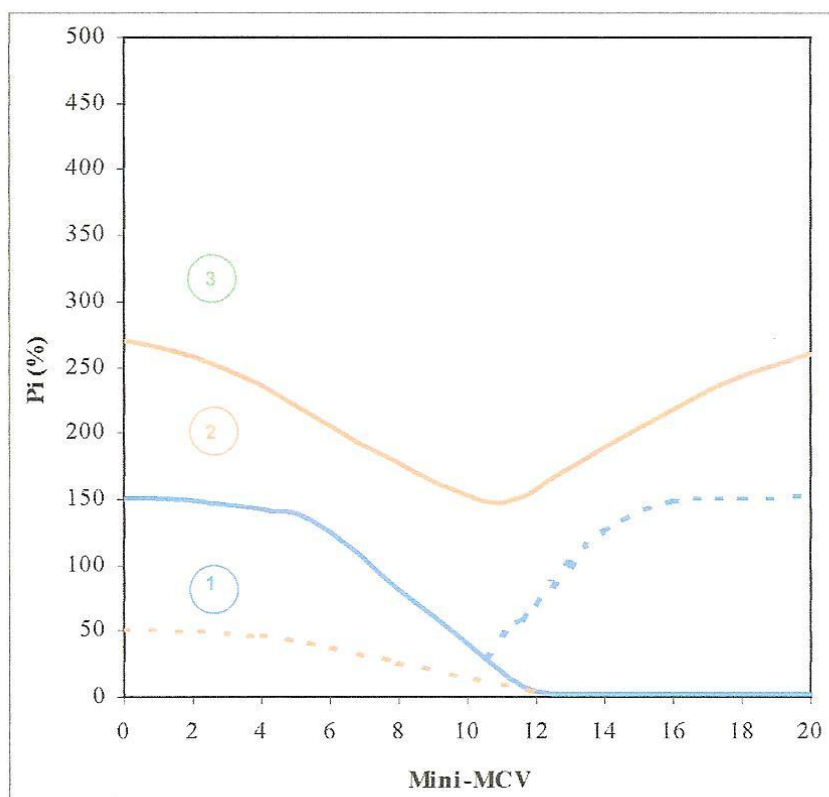


Figura 7A – Ábaco de atributos das curvas  $P_i$  x Mini-MCV.

### 3. CLASSIFICAÇÃO MCT DE SOLOS TROPICAIS

Executar o ensaio de compactação Mini-MCV, de acordo com o item 1, e em seguida determinar a perda de massa por imersão, de acordo com o item 2. Com os resultados, obter o coeficiente  $c'$ , o índice  $P_i$  e calcular o parâmetro  $e'$ , utilizando a Equação 5A.

$$e' = (0,01 \times P_i \times A_t)^{1/2} \quad (5A)$$

Com os valores de  $c'$  e  $e'$ , localizar no ábaco da Figura 8A, o ponto que os representa, classificando a amostra de acordo com a área genética específica em que esse situa-se.

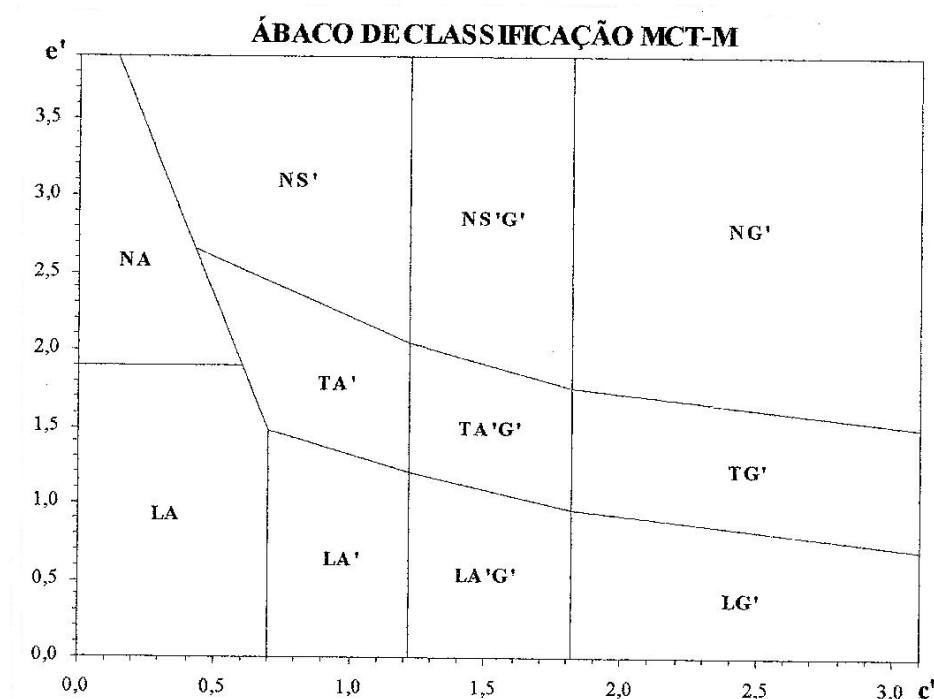


Figura 8A – Ábaco MCT-M para classificação de solos tropicais