UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA
DE LATOSSOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO
PELO MÉTODO DAS PASTILHAS MCT**

Helder de Godoy

Orientador: Prof. Dr. Adilson Carvalho

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005032

SÃO PAULO
1997

*Aos meus pais Antonio e Luzia
e ao prof. Job Shuji Nogami.*

SUMÁRIO

RELAÇÃO DE FIGURAS	iv
RELAÇÃO DE QUADROS	vi
AGRADECIMENTOS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x

INTRODUÇÃO	1
-------------------	----------

PARTE 1 - CONHECIMENTOS PRÉVIOS

CAPÍTULO I - OS SOLOS E A ENGENHARIA	5
1 - GENERALIDADES	5
2 - CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	6
Métodos de Caracterização e Classificação	11
CAPÍTULO II - OS SOLOS E A GEOLOGIA/PEDOLOGIA	15
1 - GENERALIDADES	15
2 - OS SOLOS NO ESTADO DE SÃO PAULO	19
CAPÍTULO III - METODOLOGIA MCT	36
1 - ENSAIOS CONVENCIONAIS	36
2 - ENSAIOS EXPEDITOS	41
CAPÍTULO IV - APLICAÇÕES DA PEDOLOGIA PELA ENGENHARIA	44

PARTE 2 - METODOLOGIA DE ESTUDOS E RESULTADOS

CAPÍTULO V - ÁREAS DE ESTUDO E MATERIAIS	47
1 - TRABALHO PRELIMINAR DE ESCRITÓRIO	47
2 - TRABALHO DE CAMPO	48
CAPÍTULO VI - TÉCNICAS DE ANÁLISE	58
1 - ENSAIOS ADICIONAIS	58
Análises Granulométricas	58
Ensaio de LL e IP	59
Ensaio MCT Convencional	60
2 - MODIFICAÇÕES E AVALIAÇÕES NO MÉTODOS EXPEDITO	
DAS PASTILHAS	63
Anéis	63
Penetrômetro	64
Base de Moldagem	66
Tempo de Espatulação	66
Repetibilidade dos Ensaio das Pastilhas	67
Reprodutibilidade do Ensaio das Pastilhas	68
Proposição de Novos Ensaio	68
-Ensaio de Reabsorção de Água pela Pastilha sem o Anel	70
-Esfera de Solo Imerso em Água	72
3 - TÉCNICAS DO ENSAIOS EXPEDITOS DAS PASTILHAS MODIFICADO	72
CAPÍTULO VII - ANÁLISES E ENSAIOS ADICIONAIS	82
1 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	82
2 - MCT convencional	85
3 - LL e LP	86

CAPÍTULO VIII -ENSAIOS EXPEDITOS DAS PASTILHAS	89
(Análise dos resultados e classificação geotécnica)	
1 - CONTRAÇÃO	94
2 - PENETRAÇÃO	99
3 - CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA MCT PRELIMINAR E RELAÇÕES DAS CLASSIFICAÇÕES PEDOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS	104
4 - ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS COMPLEMENTARES	112
Granulometria	112
Umidade	112
Consistência	112
Tempo de Ascensão	113
Trincas	113
Expansão	114
Resistência ao Esmagamento	116
Esfera de solo imersa em Água	118
CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

RELAÇÃO DE FIGURAS

FIG. 1 - Perfil hipotético de um solo com <i>B</i> latossólico	15
FIG. 2 - Diagrama de repartição de classes generalizadas de textura	17
FIG. 3 - Localização das quadrículas pedológicas cartografadas na escala 1:100.000	21
FIG. 4 - Seção transversal típica de um pavimento rodoviário, com base de solo arenoso fino laterítico	39
FIG. 5 - Gráfico para classificação MCT pelo método das pastilhas - aproximação IV.1	42
FIG. 6a.- Parte do mapa pedológico - Quadrícula de Brotas	49
FIG. 6b.- Legenda e articulação da Quadrícula de Brotas	50
FIG. 7 - Variações entre umidades ótimas de moldagem das pastilhas obtidas por diferentes penetrômetros	65
FIG. 8 - Resultados de ensaios de reprodutibilidade	69
FIG. 9 - Aparelho de penetração desenvolvido	80
FIG. 10 - Caneta-penetrômetro e fio para rasar a pasta excedente no anel	80
FIG. 11 - Espatulação de um solo em placa de vidro	81
FIG. 12 - Esferas de solo e anéis de aço inoxidável	81
FIG. 13 - Tipos de alterações das esferas de solo após imersão em água	81
FIG. 14 - Relação das umidades entre pastilhas e 12 golpes MCT (linhas)	88
FIG. 15 - Relação das umidades entre pastilhas e 12 golpes MCT (pontos)	88
FIG. 16 - Relação da fração argila com a contração	95
FIG. 17 - Relação da contração com a umidade	95
FIG. 18 - Relação da contração com a expansão sem o anel	96
FIG. 19 - Relação da contração por classes de amostras	98
FIG. 20 - Relação da penetração com anel com a expansão	99

FIG. 21 - Relação da penetração com anel com a contração	101
FIG. 22 - Pastilhas -amostra 2b (latossolo roxo) após reabsorção de água, com permanência da contração e resistência	102
FIG. 23 - Pastilhas -amostra 11a (terra roxa estruturada) após reabsorção de água, com permanência da contração e resistência sobre os blocos; trincas	102
FIG. 24 - Pastilhas -amostra 27a (latossolo vermelho-amarelo) após reabsorção de água, com expansão e perda de resistência elevadas	103
FIG. 25 - Pastilhas amostra 19c (Latossolo Vermelho-Escuro) após reabsorção de água, expansão e perda resistência elevadas	103
FIG. 26 - Pastilhas amostra 54a (Areia Quartzosa) após reabsorção de água, contração e expansão pequenas - resistência alta	103
FIG. 27 - Relação das expansões por classes de amostras	115
FIG. 28 - Relação da expansão sem o anel com a penetração sem o anel	116
FIG. 29 - Relação da resistência ao esmagamento com a contração	117
FIG. 30 - Relação da penetração com a esfera em água	119

RELAÇÃO DE QUADROS

QUADRO 1 - Roteiro de estudos geotécnicos	7
QUADRO 2a - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Campinas	24
QUADRO 2b - Unidades de mapeamento (Associações de solos) da Quadrícula de Campinas	25
QUADRO 3 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Araras	27
QUADRO 4 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de São Carlos	29
QUADRO 5 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Ribeirão Preto	31
QUADRO 6 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Descalvado	32
QUADRO 7 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Brotas	33
QUADRO 8 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Jaú	34
QUADRO 9 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Moji-Mirim	35
QUADRO 10 - Gráfico da classificação MCT e tabela de propriedades	37
QUADRO 11 - Localização e espessura dos perfis amostrados	51-2
QUADRO 12 - Relação das amostras de solos com as classes e unidades de mapeamento	53
QUADRO 13 - Relação das amostras de solos coletadas e suas características visual-tácteis	55-6

QUADRO 14 - Resultados de repetibilidade de ensaios da amostra 27a	67
QUADRO 15 - Seqüência dos ensaios expeditos das pastilhas	73
QUADRO 16 - Planilha de registros de dados dos ensaios das pastilhas	79
QUADRO 17 - Resultados da análise granulométrica	83-4
QUADRO 18 - Resultados dos ensaios do MCT convencional e LL e LP	87
QUADRO 19 - Resultados dos ensaios das pastilhas	90-2
QUADRO 20 - Resultados da granulometria do ensaio das pastilhas	93

AGRADECIMENTOS

Quero externar os meus agradecimentos àqueles que contribuíram com a realização deste trabalho.

Meu orientador, Prof. Dr. Adilson Carvalho, pelo acompanhamento ao longo desses anos.

Prof. Dr. Job Shuji Nogami pelo incentivo e inúmeras sugestões apresentadas ao trabalho.

Prof^a Dr^a Liedi B Bernucci por ter facilitado o uso do laboratório da qual é coodenadora e pelas sugestões apresentadas.

Prof. Dr. Carlos S Pinto pelo atendimento sempre atencioso nos temas de mecânica dos solos.

Prof. Dr. João B de Oliveira, pela cooperação na definição de áreas de amostragens e incentivo à pesquisa.

Edson de Moura, pelo auxílio imprescindível nas modificações dos ensaios das pastilhas e constante apoio no desenvolvimento da pesquisa.

Jorge Y Ito e Pedro Y Kirita pela cooperação na realização dos ensaios e auxílio nos programas de computador.

Joaquim Costa Jr. pela realização dos ensaios de LL e LP.

José da Silva Pinto Filho, técnico do Instituto Agronômico de Campinas, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Cleide e Sueli pela colaboração nas análises granulométricas.

Secretárias: Nícia, Sonia, Ana Paula e Vera, pelo atendimento sempre paciente.

Prof. Henrique Elfes e Sr. Gracindo Caram pela revisão final do texto.

Fapesp e Capes pelo apoio financeiro à pesquisa.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram, e que não foram nomeados, meus agradecimentos.

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho uma seqüência metodológica de identificação expedita e classificação geotécnica preliminar MCT de Latossolos do Estado de São Paulo através do método expedito das pastilhas.

São verificadas as conveniências de utilização de mapas pedológicos na coleta preliminar de dados de um estudo geotécnico. Também se executaram identificações descritivas (granulometria, espessura dos horizontes e dos perfis e cor) no campo, através de método visual-táctil, das principais classes de Latossolos do Estado identificadas nos mapas pedológicos.

O método expedito das pastilhas foi aperfeiçoado - sobretudo no que diz respeito a adaptação dos anéis e do penetrômetro - e novos ensaios foram apresentados. Os resultados dos ensaios possibilitaram, por um lado, a classificação preliminar MCT das amostras e, por outro, a apresentação de correlação (em dois casos, extremamente nítida) das classes MCT com as classes pedológicas. Nos resultados deste trabalho, o horizonte B das classes dos Latossolos Roxos e Vermelho-Escuros apresentaram comportamento LG' a LG'- LA', os Latossolos Vermelho-Amarelos variaram desde LG'a LA e alguns desses solos apresentaram também comportamento não-laterítico.

Evidenciou-se, portanto, a utilidade dos mapas pedológicos nos estudos geotécnicos, quando se usa o método expedito das pastilhas na identificação e classificação de solos: principalmente para obras que envolvam o uso de solo como matéria-prima, como é o caso das obras viárias.

Oferecem-se, assim, novos elementos que recomendam o método expedito das pastilhas em substituição aos limites de consistência (LL e LP) e granulometria na identificação e classificação dos solos tropicais, ao menos no que se refere à aplicação nas obras de pavimentação.

ABSTRACT

In this research a methodological sequence for a quick preliminary MCT (Miniature, Compacted, Tropical) geotechnical identification and classification of Latosols in São Paulo State is presented. The suitability of using pedological maps for preliminary data collection for geotechnical study is discussed, and a descriptive identification of the main Latosol classes of São Paulo State using a visual-manual method is also given.

The quick method using small discs of soil was improved, particularly by adapting rings and the penetrometer (penetrating device), and new tests are presented. The results have led to a preliminary MCT classification of the samples and show as well a correlation (very clear in two cases) between the MCT and pedologic classes. According to the observed results, the *B* horizon in Latosolic B 'Terra Roxa' and Dark-Red Latosols shows LG' to LG'- LA' behavior and in Red-Yellow Latosols varies from LG' to LA. Some of these last Latosols present non-lateritic behavior.

It is apparent that pedological maps are suitable for geotechnical studies when the small disc quick method is used in soil identification and classification. This is particularly true for work involving the use of soil as construction material, as in the case of road construction.

Thus, these results suggest that values of Atterberg limits (LL e PL) and particle size can be substituted by the small disc quick method for identification and classification of tropical soils, particularly when applied to road construction.

INTRODUÇÃO

Os solos constituem importante fonte de matéria-prima para a construção civil: obras viárias, barragens de terra, aterros em geral, etc.. Eles são particularmente importantes em regiões de clima tropical tanto por sua extensão geográfica quanto pela profundidade dos perfis, que podem alcançar dezenas de metros.

Os solos para serem usados numa obra de engenharia precisam ser classificados e caracterizados do ponto de vista geotécnico. Os métodos para classificação mais difundidos no Brasil são os baseados nos índices de consistência do solo (Limites de Liquidez e de Plasticidade) e granulometria; sendo que os mais utilizados no Brasil são os da AASTHO, HRB e a classificação unificada USCS.

No entanto, há décadas, os profissionais do meio geotécnico brasileiro vem encontrando dificuldades na aplicação das metodologias tradicionais de caracterização e classificação de solos, uma vez que não predizem o verdadeiro comportamento dos solos nas obras. A principal razão está em que os solos tropicais apresentam peculiaridades de comportamento mecânico e hídrico diferentes daquelas dos solos de regiões de clima temperado, onde as metodologias acima foram desenvolvidas.

Essas peculiaridades permitem estabelecer duas classes principais de solos: os solos de comportamento laterítico e os não-lateríticos. Os lateríticos apresentam ótimas propriedades geotécnicas, destacando-se o fato de que, em estado natural, são menos suscetíveis à erosão que os demais, e quando adequadamente compactados adquirem elevadas resistências e capacidade de suporte. Estes solos quando imersos em água apresentam baixa permeabilidade e perdem pouca capacidade de suporte.

Para a diferenciação desses solos surgiu, no início da década de 80, a metodologia designada de MCT (Miniatura, Compactada, Tropical), que é

uma nova sistemática de caracterização e classificação de solos tropicais. A separação desses dois tipos de solos é de fundamental importância para a sua utilização.

A metodologia acima foi desenvolvida principalmente para o uso de solos na pavimentação e uma das primeiras aplicações foi a de substituir a base de pedra britada ou solo cimento por solo arenoso fino laterítico.

A MCT tem facilitado o uso de solos lateríticos na construção de rodovias, principalmente no Estado de São Paulo, onde a malha rodoviária construída com este tipo de solo passa os 6.000 km e há mais de 10.000.000 de m² de vias urbanas. O uso desses solos tem baixado significativamente o custo das obras de pavimentação no Estado.

Posteriormente, dentro da MCT, surgiu uma identificação expedita dos grupos da classificação acima. Este novo método é rápido, simples e eficaz consistindo no espatulamento do solo e moldagem de pastilhas (corpos moldados em anéis de 20 mm de diâmetro e 5 mm de altura).

O ensaio expedito vem substituir os ensaios de LL, LP e granulometria, e está fundamentado principalmente nas análises das características de contração e reação na reabsorção de água das pastilhas.

Essa nova proposta possibilita um melhor aproveitamento dos estudos geotécnicos principalmente nas fases de Coleta Preliminar de Dados Pedológicos e de Reconhecimento de Campo (Quadro 1), pois fornecem uma hierarquização de propriedades geotécnicas dos solos, definindo assim melhor as ocorrências dos diferentes tipos quanto ao seu comportamento.

Por outro lado, é antigo o desejo de se utilizar os conhecimentos pedológicos (como mapas, análises e classificações) para aplicação no meio geotécnico, porém poucos trabalhos têm sido realizados neste sentido.

Há algum tempo vem sendo evidenciada a utilidade desses mapas pedológicos para aplicação na geotecnia, principalmente na definição de

anteprojeto e projeto de obras viárias.

Os solos do Estado de São Paulo são relativamente bem conhecidos do ponto de vista pedológico, tendo sido objeto de vários mapeamentos tanto regionais como detalhados. Dentro dos levantamentos detalhados existem atualmente 13 quadrículas mapeadas (escala 1:100.000).

A partir dos mapas pedológicos pode-se estimar que cerca de 90 % dos solos do Estado apresentam comportamento laterítico, sendo que desse montante 62 % são da classe dos Latossolos.

O objetivo principal do trabalho é o de contribuir com a proposição de uma seqüência metodológica de identificação expedita e classificação geotécnica MCT de latossolos e solos afins do Estado de São Paulo, utilizando-se o método das pastilhas.

Para alcançar tal objetivo são executadas algumas etapas descritas brevemente a seguir:

a) Estudo preliminar de disponibilidade de solos de comportamento laterítico por meio de mapas pedológicos.

b) Reconhecimento de textura do solo no campo, análises granulométricas no laboratório e análise da conveniência de suas realizações.

c) Aprimoramento do método expedito das pastilhas e proposta de novos ensaios.

d) Identificação e classificação MCT do comportamento geotécnico dos latossolos e solos afins de algumas regiões do Estado de São Paulo, usando-se o método expedito das pastilhas.

e) Comparação dos resultados de ensaios do MCT convencional (M-MCV, M-CBR e P_i) de algumas amostras representativas de cada classe pedológica com os resultados dos ensaios expeditos das pastilhas.

PARTE 1

CONHECIMENTOS PRÉVIOS

CAPÍTULO I - OS SOLOS E A ENGENHARIA

1 - GENERALIDADES

O conceito de solo para a engenharia civil e, mais especificamente, para a mecânica de solos, pode ser condensado naquele emitido por Vargas (1977), onde solo é todo material da crosta terrestre que não oferece resistência intransponível à escavação por meio de pá, picareta, escavadeiras, etc., e não necessita uso de explosivos.

Este conceito, bastante pragmático, suscita dúvidas na área de engenharia, como ocorre por exemplo com as definições e representatividade das amostragens nos perfis de solos, sendo que a aplicação de conhecimentos pedológicos poderia minimizar os problemas.

Na engenharia, os solos podem ser utilizados como suporte de uma obra ou como materiais de construção, sendo empregados em pavimentos de rodovias, aeroportos, vias urbanas, pátios, aterros, barragens, etc.

Para serem usados, os solos devem apresentar certas características geotécnicas, capazes de conferir estabilidade e resistência mecânica aos esforços aos quais serão submetidos nas obras.

Quando os solos encontrados nos locais das obras não apresentam as qualidades exigidas, duas opções são possíveis: substituí-los por outro material ou tentar melhorar suas propriedades geotécnicas, seja por meio de misturas granulométricas (adição de areia, brita, etc.), seja por estabilização (uso de aditivos químicos como cal, cimento, entre outros).

O estudo de distribuição de ocorrências de solos, para a utilização em uma obra, é feito através de estudos geotécnicos adequados. Esses estudos geotécnicos constituem as duas primeiras fases de uma obra, que são o planejamento e o projeto. Nas fases seguintes, execução e conservação, os

estudos geotécnicos, muitas vezes, podem também auxiliar, principalmente com o reconhecimento de campo.

Segundo Cruz (1996), na construção de barragens, a fase de estudos geotécnicos mal elaborada pode comprometer um projeto. Assim, a previsão de volume de movimento de terra e áreas de empréstimo de solos torna-se fundamental.

Para estudos geotécnicos de uma obra de pavimentação, Nogami e Villibor (1995) propõem determinadas etapas e ensaios a serem executados. Um resumo adaptado encontra-se no quadro 1.

Uma das etapas bastante discutidas no estudo geotécnico é a fase de caracterização e classificação dos solos.

2 - CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Gamon (1983), depois de fazer um levantamento dos principais métodos geotécnicos existentes de caracterização e classificação de solos utilizados em diversas partes do globo, conclui que é muito difícil a sua aplicação. Uma das principais razões é que foi usada terminologia e procedimentos específicos para a solução de um determinado problema, dificultando assim o uso em outras regiões.

Muitos dos solos de regiões tropicais necessitam de uma abordagem especial para a sua caracterização e classificação, pois apresentam peculiaridades de comportamento mecânico e hídrico significativamente diferentes daqueles de regiões de clima temperado onde as metodologias tradicionais foram desenvolvidas.

Quadro 1 - Roteiro de estudos geotécnicos (adaptado de Nogami e Villibor, 1995).

A engenharia rodoviária brasileira reconhece, há algumas décadas, dois tipos principais de solos, em um mesmo perfil:

- 1) Os solos superficiais, conhecidos, por alguns autores, como maduros;
- 2) Os solos inferiores, também conhecidos como jovens ou saprolíticos, quando residuais.

Esta diferenciação é genética e baseia-se, essencialmente, na grande variação de propriedades mecânicas e hídricas de cada tipo.

Para Nogami e Villibor (1980), esses tipos de solos são indubitavelmente os mais importantes para finalidades rodoviárias em vastas áreas do território brasileiro, onde prevalece clima quente e úmido, pois as regiões tropicais estão geralmente cobertas por uma espessa camada de rocha intemperizada, que dará origem a esses tipos de solos.

Segundo Nogami (1976), a diferenciação acima é acentuada em grande parte do território paulista, onde alguns perfis de solos podem chegar a 100 metros de espessura.

O estudo geotécnico dos solos tropicais teve grande ênfase na década de 80, com a realização da "FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS", realizado em Brasília, no ano de 1985.

Com o objetivo de se definir parâmetros de estudo dos solos tropicais para o uso do encontro acima, foi estabelecido um comitê, que durou de 1982 a 1985 (Committee, 1985). Foram adotadas, entre outras, as seguintes terminologias:

- Solo Tropical: aquele formado em regiões de clima tropical quente e úmido e que apresentam determinados comportamentos geotécnicos diferentes dos solos considerados tradicionais.

Entre os solos tropicais destacam-se duas grandes classes: os solos lateríticos e os saprolíticos. Essas duas classes, além de pertencer às regiões de clima tropical úmido, devem apresentar:

- Solo Laterítico: horizontes *A* ou *B* de um perfil bem drenado, e a fração argila ser constituída principalmente de minerais do grupo da caolinita e óxidos de ferro e alumínio, além de esses componentes estarem agregados.

- Solo Saprolítico: estrutura reliquiar da rocha de origem, a qual possibilita a identificação dessa rocha.

Apesar do esforço das entidades que representam os profissionais do meio geotécnico brasileiro, não há ainda uma aceitação geral da terminologia exposta acima. São escassos os livros e publicações da área que tratam do assunto com clareza, denotando que os autores ainda não têm uma posição muito definida sobre o assunto.

Como o estudo dos solos tropicais apresenta ainda muitas lacunas, têm surgido trabalhos procurando contribuir com alguma solução. Em 1990, foi publicado um volume especial do "The Quarterly Journal of Engineering Geology" (Geological...,1990), que trata dos solos tropicais residuais, porém, não considera a distinção dos dois principais tipos de solos, que são os solos lateríticos e os saprolíticos. Portanto, as considerações feitas ficam prejudicadas.

De qualquer modo, é inegável a diferenciação de comportamento mecânico e hídrico que existe entre os solos lateríticos ou superiores, pedogenéticos (horizontes *A* e *B*), e os solos inferiores, saprolíticos (horizonte *C*). E também que essas duas classes são as principais em vastas áreas do território brasileiro.

Quando os solos superficiais apresentam as características acima são designados de "solos de comportamento laterítico" ou "solos lateríticos" (Nogami, 1978).

As principais propriedades geotécnicas peculiares dos solos lateríticos são:

- em estado natural possuem elevada porosidade, baixa resistência, pequena susceptibilidade à erosão, baixa capacidade de suporte, podendo, inclusive, ser colapsíveis; apresentam também maior resistência à erosão que os demais tipos de solos.
- quando compactados apropriadamente, adquirem elevadas resistências e capacidade de suporte, além de baixa permeabilidade. Na condição de imersão em água perdem pouca capacidade de suporte.
- a expansão pode ser apreciável nas amostras do ramo seco da curva de compactação.
- as variedades plásticas são contrácteis, porém, contrariamente ao normalmente esperado, são pouco expansivas.

As principais aplicações dos solos lateríticos na construção viária, segundo Nogami e Villibor (1995), podem ser na constituição de:

- a) camadas da estrutura de pavimentos de baixo custo: bases ou reforços do sub-leito.
- b) camadas de reforço do sub-leito de pavimentos para tráfego médio e pesado. Por exemplo rodovias de tráfego pesado: duplicação da Rodovia D. Pedro I e Rodovia Prof. Carvalho Pinto.
- c) camadas de proteção de taludes de corte ou de aterro, para evitar erosão.

Os autores acima lembram que é de fundamental importância o método construtivo para a utilização dos solos lateríticos.

A grande pergunta que surge, portanto, é: quais seriam os métodos analíticos apropriados para a diferenciação desses dois principais tipos de solos?

Primeiramente, convém ter-se em conta algumas características das propriedades geotécnicas dos solos.

Uma das primeiras é a de que há muitos fatores que coletivamente influenciam nas propriedades de solos naturais. Entre esses a mineralogia e o tamanho das partículas são, provavelmente os mais críticos (Harris et al., 1984).

No estudo dos solos tropicais, a mineralogia tem um significado especial por apresentar, nos horizontes superficiais dos solos, concentração de óxidos de ferro e alumínio, propiciando assim a agregação das partículas pela ação cimentante desses elementos e é o que definirá a estrutura dos solos. Desta forma, a estrutura e a mineralogia dos solos tem grande importância em obras de terra (estradas, taludes, aterros, barragens, etc.) porque nessas obras os solos estão sujeitos a baixas tensões de confinamento e a ciclos sucessivos de molhagem e secagem.

MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Para o estudo dos solos tropicais o Comitê de solos (Committee, 1985), propôs grupos de métodos que estão baseados em:

- Critérios pedológicos, químicos e morfológicos;
 - Testes tradicionais;
 - Testes não tradicionais.
-
- Critérios pedológicos, químicos e morfológicos

Considerações geológicas e pedológicas são promissoras para o estudo geotécnico dos solos, conforme afirmam alguns autores, entre eles: Nogami (1967, 1976, 1978), Nogami e Villibor (1980). No entanto, lembram que há necessidade de adaptação nos estudos geológico-pedológicos de solos para pavimentação, para que as conclusões possam ter maior valor prático.

- Testes tradicionais

Os métodos tradicionais de caracterização e classificação de solos para fins de pavimentação baseiam-se, essencialmente, na granulometria e nos limites de Atterberg (que determinam os estados de consistência do solo: Limites de Liquidez e de Plasticidade).

No Brasil, esses métodos são normalmente utilizados, porém não possibilitam a previsão de comportamento dos solos quando da sua efetiva utilização nas obras. E o mais difundido entre eles é o HRB americano (Highway Research Board), também conhecido, entre nós, por Classificação Rodoviária.

Vargas (1988), propôs um quadro classificatório. Nesse quadro é usada a Atividade de Skempton somado a um fator mineralógico. Porém, esbarra na limitação de aplicação desses dois fatores para solos tropicais.

Nas últimas duas décadas têm surgido diversos trabalhos que apontam as dificuldades de aplicação da metodologia estrangeira de caracterização e classificação para solos tropicais. Entre eles destacam-se: Nogami (1976, 1978); Nogami e Villibor (1979, 1980, 1981, 1983); Barroso et al. (1981); Francis e Carvalho (1969); Gidigas (1976); Samara (1981).

Nogami e Villibor (1980) sintetizam os principais problemas da aplicação acima referida, em dois pontos:

- 1) Falta de correlação dos resultados obtidos com os diversos aspectos do comportamento dos solos nas obras.

Por exemplo, os métodos acima podem apresentar, para os solos lateríticos -que são dos solos mais representativos do Brasil-, comportamento geotécnico de qualidade ruim para aplicação em obras de pavimentação; porém, esses solos, quando da sua efetiva utilização, têm comportamento de boa qualidade.

2) Demasiada dispersão dos resultados dos ensaios tradicionais.

Os autores acima, trabalhando dados fornecidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Programa Interlaboratorial Brasileiro), concluem que, dificilmente, para solos tropicais, os ensaios de consistência tem condições de serem decisivos para rejeição ou aprovação de solos para pavimentos.

No que se refere à granulometria, constataram que os resultados dos ensaios podem contribuir pouco para a caracterização dos solos em obras, uma vez que esses resultados dependerão do método analítico utilizado. Além disso, o ponto principal é a análise do estado de agregação dos solos em condições naturais, que nenhum dos métodos de análise granulométrica contempla.

Segundo Barroso et al. (1981), são relevantes os problemas de amostragens e conseqüente caracterização dos solos, principalmente aquelas de desenvolvimento linear, pois as especificações de prospecção geralmente estabelecem esquemas de espaçamento uniforme, sem uma orientação apoiada nas variações específicas dos solos e condições do terreno.

• Testes não tradicionais

Na literatura encontram-se diversos trabalhos que apresentam sugestões de novas técnicas de ensaios para caracterização e classificação de solos tropicais.

Entre outros podem ser citados os de Queiroz de Carvalho (1981), cuja classificação baseia-se na estabilização dos solos com a cal; Lohnes e Demirel (1973); Arulanandan's (1969).

Nogami e Villibor (1980) consideram que o número de parâmetros geralmente considerados no estudo de solos para pavimentação, no Brasil, é muito reduzido, impossibilitando assim um julgamento mais apropriado para aplicação na construção viária.

Por outro lado, propõem estudo e determinação de novos parâmetros para um conhecimento geotécnico mais aprofundado, os quais constituíram a base de uma nova sistemática de caracterização e classificação de solos tropicais para pavimentação, tendo em vista principalmente os solos lateríticos e os saprolíticos. Essa metodologia foi designada de MCT - MINIATURA, COMPACTADA, TROPICAL (Nogami e Villibor, 1981).

CAPÍTULO II - OS SOLOS E A GEOLOGIA/PEDOLOGIA

1 - GENERALIDADES.

Os solos, segundo a geologia e a pedologia, podem ser considerados como uma superposição de dois conjuntos de materiais, caracterizados cada um por propriedades mineralógicas e estruturais nitidamente distintas (Fig. 1). O limite que separa os dois conjuntos pode, normalmente, ser reconhecido no campo.

Fig. 1 - Perfil hipotético de um solo com B Latossólico ilustrando diferentes horizontes e camadas (Oliveira et al. 1992).

O primeiro conjunto, superior, designado como **solum**, constitui os horizontes A e B. Nesse conjunto ocorrem numerosas modificações mineralógicas e estruturais, causadas pelos seguintes fatores superficiais: relevo, clima, organismos e tempo. É o chamado domínio da pedogênese.

O conjunto inferior, correspondente ao horizonte *C* do perfil, está em contato com a rocha de origem e recebe o nome de material parental ou alterita. Este conjunto é resultante da alteração da rocha subjacente, sendo esta alteração progressiva e freqüentemente irregular.

Uma das características importantes é a preservação, ao menos parcial, de texturas petrográficas e estruturas litológicas da rocha de origem.

Este conjunto, com relação ao **solum**, apresenta-se normalmente com maiores espessuras e parece, de modo geral, mais homogêneo na escala do perfil e mais heterogêneo no detalhe do que aquele.

Um dos aspectos que mais realça na diferenciação dos dois conjuntos acima é a organização dos seus componentes.

No **solum**, a estrutura tende a apresentar-se com uma distribuição em agregados de diversos tamanhos, desde microscópicos até aqueles que podem ser identificados a olho nu. Os agentes cimentantes são principalmente os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

A quantidade de agregados presentes dependerá essencialmente do tipo de rocha e grau de evolução desta (tempo submetida aos agentes intempéricos). Assim, quanto mais evoluído for o material, maior possibilidade de se formarem agregados.

Por outro lado, o conjunto inferior apresenta uma pequena porcentagem de agregados devido à menor evolução do material.

O conjunto de características morfológicas constitui a base fundamental para a identificação do solo, que deverá ser completada com as análises de laboratório.

Várias características são observadas na descrição morfológica de um perfil. As principais são: cor; textura (granulometria do material sólido); estrutura (aglutinação das partículas); consistência e espessura dos horizontes.

A textura de cada horizonte é uma das características mais estáveis do solo. Segundo Oliveira et al. (1992) constitui característica muito importante, uma vez que a interação com outras características (principalmente a mineralogia das argilas) condicionam a estrutura, consistência, permeabilidade etc. Portanto, a textura é um atributo de grande interesse para a classificação do solo, sendo o seu emprego comum nos sistemas taxonômicos como um dos critérios para distinção de classes do solo.

Segundo os autores acima, até 1992 não havia um sistema brasileiro oficial de classificação de solos; portanto, expressam os conceitos de classes de solos fazendo um compêndio do que melhor existe. A seguir são transcritos os conceitos das classes utilizadas na presente pesquisa:

Consta na Figura 2 um diagrama de classes texturais para facilitar a compreensão dos conceitos abaixo.

Fig. 2 - Diagrama de repartição de Classes generalizadas de textura
(EMBRAPA, 1979, in Oliveira et al. 1992)

LATOSSOLO ROXO - “Essa classe é formada por solos minerais não hidromórficos, vermelho-escuros de tonalidades arroxeadas, derivados de rochas básicas e tufitos, apresentando horizonte *B* latossólico e teores consideravelmente elevados de Fe_2O_3 (>18 % e <40 %), MnO e, usualmente, de TiO_2 , com atração magnética forte e predominantemente de textura argilosa ou muito argilosa.”

LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO - “Essa classe compreende solos minerais não hidromórficos, com horizonte *B* latossólico vermelho-escuro de matiz 4YR ou mais vermelho, valores de 3 a 5 e croma 4 a 6, e teores de Fe_2O_3 provenientes do ataque sulfúrico na TFSA inferiores a 18 % quando argilosos ou muito argilosos e usualmente inferiores a 8%, quando de textura média, com atração magnética fraca ou inexistente.”

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO - “Abrange solos minerais não hidromórficos com horizontes *B* latossólicos, teor de Fe_2O_3 na TFSA proveniente do ataque sulfúrico igual ou inferior a 11% e normalmente maior do que 7% quando de textura argilosa ou muito argilosa e não concrecionários, enquanto nos de textura média a relação molecular $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$, proveniente do ataque sulfúrico, é > 3,14. As cores desse horizonte são usualmente de matiz menos vermelho que 1,5 YR, tendo valores normalmente > 4,5 e croma > 6,0. São solos virtualmente sem atração magnética.”

TERRA ROXA ESTRUTURADA - “Compreende solos minerais, não hidromórficos, cor vermelha escura de tonalidade púrpura ou nuances afins -efeito arroxead-, argilosos a muito argilosos, derivados de rochas básicas ou ultrabásicas, com teores relativamente elevados de Fe_2O_3 , TiO_2 , baixo gradiente

textural, horizonte *B* textural com argila de atividade baixa, estrutura em blocos e cerosidade moderadamente a bem desenvolvida.”

AREIA QUARTZOSA - “Esta classe compreende solos minerais, casualmente orgânicos na superfície, hidromórficos ou não, geralmente profundos, essencialmente quartzosos, com textura areia ou areia franca ao longo de pelo menos uma profundidade de 2 metros da superfície.

Essa classe de solos abrange as areias quartzosas não hidromórficas do interior, portadoras de cores amarelas, vermelhas, de gamas intermediárias, ou menos freqüentemente até mesmo de coloração bem desbotada. Ademais, são igualmente abrangidas as areais quartzosas marinhas, não hidromórficas, usualmente acinzentadas ou brancas, formadas em depósitos arenosos costeiros, e as areias quartzosas hidromórficas, mal ou imperfeitamente drenadas.”

2 - OS SOLOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Um dos principais levantamentos de solos do Estado foi aquele realizado por Brasil (1960) -na escala 1:500.000- segundo os quais, o Estado de São Paulo apresenta quatro grupamentos de solos: Solos com *B* textural, Solos com *B* latossólico, Solos hidromórficos e os Solos poucos desenvolvidos.

Os solos com *B* latossólico representam cerca de 56% dos solos do estado, enquanto os solos com *B* textural representam cerca de 31%.

Dentre os solos com *B* latossólico destacam-se os Latossolos Vermelho-Escuros (24%), os Latossolos Roxos (14%) e os Latossolos Vermelho-Amarelos (13%). Porcentagens estas referentes à totalidade de solos do Estado.

Outro levantamento de solos relevante do Estado é aquele realizado pelo Projeto Radambrasil (Brasil, 1983), Escala 1:1.000.000, porém ainda incompleto para todo o Estado de São Paulo.

Mais recentemente, iniciou-se um novo programa de levantamento de solos na escala 1:100.000, caracterizado de semi-detulhe. Este trabalho está sendo desenvolvido por uma equipe do Instituto Agronômico de Campinas e faz parte do programa de levantamento pedológico do Estado de São Paulo.

A classificação utilizada foi principalmente a da Embrapa (1976). E uma vez que ainda não existe um texto específico ao sistema de classificação brasileiro de solos, os conceitos de cada classe foram expostos em relatórios elaborados para cada quadrícula.

O primeiro resultado do programa de levantamento de solos foi publicado em 1979 e refere-se a Quadrícula de Campinas (Oliveira et al., 1979).

Até o presente momento foram mapeadas treze quadrículas, cuja relação e distribuição aparece na fig. 3. Apenas quatro dos mapas publicados estão acompanhados de memorial descritivo (Ribeirão Preto, São Carlos, Araras e Campinas), dois estão no prelo (Piracicaba e Guaíra).

O levantamento pedológico semi-detalhado acima referido, estabelece subdivisões para as classes de solos encontradas em cada quadrícula mapeada. Essas subdivisões deram origem às categorias taxonômicas mais baixas (unidades de solos), compatíveis com a escala de mapeamento, com base principalmente nos seguintes atributos diagnósticos: caráter eutrófico e distrófico, caráter álico e ácrico, tipo de horizonte A, textura e saturação em bases do horizonte B, presença de concreções, profundidades, entre outros.

É conveniente salientar que nesse levantamento recorreu-se com frequência ao expediente de associar-se unidades de solos (em grupos de duas ou três unidades) devido às dificuldades encontradas para sua identificação.

Fig.3 - Localização das quadrículas pedológicas cartografadas na escala 1:100.000 (Prado, 1995).

As dificuldades citadas estão relacionadas à existência de solos de diferentes unidades da mesma classe ou de classes diferentes geograficamente associados a uma mesma paisagem, apresentando: semelhanças nos aspectos morfológicos; complexidade no padrão de distribuição dos solos e/ou dificuldades de acesso à área.

A importância das associações é de tal ordem que pode chegar a ser a fração mais representativa de uma quadrícula como, por exemplo, acontece com a de Ribeirão Preto, com cerca de 65% da área total.

Quanto à distribuição das unidades mapeáveis nas quadrículas, ressalta-se que além da predominância das associações que dificulta o reconhecimento das unidades individualmente, ocorre dificuldades inerentes à própria caracterização e classificação pedológica de cada unidade. Assim acontece, por exemplo, com a diferenciação entre as unidades Ribeirão Preto e Barão de Geraldo da classe Latossolos Roxos, onde o caráter eutrófico é o determinante.

Também pode acontecer com a diferenciação entre classes, como Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro, solos que assemelham-se bastante no seu aspecto morfológico.

Outra peculiaridade do mapeamento é aquela que se refere à gradação contínua de características diagnósticas dos solos, sendo difícil, nos indivíduos intermediários, estabelecer com segurança a classe e/ou unidades de solos; no entanto, esses solos, designados de transicionais, não foram expressos no mapa devido às pequenas extensões das ocorrências, não compatíveis com a escala da cartografia. São exemplos os solos transicionais que ocorrem entre os Latossolos Roxos e a Terra Roxa Estruturada.

As quadrículas escolhidas inicialmente para o desenvolvimento do trabalho são a maioria, com exceção de Guaíra e de Rio Ribeira do Iguape, por não estarem contíguas às demais, e a de Piracicaba por conter pequena porcentagem de latossolos.

Apresenta-se a seguir aspectos gerais das quadrículas estudadas com as suas respectivas classes e unidades de solos.

Ressalta-se que todas as unidades e associações de cada classe de solos foram discriminadas abaixo, porque serão utilizadas para coleta de amostras e ensaiadas, de acordo com o que ficou proposto nos objetivos do presente trabalho.

QUADRÍCULA DE CAMPINAS (Oliveira et al., 1979):

A área da quadrícula de Campinas está situada na região sudeste do Estado de São Paulo, inserindo-se quase que totalmente na Depressão Periférica, na Zona do Médio Tietê. Uma pequena porção a sudeste e centro-oeste adentra parcialmente a Zona Cristalina do Norte.

A geologia desta área está representada predominantemente por rochas sedimentares, incluindo arenitos de granulação variada, siltitos e argilitos. Subordinadamente aparecem rochas cristalinas, bem como intrusivas básicas. As classes de solos encontradas na quadrícula são apresentadas a seguir com as suas respectivas distribuições percentuais aproximadas.

Latossolo Roxo	9,86
Latossolo Vermelho-Escuro	17,20
Latossolo Vermelho-Amarelo	20,30
Terra Roxa Estruturada	2,02
Podzólico Vermelho Amarelo	32,40
Areia Quartzosa	2,30
Cambissolo	3,53
Solos hidromórficos	0,93
Solos litólicos	4,71

Os restantes 6,76 % estão ocupados por áreas urbanas, rios e açudes.

Na quadrícula de Campinas, foram identificadas e descritas 24 unidades taxonômicas distribuídas em 23 unidades simples de mapeamento e em 33 associações de solos.(quadros 2a e 2b)

CLASSES DE SOLOS	UNIDADES	SÍMBOLO
Latossolo Roxo	Ribeirão Preto	LRe
	Barão Geraldo	LRd-1
Latossolo Vermelho-Escuro	Limeira	LE-1
	Santo Antônio	LE-2
	Cillos	LE-3
	Hortolândia	LE-4
Latossolo Vermelho-Amarelo	Mato dentro	LV-1
	Speculas	LV-2
	Laranja Azeda	LV-3
	Bela Aliança	LV-4
Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico	Camarguinho	LH
Podzólico Vermelho-Amarelo	Alva	PV-1
	Usina	PV-2
	Holambra	PV-3
	Olaria	PV-4
	Palmeiras	PV-5
	Valinhos	PV-6
Terra Roxa Estruturada	Estruturada	TE
Cambissolos	Palha	Cb
Solos Arenó-Quartzosos	Panorama	AQp
Solos Litólicos	-	Li-1
		Li-2
		Li-3
Solos Hidromórficos	-	HI

Quadro 2a - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da
 Quadricula de Campinas (adaptado de Oliveira et. al., 1979).

ASSOCIAÇÕES	SÍMBOLO
Barão Geraldo + Ribeirão Preto	LRd + LRe
Barão Geraldo + Limeira	LRd + LE-1
Limeira + Barão Geraldo	LE-1 + LRd
Limeira + Santo Antonio	LE-1 + LE-2
Santo Antônio + Barão Geraldo	LE-2 + LRd
Hortolândia + Camarguinho	LE-4 + LH
Mato dentro + Laranja Azeda	LV-1 + LV-3
Speculas + Camarguinho	LV-2 + LH
Bela Aliança + Limeira	LV-4 + LE-1
Bela Aliança + Hortolândia	LV-4 + LE-4
Bela Aliança + Laranja Azeda	LV-4 + LV-3
Usina + Bela Aliança	PV-2 + LV-4
Usina + Alva	PV-2 + PV-1
Usina + Olaria	PV-2 + PV-4
Usina + Palmeira	PV-2 + PV-5
Usina + Palha	PV-2 + Cb
Usina + Solo Litólico	PV-2 + Li 1
Olaria + Palmeiras	PV-4 + PV-5
Olaria + Palha	PV-4 + Cb
Olaria + Solo Litólico	PV-4 + Li-1
Valinhos + Solo Litólico	PV-6 + Li-3
Estruturada + Barão Geraldo	TE + LRd
Estruturada + Ribeirão Preto	TE + LRe
Palha + Solo Litólico	Cb + Li-1
Panorama + Bela Aliança	AQp + LV-4
Panorama + Usina	AQp + PV-2
Solo Litólico + Alva	Li-1 + PV-1
Solo Litólico + Usina	Li-1 + PV-2
Solo Litólico + Palha	Li-1 + Cb
Alva + Solo Litólico + Usina	PV-1 + Li-1 + PV-2
Usina + Alva + Solo Litólico	PV-2 + PV-1 + Li-1
Palha + Alva + Solo Litólico	Cb + PV-1 + Li-1

Quadro 2b - Unidades de mapeamento (associações de solos) da
 Quadrícula de Campinas (adaptado de Oliveira et al., 1979).

QUADRÍCULA DE ARARAS (Oliveira et al., 1982)

A área da quadrícula de Araras acha-se inteiramente inserida na Depressão Periférica e na sua quase totalidade na zona denominada por Almeida (1964) como Zona do Médio Tietê. Uma pequena porção ao norte, corresponde à faixa que drena para o Moji-Guaçu, pertence à zona homônima.

No que se refere à geologia, a área apresenta predominantemente rochas sedimentares, com arenitos de granulação variada, predominando os grosseiros e siltitos. Também aparecem rochas intrusivas básicas e areias inconsolidadas de aluviões.

Os tipos de solos encontrados na quadrícula são apresentados a seguir com as suas respectivas distribuições percentuais aproximadas.

Latossolo Roxo	13,5
Latossolo Vermelho-Escuro	20,9
Latossolo Vermelho-Amarelo	45,0
Terra Roxa Estruturada	0,5
Podzólico Vermelho Amarelo	11,6
Areia Quartzosa	0,5
Cambissolo	1,4
Solos hidromórficos	4,3
Solos litólicos	1,7

Os restantes 0,8 % estão ocupados por áreas urbanas, rios e açudes.

Na quadrícula de Araras foram identificadas 24 unidades de solos (quadro 3).

CLASSES DE SOLOS	UNIDADES	SÍMBOLO
Latossolo Roxo	Ribeirão Preto	LRe
	Barão Geraldo	LRd
Latossolo Vermelho-Escuro	Limeira	LE-1
	Hortolândia	LE-2
Latossolo Vermelho-Amarelo	São Lucas	LV-1
	Coqueiro	LV-2
	Laranja Azeda	LV-3
	Speculas	LV-4
	Mato dentro	LV-5
	Campininha	LV-6
	Camarguinho	LV-7
Podzólico Vermelho-Amarelo	Alva	PV-1
	Usina	PV-2
	Olaria	PV-3
	Santa Cruz	PV-4
	Serrinha	PV-5
Terra Roxa Estruturada	Estruturada	TE
Areia Quartzosa		AQ
Cambissolos	Palha	Cb-1
	Sete Lagoas	Cb-2
Solos Litólicos	-	Li-1
		Li-2
		Li-3
Gley Pouco húmico ou Gley húmico	-	HI

Quadro 3 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Araras (adaptado de Oliveira et al., 1982)

QUADRÍCULA DE SÃO CARLOS. (Oliveira e Prado, 1984).

A área da quadrícula de São Carlos localiza-se no centro-oeste do Estado de São Paulo, nas regiões denominadas por Almeida (1964) de Depressão Periférica (sub-região médio Tietê) e Cuestas Basálticas.

No que diz respeito aos aspectos geológicos, a área é coberta por rochas sedimentares, incluindo principalmente arenitos finos e médios e subordinadamente arenitos conglomeráticos, siltitos e argilitos. Ocorrem ainda alguns corpos esparsos de rochas vulcânicas (basaltos) e intrusivas básicas.

As classes de solos encontradas na quadrícula são apresentadas a seguir com as suas respectivas distribuições percentuais aproximadas.

Latossolo Roxo	6,30
Latossolo Vermelho-Escuro	1,70
Latossolo Vermelho-Amarelo	35,30
Terra Roxa Estruturada	2,19
Podzólico Vermelho Amarelo	26,70
Areia Quartzosa	15,70
Solos orgânicos	0,80
Solos hidromórficos	0,60
Solos litólicos	8,80
Plintossolo	0,46

Os restantes 1,46 % estão ocupados por áreas urbanas, rios e açudes.

Foram identificadas 26 unidades de solos , que são apresentadas no quadro 4.

CLASSES DE SOLOS	UNIDADES	SÍMBOLO
Latossolo Roxo	Ribeirão Preto	LRe
	Barão Geraldo	LRd-1
Latossolo Vermelho-Escuro	Limeira	LE-1
	Hortolândia	LE-2
Latossolo Vermelho-Amarelo	São Lucas	LV-1
	Coqueiro	LV-2
	Laranja Azeda	LV-3
	Três Barras	LV-4
	Canchim	LV-5
	Itororó	LV-6
Podzólico Vermelho-Amarelo	Santa Cruz	PV-1
	Serrinha	PV-2
	Monte Cristo	PV-3
	Canela	PV-4
	Santa Clara	PV-5
	Olaria	PV-6
Areia Quartzosa		AQ
Solos Litólicos		Li-1
		Li-2
		Li-3
		Li-4
Plintossolos concrecionários	-	PL
Solos Hidromórficos	-	HI
Solos Orgânicos	-	Or

Quadro 4 - Unidades de mapeamento e classificação de solos da Quadrícula de São Carlos (adaptado de Oliveira e Prado, 1984).

As associações mais representativas geograficamente são: AQ + LV2, PV6 + PV1, LI3 + LI2, PV1 + PV6, LV2 + LV3, LRd + LRe

QUADRÍCULA DE RIBEIRÃO PRETO (Oliveira e Prado, 1987).

A área está circunscrita à província geomorfológica denominada de Cuestas Basálticas.

No que diz respeito aos aspectos geológicos na área afloram predominantemente as rochas do Grupo São Bento (85 %), constituído essencialmente pela Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Associadas (70 %), seguido da Formação Botucatu com 18 %, Pirambóia com 8 % e as Intrusivas Básicas com 4 %.

Os tipos de solos encontrados na quadrícula são apresentados a seguir com as suas respectivas distribuições percentuais aproximadas:

Latossolo Roxo	63
Latossolo Vermelho-Escuro	14
Latossolo Vermelho-Amarelo	4
Terra Roxa Estruturada	2
Brunizém avermelhado	0,1
Areia Quartzosa	7
Solos hidromórficos	4
Solos litólicos	1
Cambissolo	1

Os restantes 3,9 % estão ocupados por áreas urbanas, rios e açudes.

Na quadrícula foram identificadas 24 unidades de solos, que estão relacionadas no quadro 5.

CLASSES DE SOLOS	UNIDADES	SÍMBOLO
Latossolo Roxo	Ribeirão Preto	LRe
	Barão Geraldo	LRd-1
	Água Vermelha	LRd-2
	Capão da Cruz	LRa
	Jardinópolis	LRv
	-	LRr
	-	LRc
Latossolo Vermelho-Escuro	Dois Córregos	LE-1
	Hortolândia	LE-2
	Bonfim	LE-3
	Limeira	LE-4
Latossolo Vermelho-Amarelo	Coqueiro	LV-1
	Laranja Azeda	LV-2
	Canchim	LV-3
	Itororó	LV-4
	Peroba	LV-5
Terra Roxa Estruturada	Estruturada	TE
Brunizém Avermelhado	Engenho	BV
Areia Quartzosa		AQ
Associação Gley húmico - Gley pouco húmico	-	HI-1
		HI-2
Solos Orgânicos	-	HI-3
Solos Litólicos		Li-1
Cambissolos	-Sete Lagoas	Cb

Quadro 5 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Ribeirão Preto (adaptado de Oliveira e Prado, 1987).

As associações mais significativas, em termos percentuais da área são:

LRa + LRd-1	41,70
LRe + LRd-1	9,07
LV-1 + AQ	1,95
AQ + LV-1	1,86
LE-1 + AQ	1,20

As demais associações, em número de 31, dividem entre si o restante da área que é de 9,5 %, onde cada associação não ultrapassa o valor de 1 %.

A apresentação das quadrículas de Descalvado, Brotas, Jaú e Moji-Mirim está mais reduzida porque os relatórios ainda não foram editados, portanto as informações extraídas e descritas abaixo são exclusivas do mapa pedológico.

QUADRÍCULA DE DESCALVADO (Oliveira e Prado, 1982)

Na quadrícula foram identificados 9 classes de solos com as suas respectivas unidades.(quadro 6).

CLASSES DE SOLOS	UNIDADES	SÍMBOLO
Latossolo Roxo	Ribeirão Preto	LRe
	Barão Geraldo	LRd-1
	Água Vermelha	LRd-2
Latossolo Vermelho-Escuro	Dois Córregos	LE-1
	Hortolândia	LE-2
	Limeira	LE-3
Latossolo Vermelho-Amarelo	Lagoa Bonita	LV-2
	Laranja Azeda	LV-3
	Canchim	LV-4
Podzólico Vermelho-Amarelo	Santa Cruz	PV-1
	Serrinha	PV-2
	Monte Cristo	PV-3
Terra Roxa Estruturada	Estruturada	TE-1
	Babilônia	TE-2
	Itaguaçu	TE-3
Areia Quartzosa	-	AQ-1
		AQ-2
Solos Litólicos		Li-1
		Li-2
		Li-3
		Li-4
Solos Hidromórficos	-	HI
Cambissolos	-	Cb

Quadro 6 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Descalvado. (adaptado de Oliveira e Prado, 1982).

QUADRÍCULA DE BROTAS

Na quadrícula foram identificadas 8 classes de solos com as suas respectivas unidades.(quadro 7).

CLASSES DE SOLOS	UNIDADES	SÍMBOLO
Latossolo Roxo	Ribeirão Preto	LRe
	Barão Geraldo	LRd
Latossolo Vermelho-Escuro	Dois Córregos	LE-1
	Hortolândia	LE-2
	Limeira	LE-3
Latossolo Vermelho-Amarelo	São Lucas	LV-1
	Coqueiro	LV-2
	Laranja Azeda	LV-3
	Três Barras	LV-4
	Canchim	LV-5
Podzólico Vermelho Amarelo	Serrinha	PV-1
	Monte Cristo	PV-2
	Canela	PV-3
	Contenda	PV-4
Terra Roxa Estruturada	Estruturada	TE-1
	Itaguaçu	TE-2
	Babilônia	TE-3
Areias Quartzosas Profundas		AQ
Solos Litólicos		Li-1
		Li-2
Solos Hidromórficos		Hi

Quadro 7 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Brotas (adaptado de Oliveira et al., 1981).

QUADRÍCULA DE JAÚ

Na quadrícula foram identificados 9 classes de solos com as suas respectivas unidades.(quadro 8).

CLASSES DE SOLOS	UNIDADES	SÍMBOLO
Latossolo Roxo	Ribeirão Preto	LRe
	Barão Geraldo	LRd
Latossolo Vermelho-Escuro	Dois Córregos	LE-1
	Hortolândia	LE-2
	Limeira	LE-3
Latossolo Vermelho-Amarelo	Coqueiro	LV-1
	Laranja Azeda	LV-2
	Campininho	LV-3
Podzólico Vermelho-Amarelo	Monte Cristo	PV-1
	Canela	PV-2
	Serrinha	PV-3
Terra Roxa Estruturada	Estruturada	TE-1
	fase rasa	TE-1r
	Itaguaçu	TE-3
Brunizém Avermelhado		Bv
Areias Quartzosas Profundas		AQ
Solos Litólicos		Li-1
		Li-2
		Li-3
Solos Hidromórficos		Hi

Quadro 8 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Jaú (adaptado de Oliveira et al., 1982).

QUADRÍCULA DE MOJI-MIRIM

Na quadrícula foram identificados 10 classes de solos com as suas respectivas unidades.(quadro 9).

CLASSES DE SOLOS	UNIDADES	SÍMBOLO
Latossolo Roxo	Barão Geraldo	LRd
	Capão da Cruz	LRac
Latossolo Vermelho Escuro	Hortolândia	LEd-1
	Bonfim	LEd-2
	Limeira	LEd-3
Latossolo Vermelho Amarelo	Coqueiro	LVd1
	Laranja Azeda	LVd2
	Mato Dentro	LVd3
	Ponte Funda	LVd4
	Três Barras	LVd5
	Pederneiras	LVd6
	Itororó	LVd7
	Camarguinho	LVd8
	Campininha	LVc
Podzólico Vermelho Amarelo	Usina	PV1
	Alva	PV2
	Catingueiro	PV3
	Santa Cruz	PV4
		PV5
		PV5c
		PVL
Podzólico Vermelho Escuro	.	PE
Terra Roxa Estruturada	Estruturada	TE
	Itaguaçu	TEL
Terra Bruna Estruturada	.	TB
Cambissolos	Sete Lagoas	C1
	Pilão d'água	C2
Solos Litólicos	Pedra de Fogo	Li1
		Li2
		Li3
		Li3c
		Li4
Gleissolos		Hi1
		Hi2

Quadro 9 - Unidades de mapeamento e classificação dos solos da Quadrícula de Moji-Mirim (adaptado de Oliveira, 1992).

CAPÍTULO III - METODOLOGIA MCT

1 - ENSAIOS CONVENCIONAIS

A metodologia MCT é uma nova sistemática de caracterização e classificação de solos e baseia-se na determinação de características de interesse geotécnico ligadas às propriedades mecânicas e hídricas (como resistência, permeabilidade, etc.), em corpos de prova de dimensões reduzidas, moldados em equipamento miniatura pelo ensaio Mini-MCV (*Moisture Condition Value*).

Enquanto os índices de consistência do solo e granulometria fazem uma previsão das propriedades do solo, a classificação MCT, por outro lado, fornece valores das propriedades para a pavimentação que são principalmente a resistência e a expansão.

A classificação MCT separa os solos em duas grandes classes, que são os solos de comportamento laterítico e os não-lateríticos. Essas duas classes subdividem-se em 7 grupos.

Dentre os métodos baseados em testes não tradicionais destaca-se o MCT, por diferenciar os solos lateríticos dos demais tipos com rapidez e eficácia.

O gráfico de classificação e tabela de valores das propriedades encontram-se no quadro 10.

A história da metodologia MCT está intimamente ligada às primeiras décadas do desenvolvimento do uso do solo tropical em pavimentação no Brasil.

O estudo sistemático dos solos no Brasil, segundo Vargas (1994), teve início com a institucionalização da Mecânica de Solos entre nós, no final da década de 30, através da criação da Seção de Solos e Fundações do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Estado de São Paulo). Nesse período, o DER/SP

GRANULOMETRIAS TÍPICAS			argilas siltos (q,s)	areias siltosas	siltos (k,m) siltos arenosos	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltos argilosos	areias siltosas	areias argilosas	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltos argilosos
Designações do T1-71 do DER-SP (equivalentes da Mississippi River Commission, USA)									
k=caolínítico s=sericítico	m=micáceo q= quartzoso								
COMPORTAMENTO			N = Não Laterítico				L = Laterítico		
GRUPO MCT			NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Propriedades	MINI-CBR (%)	sem imersão perda por imersão	M, E B, M	E B	M, E E	E E	E B	E, EE B	E B
	EXPANSÃO		B	B	E	M, E	B	B	B
	CONTRAÇÃO		B	B, M	M	M, E	B	B, M	M, E
	COEF. DE PERMEABILIDADE (k)		M, E	B	B, M	B, M	B, M	B	B
	COEFICIENTE DE SORÇÃO (s)		E	B, M	E	M, E	B	B	B
	Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal		EE = Muito Elevado (a) E = Elevado (a)		M = Médio (a) B = Baixo (a)		Vide Tabela III.3 para equivalente numérico		
Utilização	Base de pavimento		n	4°	n	n	2°	1°	3°
	Reforço do subleito compactado		4°	5°	n	n	2°	1°	3°
	Subleito compactado		4°	5°	7°	6°	2°	1°	3°
	Aterro (corpo) compactado		4°	5°	6°	7°	2°	1°	3°
	Proteção à erosão		n	3°	n	n	n	2°	1°
	Revestimento primário		5°	3°	n	n	4°	1°	2°
			n = não recomendado						
Grupos tradicionais obtidos de amostras que se classificam nos grupos MCT discriminados nos topos das colunas		USCS	SP SM	MS SC ML	SM, CL ML, MH	MH CH	SP SC	SC	MH ML CH
		AASHO	A - 2	A - 2 A - 4 A - 7	A - 4 A - 5 A - 7 - 5	A - 6 A - 7 - 5 A - 7 - 5	A - 2	A - 2 A - 4	A - 6 A - 7 - 5

Quadro 10 - Gráfico da classificação MCT e tabela de propriedades.

(Nogami e Villibor, 1995).

(Departamento de Estradas de Rodagem-SP) fez um convênio com a Seção do IPT, para resolver alguns problemas, sendo que um dos fundamentais era o revestimento das estradas de rodagem, que naquele tempo eram todas de terra, com solo estabilizado.

Assim, a principal atividade do laboratório da Seção de solos - IPT era a de identificação e classificação de solos para fins de estabilização. As técnicas utilizadas foram aquelas usadas nos Estados Unidos para as estradas vicinais e fundamentava-se na estabilização natural, simplesmente dosando a granulometria e a plasticidade dos solos.

Porém os resultados desses estudos não se mostraram satisfatórios, havendo controvérsias quanto às razões do fracasso. Para Nogami e Villibor (1995) foram motivos relevantes, entre outros, as peculiaridades dos solos tropicais, pequena disponibilidade dos materiais granulares naturais e o clima tropical.

Desta forma, evidenciou-se a necessidade de novo rumo para as pesquisas, diferentes da tradicional, baseadas essencialmente na consideração de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e granulometria. Por outro lado, acreditava-se que os problemas estavam correlacionados com as peculiaridades geológicas e pedológicas dos solos tropicais.

Na década de 50, segundo Nogami e Villibor (1995), alternativas continuaram a ser procuradas pelo DER/SP. Usou-se, entre outras, argilas lateríticas isoladamente ou misturadas com brita para a melhoria do sub-leito, que eram muito ruins, nas saídas da cidade de São Paulo. Essas argilas lateríticas apresentavam elevado valor de CBR.

O primeiro trecho experimental, segundo os autores acima, que utilizou argila laterítica compactada como base de pavimento, foi realizado pelo DER-SP, no início da década de 50, num dos acessos da cidade de Campinas-SP. Esta obra teve desempenho excepcional.

Também se utilizaram bases de solo-cimento, bases estabilizadas granulometricamente, revestimento de tipo tratamento superficial e reforço de sub-leito, com uso de solos lateríticos arenosos ou argilosos.

No início da década de 70, comprovou-se o excelente desempenho de pistas experimentais que utilizaram solos arenosos finos lateríticos para base estabilizadas granulometricamente. Esses solos eram considerados inapropriados pelos critérios de LL, LP e granulometria.

Nessas pistas experimentais houve a substituição da base de pedra britada ou solo-cimento por solo arenoso fino laterítico. Este procedimento teve um custo de 15 a 25 % das bases convencionais. Na figura 4, encontra-se uma seção transversal de um pavimento rodoviário com base de solo arenoso fino laterítico.

Fig. 4 - Seção transversal típica de um pavimento rodoviário, com base de solo arenoso fino laterítico (Nogami e Villibor, 1995).

Na falta de critérios simplificados para escolha de solos para pavimentação, Nogami (1972) desenvolveu o Mini-CBR, que é um ensaio mecânico que avalia a resistência dos solos. Este ensaio foi fundamental para o melhor aproveitamento dos solos arenosos finos lateríticos, sendo um dos primeiros passos para a elaboração posterior da metodologia MCT.

O Ensaio M-CBR é usado para dimensionamento das camadas constituintes dos pavimentos.

Do uso dos solos arenosos finos lateríticos surgiram critérios para a sua caracterização e classificação que culminaram, no início da década de 80, com a metodologia MCT. Também houve paralelamente o desenvolvimento dos processos construtivos de bases com esses solos compactados.

A metodologia MCT foi desenvolvida especialmente para que fosse possível escolher mais apropriadamente os solos lateríticos para a pavimentação.

Atualmente, somam-se dezenas de trabalhos publicados que tratam sobre a MCT ou fazem uso dela para caracterização e classificação de solos tropicais.

A utilidade da MCT tem sido comprovada pelo seu uso na construção de estradas no Estado de São Paulo. Segundo Godoy et al. (1996) atualmente, conta-se no Estado de São Paulo, com mais de 6.000 km de rodovias construídas com bases de solos lateríticos, e mais de 10.000.000 m² de vias urbanas.

Passos et al. (1991), fizeram aplicações da MCT a latossolos e podzólicos no Estado do Rio Grande do Sul, obtendo ótimos resultados principalmente na localização e materiais do tipo solo arenoso fino laterítico.

Diante das dificuldades de análises granulométricas e mineralógicas a metodologia MCT é a que mais se aplica na caracterização e classificação de solos tropicais.

A aplicação da metodologia MCT a grupos de solos considerados não-tropicais ainda não foi comprovada, necessitando, portanto de estudos.

A metodologia MCT tem sofrido algumas críticas entre outros de Fabbri, (1994) e Barroso e Fabbri (1996), principalmente no que se refere à reprodutibilidade da execução dos seus ensaios. Evidencia-se assim que o técnico que a executa tenha uma capacitação acima da média.

Segundo o Prof. Carlos Souza Pinto (comunicação pessoal, 1996), a concepção de diferenciação dos solos tropicais em duas principais classes: solos lateríticos e saprolíticos, está sendo de fundamental importância para os estudos dos nossos solos, e que também a sistemática de ensaios da metodologia MCT são interessantes para diferenciá-los e hierarquizá-los. Porém a classificação MCT apresenta dificuldades de compreensão e de utilização.

Para o técnico e mestrando, Edson de Moura, responsável pelos ensaios da metodologia MCT no laboratório de Tecnologia de Pavimentação, a execução dos ensaios MCT convencionais exige de quem os executa muita habilidade, principalmente no que se refere à preparação das amostras e manuseio dos equipamentos.

Por outro lado, tem-se procurado alternativas para torná-la mais simples e acessível, e uma das mais promissoras é a dos ensaios expeditos das pastilhas.

2 - ENSAIOS EXPEDITOS.

Os ensaios expeditos das pastilhas surgiram com Nogami e Cozzolino (1985) e tinha por objetivo fazer uma identificação expedita dos grupos de classificação MCT. A partir daí foram realizadas 4 adaptações no método original proposto: Nogami e Villibor (1994), Fortes (1990), Fortes e Nogami (1991), Nogami e Villibor (1996). Este último corresponde à

aproximação IV.1 do método e na figura 5 encontra-se o gráfico de classificação pelo método expedito.

Surgiram mais quatro trabalhos que usam o método expedito das pastilhas: Godoy et al. (1994), Nogami et al. (1995), Godoy et al. (1996) e Taky a (1997). Neste último, foi usado o método expedito para caracterizar alguns solos da Bacia de São Paulo e colúvios de regiões vizinhas.

Os ensaios expeditos das pastilhas vêm substituir os índices de consistência do solo e a granulometria na identificação e classificação preliminar dos solos tropicais, ao menos no que se refere à aplicação nas obras de pavimentação, pois possibilitam uma hierarquização preliminar dos solos.

Fig. 5 - Gráfico para a classificação MCT pelo método das pastilhas - aproximação: IV.1 (Nogami e Villibor, 1996).

O ensaio expedito consiste essencialmente na avaliação de propriedades de pastilhas moldadas em anéis de 20 mm de diâmetro por 5 mm

de altura. Para a moldagem é usada a fração de solo menor que 0,42 mm e espatulada. As determinações das propriedades são basicamente do tipo visual-táctil.

A contração radial da pastilha após secagem em estufa é uma das principais propriedades avaliadas. A segunda é o comportamento da pastilha após a reabsorção de água sobre uma placa porosa, onde é avaliada a resistência à penetração da amostra com penetrômetro padrão.

O uso do método expedito tem-se restringido ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da USP, onde foi criado; no entanto, o ensaio mostra-se bastante promissor para aplicação em áreas da construção civil, pois separa com eficácia os solos de comportamento laterítico dos demais.

Para que uma classificação geotécnica seja eficaz, é necessário que ofereça, entre outras coisas, uma hierarquização dos solos, e que a maneira de obtenção dos valores seja simples e rápido. Nesse último aspecto se justifica a execução dos ensaios expeditos.

Os ensaios expeditos, juntamente com a identificação descritiva, fazem parte fundamental da etapa de reconhecimento de campo. (quadro 1).

A partir dos resultados obtidos nas duas etapas citadas acima é possível e desejável a elaboração de mapas de distribuição dos principais tipos de ocorrência de solos. Estes mapas são muito importantes para orientar o planejamento dos ensaios sistemáticos para a obtenção dos valores de projeto, e portanto, devem abranger além da faixa de interesse de implantação da obra viária, as áreas marginais para a localização de jazidas de solos.

De acordo com Nogami e Villibor (1995), é sempre recomendável a realização de reconhecimento de campo nos diversos estágios de uma obra, desde a fase de planejamento até à conservação.

CAPÍTULO IV

APLICAÇÕES DA PEDOLOGIA PELA ENGENHARIA

Os conhecimentos pedológicos podem auxiliar a geotecnia principalmente no que se refere a existência de mapas pedológicos que mostram grupamentos de materiais. Estes podem apresentar comportamentos geotécnicos bem determinados, auxiliando no planejamento geral de descobertas de jazidas e caixas de empréstimo, programação de sondagens e amostragens, etc.

Os dados pedológicos, na coleta preliminar de dados do estudo geotécnico, podem ser aproveitados, principalmente aqueles que mostrem as características de granulometria, estrutura, espessura dos horizontes, cor e mineralogia. Todas essas informações, estão contidas nos relatórios que normalmente acompanham os mapas pedológicos.

Os mapeamentos pedológicos, por outro lado, restringem-se à parte mais superficial de um perfil de solo, onde são caracterizados os horizontes *A* e *B* do perfil, e as coletas de amostras alcançam normalmente 3 metros de profundidade. Desta forma, as camadas inferiores a esta não são objeto de estudo da pedologia, e faz-se necessário recorrer às informações geológicas.

Para alguns autores, os solos lateríticos são uma das matérias-primas mais importantes do território brasileiro na construção de obras viárias, barragens, etc, pela sua abundância territorial e boas qualidades geotécnicas.

A aplicação de conhecimentos pedológicos para fins de pavimentação é uma realidade, porém ainda bastante restrita a casos concretos. Segundo Allemeier (1973), para o Estado de Michigan - USA, a restrição da aplicação ocorre devido a necessidade de se ter uma equipe de profissionais bastante treinada e esses profissionais trabalhando juntos por muito tempo, além de mapas pedológicos detalhados.

Motta et al. (1986) mostram que existem grandes possibilidades de se relacionar características físicas e químicas de oxisols (solos lateríticos) com as classificações geotécnicas em especial a MCT.

Davison Dias e Milititsky (1989, 1994) apresentam estudos sobre uso da pedologia e geologia na geotecnia, porém os trabalhos tem limitações devido ao fato de usarem, essencialmente, ensaios tradicionais e terminologias não apropriadas para os solos tropicais.

Bongiovanni et al. (1994) aplicam a metodologia MCT e outras para a caracterização e classificação de algumas amostras de grupos de solos de região do interior do Estado de São Paulo, mostrando que há uma certa correlação entre a pedologia e a geotecnia.

A MCT proporciona a diferenciação dos solos de comportamento laterítico daqueles que não tem tal comportamento, com rapidez e economia. Sendo que este método é o mais eficaz para tal diferenciação. Este método leva em conta a gênese do solo, o que já é um progresso significativo na geotecnia.

Dos métodos de caracterização e classificação geotécnica de solos tropicais em uso no Brasil, o que está proporcionando bons resultados é a MCT, como pode ser comprovado pela quantidade de obras realizadas no Estado de São Paulo.

PARTE 2

METODOLOGIA DE ESTUDOS E RESULTADOS

CAPÍTULO V - ÁREAS DE ESTUDO E MATERIAIS

1 - TRABALHO PRELIMINAR DE ESCRITÓRIO - (Uso de Mapas Pedológicos).

A área de estudo compreende algumas regiões do Estado de São Paulo nas quais foram feitos mapeamentos pedológicos seimi detalhados pelo Instituto Agrônomo de Campinas (escala 1:100.000). Esses mapas pedológicos, identificados pelas quadrículas, foram usados para programar as etapas de campo, principalmente para a identificação descritiva e coleta de solos para os ensaios laboratoriais.

Esses mapas foram escolhidos por apresentarem maior detalhamento das classes pedológicas (divisão em unidades), o que não acontece com os mapas da Comissão de Solos que estão representados na escala de 1:500.000 (Brasil, 1960).

Para a localização dos Latossolos e solos afins nas quadrículas, não houve dificuldades, pois esses solos estão abundantemente representados.

Entretanto, os mapas apresentam algumas limitações, entre as quais se destaca a ausência das referências topográficas mais freqüentes, como rios, estradas vicinais, localidades, etc., que permita uma melhor localização das unidades de solo no campo, inclusive dando subsídios para melhor avaliar as distâncias de transporte para exploração dos solos para construção viária. Outras limitações são aquelas decorrentes da própria escala, das quais as principais são: associações de unidades e/ou classes; incorreções na definição dos contatos entre unidades e/ou classes, bem como omissão de certas unidades com expressão geográfica incompatível com a escala.

2 - TRABALHO DE CAMPO. - (Localização, Amostragens e Caracterização visual-táctil dos perfis)

Os materiais estudados compreendem os Latossolos Roxos, Latossolos Vermelho-Escuros, Latossolos Vermelho-Amarelos, Terra Roxa Estruturada e Areias Quartzosas, que ocorrem nas seguintes quadrículas pedológicas: Campinas, Araras, São Carlos, Brotas, Jaú, Descalvado, Ribeirão Preto e Moji-Mirim. Um exemplo desses mapas encontra-se na figuras 6a e 6b.

Nessas áreas procurou-se coletar amostras de perfis de solos das principais unidades pedológicas de mapeamento.

Foram coletados cerca de 10 kg de amostras de 55 perfis localizados em cortes de estradas, por serem os que apresentavam melhores exposições e mais fácil acesso. A localização e espessura dos perfis encontra-se no quadro 11.

Dos 55 perfis de solos coletaram-se 82 amostras, de diferentes classes pedológicas, relacionadas no quadro 12, onde as amostras aparecem identificadas por um número referente ao perfil e uma letra correspondendo à camada de coleta, sendo as designações 'a', 'b' e 'c' respectivamente as camadas superior, média e inferior. Também constam desse quadro as classes e as unidades pedológicas das amostras. Essas unidades estão representadas individualmente; em associações (+); em opções de unidades(/) ou ainda com uma certa dúvida na definição (?).

Como um dos objetivos do trabalho é o de se estudarem as unidades de solos das diferentes classes pedológicas, procuraram-se perfis representativos dessas unidades. Nem sempre foi possível a localização dos perfis, principalmente porque algumas unidades têm ocorrência muito restrita e não há barrancos onde pudessem ser coletadas as amostras.

Fig. 6b - Legenda e articulação da Quadrícula de brotas (Oliveira et al., 1981).

PERFIL	ESPES SURA (m)	LOCALIZAÇÃO	QUADRÍCULA
1	4,6	km 182 - SP 330	ARARAS
2	6,0	km 252,8 - SP 330	DESCALVADO
3	5,0	km 2 - SP 255	RIBEIRÃO PRETO
4	5,0	TREVO SP 328 COM A SP 255	RIBEIRÃO PRETO
5	4,5	TREVO COM CRAVINHOS - SP 328	RIBEIRÃO PRETO
6	1,2	ESTRADA VICINAL AO NORTE DA SP 253, ENTRE 255 E LUIZ ANTÔNIO À 8 km DESTA.	RIBEIRÃO PRETO
7	4,0	SP 253, LUIZ ANTÔNIO - PRADÓPOLIS, A 3,5 km ANTES DA. SP 255.	RIBEIRÃO PRETO
8	4,0	RUA AO LADO DO CÓRREGO RIBEIRÃO PRETO, PONTO AO LADO DO CRUZAMENTO COM A MARGINAL SUL DA CIDADE DE RIBEIRÃO PRETO.	RIBEIRÃO PRETO
9	5,5	km 6 - SP 333	RIBEIRÃO PRETO
10	4,0	ESTRADA VICINAL AO NORTE DO km 17,8 DA SP 101, À 8,8 km DESTA.	CAMPINAS.
11	9,0	km 274,5 - SP 330	RIBEIRÃO PRETO
12	1,5	ESTRADA NOVA ODESSA - SANTA BARBARA D'OESTE À 2,8 km DAQUELA	CAMPINAS.
13	2,0	SP 328, À 4 km DE CRAVINHOS	RIBEIRÃO PRETO
14	1,5	km 35,9 - SP 255	DESCALVADO.
15	2,0	ESTRADA VICINAL AO NORTE DO km 17,8 DA SP 101, À 7,8 km DESTA.	CAMPINAS.
16	1,7	ESTRADA NOVA ODESSA - SANTA BARBARA D'OESTE À 1,0 km DESTA	CAMPINAS.
17	2,5	km 16,8 - SP 306	CAMPINAS
18	2,0	CIDADE DE LIMEIRA - NA AVENIDA SANTA BÁRBARA A PARTIR DO CRUZAMENTO COM A MARGINAL EM DIREÇÃO AO JARDIM DO LAGO. km 2,8	CAMPINAS
19	7,0	km 140,1 - SP 332	CAMPINAS
20	0,9	CAMINHO DENTRO DA USINA CILLOS, 1,3 km AO SUL DA SEDE.	CAMPINAS
21	2,5	ESTRADA VICINAL A NORDESTE DA CIDADE DE ARTUR NOGUEIRA, km 8.	CAMPINAS
22	1,5	ESTRADA VICINAL TERRA, MOJI-GUAÇU - CONCHAL, À 2,5 km DA SP 191	ARARAS
23	3,0	km 15,3 - SP 101	CAMPINAS
24	2,0	ESTRADA VICINAL AO NORTE DO km 17,8 DA SP 101, À 1,4 km DESTA.	CAMPINAS
25	2,0	CIDADE DE LIMEIRA - NA AVENIDA SANTA BÁRBARA A PARTIR DO CRUZAMENTO COM A MARGINAL EM DIREÇÃO AO JARDIM DO LAGO. km 1.	CAMPINAS
26	2,5	SP 147 LIMEIRA - MOJI-MIRIM, A 300 m APÓS CRUZAMENTO COM A SP 330	CAMPINAS
27	4,5	km 157,3 - SP 332	CAMPINAS

Quadro 11- Localização e espessura dos perfis amostrados.

PERFIL	ESPES SURA (m)	LOCALIZAÇÃO	QUADRÍCULA
28	8,0	km 130 - SP 332	CAMPINAS
29	4,0	km 175,5 - SP 310	SÃO CARLOS
30	2,5	km 236,1 - SP 318	SÃO CARLOS
31	4,5	km 236,5 - SP 318	SÃO CARLOS
32	3,0	km 74,5 - SP 147	ARARAS
33	2,5	km 13,8 - SP 101	CAMPINAS
34	5,0	ESTRADA VICINAL EM DIREÇÃO À PAULÍNEA, 2 km A PARTIR DO km 111 DA SP 330.	CAMPINAS
35	1,2	ESTRADA VICINAL A PARTIR DO km 127,5 DA SP 340, À 300 m DESTA.	CAMPINAS.
36	1,5	ESTRADA VICINAL, LIGA SP 340 À HOLAMBRA À 2 km DAQUELA	CAMPINAS
37	1,0	ESTRADA VICINAL, LIGA SP 340 COM HOLAMBRA TREVO COM ESTA	CAMPINAS
38	1,5	TREVO DA SP 147 COM A SP 340	MOJI-MIRIM
39	1,2	ESTRADA VICINAL LIGA SP 191 À ARARAS, À 1 km DA SP 191	ARARAS
40	4,5	km 12,5 - SP 191	ARARAS
41	1,2	ESTRADA VICINAL TERRA, MOJI-GUAÇU - CONCHAL, À 1,0 km DA SP 191	ARARAS
42	2,5	km 3,7 - SP 318	DESCALVADO
43	2,0	km 7,7 - SP 318	DESCALVADO
44	2,0	km 228 - SP 310	SÃO CARLOS
45	3,0	km 148 - SP 215	SÃO CARLOS
46	2,0	km 152,3 - SP 215	SÃO CARLOS
47	1,5	km 165 - SP 215	BROTAS.
48	2,5	ESTRADA VICINAL, LIGA SP 225 COM SP 255, PASSANDO POR GUARAPUÃ, PONTO À 1,4 km DA SP 225.	BROTAS
49	2,3	ESTRADA VICINAL, LIGA SP 225 - SÃO PEDRO, À 14,2 km DA SP 225	SÃO CARLOS.
50	3,0	km 208,4 - SP 310	SÃO CARLOS
51	3,0	km 16,5 - SP 225	ARARAS
52	2,0	km 8,8 - SP 318	DESCALVADO
53	1,2	km 130 - SP 225	BROTAS.
54	2,2	1,5 km APÓS CRUZAMENTO SP 310, EM DIREÇÃO À ITIRAPINA	SÃO CARLOS.
55	1,5	km 159,2 - SP 225	SÃO CARLOS

Quadro 11.(Cont.) - Localização e espessura dos perfis amostrados.

Amostra	Unidade de Mapeamento	Amostra	Unidade de Mapeamento
LATOSSOLO ROXO			
01-a	Ribeirão Preto + Barão Geraldo	05-a	Capão da Cruz + Barão Geraldo
01-b	Ribeirão Preto + Barão Geraldo	06-a	Água Vermelha
01-c	Ribeirão Preto + Barão Geraldo	07-a	Capão da Cruz
02-a	Barão Geraldo	08-a	Ribeirão Preto
02-b	Barão Geraldo	08-b	Ribeirão Preto
02-c	Barão Geraldo	09-a	Barão Geraldo
03-a	Ribeirão Preto	09-b	Barão Geraldo
03-b	Ribeirão Preto	10-a	Barão Geraldo
04-a	Ribeirão Preto + Barão Geraldo	10-b	Barão Geraldo
TERRA ROXA ESTRUTURADA			
11-a	Ribeirão Preto + Barão Geraldo	11-c	Ribeirão Preto + Barão Geraldo
11-b	Ribeirão Preto + Barão Geraldo	12-a	Estruturada
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO			
13-a	Bonfim	18-b	Hortolândia
14-a	Hortolândia	19-a	Limeira
15-a	Limeira	19-b	Limeira
16-a	Limeira (?)	19-c	Rocha alterada
17-a	Cillos (?)	20-a	Cillos
17-b	Cillos (?)	21-a	Santo Antônio
18-a	Hortolândia	22-a	Hortolândia
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO			
23-a	Mato Dentro / Laranja Azeda	36-a	Mato Dentro
23-b	Mato Dentro / Laranja Azeda	37-a	Mato Dentro (?)
23-c	Mato Dentro / Laranja Azeda	38-a	Speculas
24-a	Laranja Azeda	39-a	Coqueiro
25-a	Bela Aliança	40-a	Laranja Azeda
26-a	Mato Dentro + Laranja Azeda	41-a	Mato Dentro (?)
26-b	Mato Dentro + Laranja Azeda	42-a	Canchim
27-a	Laranja Azeda + Bela Aliança	43-a	Canchim / Laranja Azeda
28-a	Camarguinho	44-a	Canchim
28-b	Camarguinho	45-a	Canchim
29-a	Coqueiro + Limeira	46-a	Coqueiro
29-b	Coqueiro + Limeira	47-a	Coqueiro
30-a	Canchim	48-a	Coqueiro
30-b	Canchim	49-a	Três Barras
31-a	Canchim	49-b	Três Barras
31-b	Canchim	49-c	Três Barras
31-c	Canchim	50-a	Coqueiro (?)
32-a	Speculas	50-b	Coqueiro (?)
33-a	Laranja Azeda	51-a	Coqueiro / Areia Quartzosa
34-a	Laranja Azeda (?)	52-a	Coqueiro / Areia Quartzosa
35-a	Camarguinho	53-a	Coqueiro
35-b	Camarguinho		
AREIAS QUARTZOSAS			
54-a	Areia Quartzosa Profunda	55-a	Areia Quartzosa Profunda
54-b	Areia Quartzosa Profunda		

Quadro12 - Relação das amostras de solos com as classes e unidades de mapeamento.

Restringiu-se, portanto, a coleta de amostras às unidades mais representativas de cada classe e às associações de unidades, que representam a maioria em muitas quadriculas.

Inicialmente, pretendia-se coletar amostras dos horizontes pedológicos *A*, *B* e *C* de cada perfil. No entanto, nas regiões visitadas, foram raras as vezes em que se pôde observar os horizontes *A* e *C*. O horizonte *C* porque não era encontrado, pois os perfis apresentavam, normalmente, uma exposição pequena, e o horizonte *A* porque se apresentava muito modificado pela ação antrópica em função da intensa utilização agrícola na região.

A diferenciação morfológica entre as divisões do horizonte *B* (sub-horizontes, por exemplo: Bw1, Bw2,...) é pouco nítida, com transições geralmente difusas. Portanto, a coleta foi feita empregando-se limites arbitrários, como o de topo e base da exposição do horizonte.

Para a coleta de amostras fazia-se, no campo, um reconhecimento preliminar das características morfológicas do solo, como cor, profundidade de coleta e textura (Quadro 13) Também constam desse quadro os horizontes pedológicos (*A*, *B* e *C*) de coleta. Ressalte-se que as denominações pedológicas de classes e unidades utilizadas nos quadros 12 e 13 foram extraídas exclusivamente dos mapas pedológicos e relatórios correspondentes. Essas características morfológicas foram úteis, algumas vezes, para confirmar, e outras para identificar unidades diferentes daquelas representadas nos mapas pedológicos.

No quadro 13, observa-se que entre as amostras coletadas ocorre uma ampla variação na quantidade de argila, desde as maiores expressões nos Latossolos Roxos até as areias quartzosas com um máximo de 15% .

Entre as unidades da classe Latossolo Vermelho-Amarelo, a unidade Coqueiro pôde algumas vezes ser diferenciada a campo devido ao seu conteúdo de areia grossa.

Amostra	Horizontes pedológicos	Profundidade de coleta (m)	% Argila	Tipo de areia predominante	Cor
LATOSSOLO ROXO					
01-a	B	0,6 - 1,3	40 - 60	Fina	2,5 YR 3/4
01-b	B	2,0 - 2,6	60 - 65	Fina	2,5 YR 3/6
01-c	B	4,0 - 4,6	60 - 65	Fina	2,5 YR 3/6
02-a	B	1,5 - 2,0	37 - 42	Fina	2,5 YR 3/4
02-b	B	3,5 - 4,0	50 - 55	Fina	2,5 YR 3/6
02-c	B	5,5 - 6,0	50 - 55	Fina	2,5 YR 3/6
03-a	B	1,5 - 2,0	45 - 50	Fina	10 YR 3/4
03-b	B	4,5 - 5,0	45 - 50	Fina	10 YR 3/4
04-a	B	3,0 - 3,5	55 - 60	Fina	10 YR 3/4
05-a	B	3,5 - 4,0	50 - 55	Fina	10 YR 3/4
06-a	B	0,8 - 1,2	45 - 50	Fina	10 YR 3/3
07-a	B	3,5 - 4,0	50 - 55	Fina	10 YR 3/3
08-a	B	1,0 - 1,5	45 - 48	Fina	10 YR 3/3
08-b	B	3,0 - 3,5	48 - 50	Fina	10 YR 3/4
09-a	B	1,5 - 2,0	40 - 45	Fina	10 YR 3/4
09-b	B	5,0 - 5,5	50 - 55	Fina	10 YR 3/6
10-a	B	1,0 - 1,2	40 - 45	Fina	2,5 YR 3/4
10-b	B/C	3,0 - 3,4	45 - 50	Fina	2,5 YR 3/6
TERRA ROXA ESTRUTURADA					
11-a	B	3,0 - 3,5	65 - 68	Fina	10 YR 3/3
11-b	B	5,5 - 6,0	50 - 55	Fina	10 YR 3/4
11-c	B	8,5 - 9,0	55 - 60	Fina	10 YR 3/4
12-a	B	0,4 - 0,7	45 - 48	Fina	2,5 YR 3/6
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO					
13-a	B	0,6 - 1,1	22 - 25	Fina	2,5 YR 3/6
14-a	B	1,0 - 1,5	25 - 28	Fina	2,5 YR 3/4
15-a	B	1,5 - 1,8	35 - 37	Fina	2,5 YR 4/8
16-a	B	0,5 - 0,8	35 - 38	Fina	2,5 YR 4/6
17-a	B	0,3 - 0,5	40 - 45	Fina	2,5 YR 3/4
17-b	B	1,4 - 1,6	35 - 40	Fina	2,5 YR 3/4
18-a	A	0,3 - 1,0	25 - 28	Fina	2,5 YR 4/4
18-b	B	1,7 - 2,0	28 - 30	Fina	2,5 YR 4/6
19-a	B	2,0 - 2,2	32 - 35	Fina	2,5 YR 4/6
19-b	B	4,0 - 4,2	35 - 37	Fina	2,5 YR 4/8
19-c	C	5,5 - 5,7	rocha alterada	- -	2,5 YR 5/6
20-a	B	0,6 - 0,9	35 - 40	Fina	2,5 YR 5/8
21-a	B	0,6 - 1,0	37 - 42	Fina	2,5 YR 4/8
22-a	B	1,0 - 1,3	37 - 42	Fina	2,5 YR 4/8

Quadro 13-Relação das amostras de solos coletadas e suas características visual-tácteis.

Amostra	Horizontes pedológicos	Profundidade de coleta (m)	% Argila	Tipo de areia predominante	Cor
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO					
23-a	A	0,2 - 0,6	18 - 20	Fina	5 YR 3/3
23-b	B	1,2 - 1,4	20 - 22	Fina	5 YR 4/6
23-c	B	2,8 - 3,0	22 - 25	Fina	5 YR 4/8
24-a	B	1,4 - 1,6	25 - 27	Fina	5 YR 5/8
25-a	B	1,2 - 1,5	20 - 25	Fina	5 YR 4/8
26-a	A/B	0,4 - 0,6	25 - 28	Fina	5 YR 3/6
26-b	B	1,7 - 2,0	25 - 28	Fina	5 YR 3/8
27-a	B	0,8 - 1,0	25 - 27	Fina	5 YR 5/8
28-a	B	3,0 - 3,3	28 - 30	Grossa	5 YR 5/6
28-b	B	5,7 - 6,0	30 - 33	Grossa	5 YR 5/8
29-a	B	0,4 - 0,8	18 - 20	Média	5 YR 4/6
29-b	B	2,0 - 2,5	18 - 20	Média	5 YR 4/8
30-a	B	0,3 - 0,6	20 - 22	Grossa	7,5 YR 4/6
30-b	B	1,5 - 1,8	22 - 23	Grossa	5 YR 4/8
31-a	B	0,7 - 1,1	22 - 24	Grossa	7,5 YR 4/4
31-b	B	1,9 - 2,1	24 - 26	Grossa	7,5 YR 4/6
31-c	B	4,3 - 4,5	26 - 27	Grossa	5 YR 4/6
32-a	B	0,7 - 1,0	14 - 15	Fina	5 YR 4/6
33-a	B	1,5 - 1,9	24 - 26	Média	-
34-a	B	0,8 - 1,3	30 - 35	Fina	-
35-a	A	0,3 - 0,5	35 - 40	Grossa	-
35-b	B	1,0 - 1,2	38 - 42	Grossa	-
36-a	B	1,2 - 1,5	25 - 27	Fina	-
37-a	B	0,6 - 0,8	31 - 35	Média	-
38-a	B	0,8 - 1,0	30 - 34	Média	-
39-a	B	0,8 - 1,0	15 - 17	Grossa	-
40-a	B	1,0 - 1,2	22 - 27	Fina	-
41-a	B	0,7 - 1,0	35 - 36	Fina	-
42-a	B	1,5 - 1,7	40 - 45	Grossa	-
43-a	B	1,2 - 1,4	30 - 35	Grossa	-
44-a	B	1,0 - 1,2	20 - 25	Grossa	-
45-a	B	1,0 - 1,2	20 - 23	Média	-
46-a	B	0,8 - 1,0	18 - 20	Grossa	-
47-a	B	1,0 - 1,2	15 - 20	Grossa	-
48-a	B	1,0 - 1,2	15 - 20	Média	-
49-a	A	0,0 - 0,3	14 - 15	Média	5 YR 3/2
49-b	B	1,0 - 1,3	16 - 18	Média	5 YR 5/8
49-c	B/C	2,0 - 2,3	18 - 19	Média	5 YR 5/8
50-a	B	1,0 - 1,2	14 - 16	Grossa	5 YR 4/3
50-b	B	2,5 - 2,8	16 - 18	Grossa	7,5 YR 4/6
51-a	B	1,0 - 1,3	10 - 12	Fina	5 YR 4/8
52-a	B	1,0 - 1,2	13 - 16	Grossa	-
53-a	B	0,8 - 1,0	16 - 17	Grossa	-
AREIAS QUARTZOSAS					
54-a	B	0,5 - 0,8	6 - 8	Grossa	5 YR 4/6
54-b	B	1,9 - 2,2	8 - 10	Grossa	5 YR 4/8
55-a	B	0,8 - 1,0	8 - 12	Grossa	-

Quadro 13 (Cont.) -Relação das amostras de solos coletadas e suas características visual-tácteis.

Por outro lado, algumas unidades associadas que aparecem no quadro 12 não se puderam diferenciar a campo, porque os critérios para a separação exigiriam análises sofisticadas e que não foram feitas por fugirem ao escopo deste trabalho, tais como as de carácter químico que permite diferenciar o solo eutrófico, distrófico e ácrico, correspondentes às unidades Ribeirão Preto, Barão Geraldo e Capão da Cruz, respectivamente.

CAPÍTULO VI - TÉCNICAS DE ANÁLISE

As análises e ensaios foram realizados em diferentes laboratórios.

- análises granulométricas no laboratório de geoquímica do

Instituto de Geociências da USP.

- ensaios de geotecnia nos laboratórios: Tecnologia de Pavimentação -Departamento: PTR e Mecânica de Solos - Departamento: PEF da Escola Politécnica da USP.

Preparação do material

Os materiais coletados foram secados ao ar e peneirados (peneira de 2 mm de abertura). O material retido na peneira foi pesado para quantificação da fração maior que 2 mm. O material que passa na peneira de 2 mm, denominado de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), foi o material usado nas análises e ensaios.

1 - ENSAIOS ADICIONAIS

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

A análise granulométrica compreendeu a quantificação, em peso, das diversas frações.

A escala granulométrica utilizada é a internacional adaptada, que apresenta as seguintes classes:

FRAÇÃO	mm
ARGILA	< 0,002
SILTE FINO	0,002 - 0,020
SILTE GROSSO	0,020 - 0,053
AREIA FINA	0,053 - 0,210
AREIA GROSSA	0,210 - 2,000
CASCALHO	> 2

Para esta análise são utilizadas 10 g de material. As amostras foram primeiramente tratadas com H_2O_2 , para eliminação da matéria orgânica.

Para a dispersão das argilas, foi usado o pirofosfato de sódio e agitação mecânica nas garrafas de Stohmann por 16 horas, conforme proposto por Grohmann e Van Raij (1973). Esse método foi o utilizado no levantamento Pedológico Semi-detalhado do Estado de São Paulo.

Numa primeira fase da pesquisa, em que se analisaram principalmente Latossolos Roxos, usou-se o método de rotina para análises granulométricas do laboratório do Instituto de Geociências da USP.

Era procedimento de rotina a agitação mecânica era feita por apenas 4 horas. Entretanto, como as amostras apresentavam agregados muito resistentes, os resultados com esse procedimento apresentavam-se mascarados, e eram muito diferentes daqueles encontrados no levantamento das quadriculas. Assim sendo adotou-se pelo método descrito por Grohmann e Van Raij (op. cit.).

O método de análise granulométrica utilizado foi o da decantação (lei de Stokes). Utilizando-se a pipetagem (pipeta de Robson) para a separação das frações argila e silte fino, e as demais frações foram separadas por peneiramento. Essas técnicas, que são rotina no laboratório de geoquímica, foram sistematizadas por Locati (1984).

Também foi realizada identificação expedita da quantidade de argila e tipo de areia predominante através de método visual-táctil de amostras. Esta análise foi realizada pelo técnico em agronomia Sr. José da Silva Pinto Filho, no próprio campo, junto com a coleta das amostras.

ENSAIOS DE LIMITES DE LIQUÍDEZ E PLASTICIDADE

Os ensaios de LL e LP, para amostras representativas de cada classe, foram feitas segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas -NBR-6459 e NBR-7180 de outubro de 1984, respectivamente.

ENSAIOS MCT CONVENCIONAL

Foram realizados alguns dos ensaios da metodologia MCT propostos por Nogami e Villibor (1981), para algumas amostras, de: M-MCV, M-CBR, e Perda de Massa por Imersão.

Os corpos de prova de dimensões reduzidas, cilíndricos (5 cm de diâmetro por 5 cm de altura), foram moldados em equipamento miniatura, com soquete de 2,27 kg.

O equipamento miniatura apresenta a possibilidade de se aproveitar os corpos de prova resultantes do ensaio M-MCV para execução dos demais ensaios. Outras vantagens são: menor quantidade de material para os ensaios; maior rapidez; esforço físico menor e maior facilidade de transporte do equipamento ao campo.

O material ensaiado é a Terra Fina Seca ao Ar, em quantidades padrão (200 g), para cada corpo de prova moldado.

Ensaio Mini-MCV (M-MCV)

Este ensaio é resultado de uma adaptação feita por Soria e Fabri (1980) e Nogami e Villibor (1980), do MCV (*Moisture Condition Value*), apresentado por Parsons (1976) e pode ser considerado como um tipo especial de ensaio de compactação.

O ensaio M-MCV está normalizado com o título 'Compactação de solos em equipamento miniatura' pelo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) - Norma Rodoviária - ME - 228/89.

O M-MCV é um valor empírico que varia em função de inúmeros fatores, entre as quais se destacam: o tipo de solo; o teor de umidade de compactação; a quantidade de solo utilizado, etc.

Esse valor corresponde a $10 \log. N$, sendo N o número de golpes a partir do qual um corpo de prova submetido a números crescentes de golpes de soquete praticamente não sofre aumento de densidade.

Algumas das principais vantagens do ensaio M-MCV são a determinação rápida da umidade de camadas de compactação na obra e a obtenção de uma família de curvas de compactação com várias intensidades de energia.

O ensaio M-MCV consiste na moldagem de 5 corpos de prova, com teores diferentes de umidade de compactação, distribuídos uniformemente dentro da faixa de umidade compatível para sua compactação pelos processos usuais.

Além disso, foram compactados, paralelamente, mais 5 corpos de prova de cada nível coletado, com o objetivo de se obter corpos de prova para os demais ensaios, e também para controle dos possíveis desvios de densidades obtidas, ocasionadas pelo equipamento.

Ensaio Mini-CBR (M-CBR)

O ensaio M-CBR é utilizado para a determinação da capacidade de suporte dos solos compactados. Este ensaio é resultante de uma adaptação do CBR (Califórnia Bearing Ratio) de Lafleur et al. (1960) e modificado por Nogami (1972).

O M-CBR é um número positivo, expresso em porcentagem, atribuído ao corpo de prova ensaiado em função da sua resistência à penetração de um pistão de 16 mm de diâmetro, com uma velocidade de penetração determinada.

Os corpos de prova utilizados para os ensaios foram os resultantes do M-MCV.

Foram efetuadas determinações do M-CBR para duas diferentes condições:

- penetração com sobrecarga padrão (490 g), logo após a compactação do M-MCV.

- penetração após imersão de 24 horas (imersão e penetração com sobrecarga padrão).

Ensaio de Comportamento à Imersão (Pi)

Este ensaio está normalizado com o título 'Ensaio de Comportamento à Imersão' pelo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) - Norma Rodoviária - ME - 256/90.

Através desse ensaio, pôde-se determinar, segundo os seus idealizadores (Nogami e Villibor, 1980), o comportamento do solo compactado sob condição de imersão total em água, com confinamento parcial, relativamente às características de expansibilidade e coesão.

Os corpos de prova são extraídos parcialmente dos respectivos cilindros -exposição de 10 mm. Assim, esses cilindros, contendo os corpos de prova, são imersos em água em posição horizontal. O material eventualmente desprendido é recolhido para a determinação de seu peso.

A partir desse ensaio é obtido o parâmetro designado de "perda por imersão" (Pi), através da fórmula:

$$Pi = 100 \times Ps / Pp$$

onde, Ps = peso seco da parte desprendida, e

Pp = peso seco da parte saliente inicial.

2 - MODIFICAÇÕES E AVALIAÇÕES NO MÉTODO EXPEDITO DAS PASTILHAS.

As realizações dos ensaios do método expedito das pastilhas foram executados em duas fases. Numa primeira, foram analisadas todas as 82 amostras e concomitantemente implementadas modificações no método de modo a aperfeiçoá-lo e em alguns casos até com a introdução de novos ensaios. Ainda, durante essa fase foram feitas avaliações em alguns ensaios do método.

Numa segunda fase, os ensaios foram refeitos introduzindo-se todas as modificações implementadas, que são discutidas a seguir.

ANÉIS.

A primeira modificação introduzida no método foi a utilização de anéis de teflon em substituição aos de PVC, usados até então (Nogami e Villibor, 1994).

Os anéis de teflon apresentam algumas vantagens em relação aos de PVC, entre as quais se destacam: a menor aderência da massa do solo às paredes, evitando-se assim a necessidade de usar desmoldante (vaselina); ausência de deformação do anel ao ser colocado na estufa para a secagem da pastilha, e melhor definição do diâmetro interno do anel (20,00 mm), por ter sido torneado.

Entretanto, após terem sido ensaiadas todas as amostras com os anéis de teflon na primeira fase da pesquisa, verificou-se que as pastilhas resultantes da moldagem, após secagem na estufa, apresentavam variações diametrais maiores que 0,1 mm, no mesmo anel ou entre anéis diferentes, quando a variação aceitável é menor ou igual a 0,1 mm. Essa observação demonstra que o teflon, tal como o PVC, por ser relativamente flexível, se deforma ao ser feita a moldagem da pastilha.

Estas diferenças no diâmetro dos anéis são suficientes para alterarem os resultados da contração.

Depois de medidos todos os anéis e constatada a discrepância, foram substituídos por anéis de aço inoxidável. Para que a aderência de massa do solo nesses anéis fosse a mínima possível, foram retificados para deixar a superfície interna suficientemente lisa.

PENETRÔMETRO:

Foi desenvolvido um aparelho (figura 9) que faz a medida da resistência à penetração na amostra de solo espatulada de uma haste com peso e diâmetro fixados. Este aparelho tem a finalidade de substituir a caneta-penetrômetro utilizada até então.

O aparelho faz com que a “agulha” e o seu suporte (de 10 gramas no total) possa penetrar na amostra em posição vertical e em situação de queda livre, após encostar na superfície da amostra.

Este equipamento foi elaborado após a constatação de que a caneta-penetrômetro (figura 10) poderia induzir a erros, principalmente na verticalidade da agulha e queda livre; também poderia ocorrer influência do operador que manuseasse esse dispositivo, sendo mais uma variável indesejada no método.

Como o conjunto das 82 amostras foi ensaiado duas vezes, numa primeira foi usada a caneta-penetrômetro e na segunda o equipamento desenvolvido, possibilitando a comparação das unidades obtidas com 1 mm de penetração (figura 7). Verificou-se que apesar da variação a maioria dos valores estão próximos, de modo que a caneta-penetrômetro poderia ser utilizada numa avaliação preliminar no campo.

Fig.7 - Variações entre umidades ótimas de moldagem das pastilhas obtidas por diferentes penetrômetros

Verificou-se também que um dos aspectos que influenciam significativamente a penetração é o posicionamento inicial da agulha, isto é, a altura da agulha sobre a amostra antes da penetração. Para minimizar este problema fez-se o uso de uma lupa de 10 vezes de aumento para controlar o posicionamento da agulha, o que produziu bons resultados.

Procurando-se avaliar a tolerância da penetração de 1 mm para a determinação da umidade ótima de moldagem, verificou-se que é aceitável uma variação de 0,25 mm, de modo que a leitura poderia ficar $1 \pm 0,25$ mm. Esta variação teria uma influência de cerca de 0,5 % na umidade, que é muito pequena.

Uma outra modificação introduzida foi a de atribuir o valor de 0,1 mm quando a agulha marca a amostra sem penetrá-la. Este valor é o mínimo mensurável e foi adotado porque nestes casos a amostra sofre efetivamente um inchamento, embora de pequena monta, sendo portanto diferente de uma amostra em que a penetração foi zero.

BASE DE MOLDAGEM:

Um outro aspecto que foi modificado diz respeito ao uso de material plástico (sacos) revestindo alguma superfície sólida, como uma bancada, para a moldagem das pastilhas, em substituição às placas de teflon.

Efetivamente, verificou-se que a aderência da massa de solo espatulado é menor no material plástico, mesmo nas amostras mais pegajosas, como é o caso dos Latossolos Roxos.

TEMPO E INTENSIDADE DE ESPATULAÇÃO DAS AMOSTRAS.

O método proposto por Nogami e Villibor (1994) recomenda o número de 400 espatuladas, porém não traz informações sobre a forma e intensidade de espatulação, tornando difícil a sua utilização.

Desse modo, foram feitos ensaios em algumas amostras que foram espatuladas com tempos sucessivos e medidas a umidade, sempre com a penetração padrão de 1 mm.

Para amostras mais argilosas e com maior agregação, como os Latossolos Roxos, constatou-se que o tempo de espatulação suficiente para que a umidade atingisse o patamar superior foi de 6 minutos.

No entanto, a fim de evitar eventuais erros na intensidade de espatulação, resolveu-se adotar o tempo de 8 minutos para a execução dos ensaios, que corresponde a cerca de 600 espatuladas.

REPETIBILIDADE DOS ENSAIOS DAS PASTILHAS.

A fim de se estudar a repetibilidade do método, a amostra 27 foi ensaiada 5 vezes.

Os resultados encontrados estão no quadro 14, e indicam que as diferenças encontradas entre os ensaios são muito pequenas. Em termos práticos, estas diferenças são insuficientes para alterar a caracterização do material.

nº ensaio	umidade (%)	contração (mm)	penetração (mm)	classificação
1	27,0	0,91	2,0	NA'/(NG'-NS')
2	26,0	0,88	2,0	NA'-NS'
3	26,4	0,94	2,0	NA'/(NG'-NS')
4	26,9	0,87	1,8	LA'
5	26,5	0,95	2,2	NA'/(NG'-NS')

Quadro 14 - Resultados de repetibilidade de ensaios da amostra 27a.

Essas diferenças poderiam ser explicadas na classificação obtida acima, segundo o gráfico da figura 5, pela variação dos valores de contração e penetração que estão nos limites, estes entre os lateríticos e os não-lateríticos e aqueles entre os grupos LA' e LA'-LG'.

Cabe ressaltar que a amostra ensaiada acima é uma das 9 amostras, que apresentaram penetração, portanto com maior dificuldade, que as demais, de ser repetida.

REPRODUTIBILIDADE DO ENSAIO DAS PASTILHAS.

Para analisar a reprodutibilidade do ensaio, foram selecionadas 26 amostras para a repetição dos ensaios das pastilhas por operador diferente. As amostras ensaiadas são representativas de cada classe pedológica.

Os resultados comparativos encontram-se na figura 8, onde estão anotados os valores de umidade, contração e penetração respectivamente.

Como se pode observar nessa figura, as diferenças encontradas são pequenas comparando-se os ensaios executados por diferentes operadores, situando-se dentro do intervalo aceitável, isto é, que não alterariam o resultado final de classificação e utilização do material.

PROPOSIÇÃO DE NOVOS ENSAIOS.

Face a alguns problemas surgidos na execução e avaliação dos resultados na primeira fase de ensaios, principalmente com relação aos solos mais arenosos, alguns novos ensaios foram implementados.

No decorrer da primeira fase de execução de ensaios, constatou-se que as amostras mais arenosas mostraram dificuldades no seu preparo e na classificação final. Quanto ao preparo, verificou-se que nessas amostras é relativamente mais difícil estabelecer a umidade para a penetração de 1 mm, em comparação com as amostras argilosas. Isto é devido, provavelmente, ao tamanho dos grãos das amostras relativamente ao diâmetro da agulha. Assim a agulha, ao penetrar na massa poderia encontrar grãos com diâmetro de até 0,42 mm, isto é de até 1/3 do diâmetro da agulha, e assim mascarar o resultado.

Fig. 8 - Resultados de ensaios de reprodutibilidade.

Para se contornar o problema acima, foram feitos um maior número de penetrações (no mínimo cinco) e tirou-se a média, enquanto que nos solos argilosos apenas 3 leituras foram necessárias.

Estas dificuldades são gerais em solos essencialmente granulares ou com pequena parcela de finos. Pequenas variações no teor de umidade de areias podem causar mudanças relativamente altas na tensão de sucção da água que interliga os grãos. A tensão de sucção é responsável por uma “coesão fictícia”, que pode ser destruída quando há excesso de água, ou seja, quando a sucção é zero. Assim, se a tensão de sucção é alta, a penetração pode ser baixa; se a sucção é baixa a penetração é alta. Desta forma, pequenas variações de umidade na amostra podem causar diferenças significativas na profundidade de penetração da agulha padrão.

ENSAIO DE REABSORÇÃO DE ÁGUA PELA PASTILHA SEM O ANEL

A primeira implementação refere-se à avaliação do comportamento da pastilha na placa de reabsorção de água sem o anel, além da avaliação com o anel.

Verificou-se que as amostras mais arenosas, 14 do total, com contração menor do que 0,5 mm, apresentaram dificuldades na determinação da penetração padrão de 1 mm, condição para a moldagem da pastilha, e na determinação da penetração na pastilha após a reabsorção de água na placa porosa.

Nas amostras citadas, houve diferentes valores de penetração nas pastilhas com anel na placa de reabsorção de água, variando de 0 até 3 mm. O problema está em que nos termos mais arenosos, como as areias quartzosas (amostras 54a, 54b e 55a), a penetração foi nula, quando se esperava pelo

menos 3 mm, pois estes solos, por terem pequena quantidade de argila, possuem fraca coesão, teoricamente insuficiente para resistir a penetração.

Desta forma, a penetração nula foi atribuída ao confinamento da amostra pelo anel, onde os grãos estariam arranjados de maneira a impedir a penetração. Esta hipótese do confinamento é corroborado pelo que se conhece sobre o comportamento dos solos arenosos em obras, pois estes, quando confinados, podem apresentar bom desempenho.

Estes resultados com os solos arenosos permitiram, entre outros dados, a atualização da versão IV do ensaio expedito das pastilhas. Assim, na versão IV.1 (Nogami e Villibor, 1996), amostras com contrações menores que 0,15 mm são consideradas automaticamente como não-laterítico ou situadas numa faixa de transição para este.

Desta forma, fez-se a opção por colocar as pastilhas na placa de reabsorção de água sem o anel, e assim avaliar o efeito do confinamento. Observou-se que, nesse caso, a penetração foi máxima (4,5 mm), para as amostras 54a, 54b e 55a.

Cabe ressaltar que as amostras acima apresentaram dificuldades na extração do anel por possuírem contração menor do que 0,20 mm e algumas pastilhas desfizeram-se ao serem extraídas dos anéis.

O ensaio sem o anel foi repetido para todas as amostras, constatando-se que naquelas em que já havia alguma penetração após reabsorção com anel, a penetração sem o anel foi máxima. Este dado contraria a premissa de que, com penetração máxima, a amostra é não-laterítica, que porém continua válida se o ensaio for feito com o anel.

Por outro lado, o ensaio sem o anel permitiu a observação de outros fenômenos que serão abordados posteriormente.

ESFERA DE SOLO IMERSO EM ÁGUA

Procurando-se ainda alguma alternativa para o estudo de caracterização dos solos, especialmente os mais arenosos, propôs-se um ensaio que avalia o comportamento de uma esfera de solo imerso em água.

A esfera de solo utilizada para o ensaio acima é confeccionada com uma porção da mesma massa de solo espatulada e nas mesmas condições para a moldagem das pastilhas.

O ensaio está sendo proposto com o objetivo de se obter uma característica a mais do material que possa auxiliar na diferenciação dos grupos MCT, principalmente quanto aos termos mais arenosos.

Este ensaio tem sido utilizado, há muito tempo, no meio rodoviário internacional, principalmente para uma avaliação preliminar da coesão do solo natural (Woortorton, 1954).

Este ensaio foi realizado em todas as amostras coletadas, e os resultados serão apresentados e discutidos posteriormente.

3 - TÉCNICAS DO ENSAIO EXPEDITO DAS PASTILHAS MODIFICADO.

Ensaio das pastilhas. Nogami e Villibor, (1994 e 1996), com modificações. Um roteiro dos ensaios encontra-se no quadro 15.

As técnicas adotadas serão descritas sumariamente a seguir:

A fração granulométrica utilizada para este ensaio é menor que 0,425 mm, obtida a partir de peneiramento.

Os materiais passantes (peneira 0,425) e os retidos são pesados para a determinação da proporção de cada fração.

Quadro 15 - Sequência dos ensaios expeditos das pastilhas.

Cerca de 50 g do material ($< 0,425$) é separado, umedecido com água destilada, e deixado em repouso por cerca de 12 horas. Após esse tempo o material é espatulado sobre uma placa de vidro fosco com auxílio de uma espátula, por 8 minutos (figura 11). O objetivo da espatulação é desfazer os agregados do solo liberando a fração argila e também homogeneizar a amostra.

A espátula utilizada é de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura.

Para a espatulação a amostra é colocada sobre a placa de vidro, sendo que a umidade inicial de espatulação é definida pela penetração de 1 mm em uma superfície plano-horizontal de 10 mm de massa de solo homogeneizada. A amostra deve ser amassada e revolvida, vigorosa e continuamente com o auxílio da espátula, adicionando-se água destilada em pequenos incrementos, na medida em que a umidade for diminuindo.

Após os 8 minutos a amostra deve apresentar uma penetração de 1 mm, pelo penetrômetro padrão de 10 g de peso e agulha de 1,3 mm de diâmetro. Essa penetração define a condição de moldagem da amostra nos anéis, onde a amostra não seja tão dura que não possa ser trabalhada ou tão mole que não possa ser moldada nos anéis, inclusive esta umidade tem correlação com a umidade ótima de compactação.

A condição da amostra para a penetração referida acima pode ser obtida com um umedecimento, ou com uma secagem através de um circulador de ar.

O solo, nas condições acima, é acondicionado em três anéis de aço inox de 20 mm de diâmetro interno e 5 mm de altura.

Esse acondicionamento pode ser feito sobre um base plana revestida de saco plástico. O material plástico evitará a aderência do solo espatulado ao ser colocado dentro dos anéis. Esse procedimento melhora o acabamento do lado inferior da pastilha.

O solo excedente superior é rasado com o auxílio de um fio de nylon ou arame muito fino (Figura 10).

Os anéis com solo são colocados dentro de estufa a 60° C, por cerca de 8 horas.

O material espatulado restante ainda é usado para determinações da:

- Umidade de emolduração das pastilhas:

A determinação da umidade é feita através da pesagem de uma porção de amostra (tamanho e forma semelhante a uma bola de gude) antes e depois de secagem em estufa nas mesmas condições das pastilhas.

- Resistência ao esmagamento.

A esfera usada nesse ensaio é a mesma da determinação da umidade. A esfera de solo é submetida a esforços para o seu rompimento, nas seguintes condições e conseqüentes atribuições:

- 1 - Esfera quebra sob pressão dos dedos polegar/indicador;
- 2 - Esfera quebra sob pressão do dedo polegar/mesa;
- 3 - Esfera não quebra.

O objetivo desse ensaio é o de se avaliar a resistência à pressão da amostra seca. (figura 12).

- Esferas imersas em água.

Podem ser separados quatro tipos de comportamentos básicos das esferas de solo quando imersas em água, as quais serão apresentadas a seguir com as suas atribuições:

0 - Esfera de solo desagrega-se nos primeiros 10 segundos de imersão e as partículas de solo resultantes podem ser identificadas.

1 - Esfera de solo desagrega-se desagregam-se em partículas até 2 horas e as partículas de solo resultantes podem ser identificadas.

2 - Esfera de solo rompe-se em blocos milimétricos.

3 - Esfera de solo trinca-se ou não se altera.

A esfera e os blocos resultantes do tipo 2 e 3 mantêm ainda uma relativa resistência.

A estabilização das esferas em água acontecem dentro de 2 horas, sendo o mesmo tempo que as pastilhas. Modelos de resultados encontram-se na figura 13.

• Consistência.

É uma característica do solo avaliada pela pedologia em três estados de umedecimento da amostra: seca, úmida e molhada. Segundo Oliveira et al. (1992), este ensaio é importante para a pedologia porque reflete as forças de adesão e coesão do solo.

No ensaio das pastilhas adaptou-se o ensaio da consistência da amostra no estado úmido, a qual reflete a plasticidade do material.

Esta característica é avaliada através da moldagem de um cilindro (± 3 mm) de solo e de resistir à deformação quando manuseada. São feitas quatro atribuições:

- 0 - Não Plástico - não se consegue formação do cilindro.
- 1 - Pouco Plástico - forma-se cilindros que se quebram com ângulo $> 90^\circ$
- 2 - Plástico - forma-se cilindros que se quebram com ângulo $< 90^\circ$
- 3 - Muito Plástico - cilindros bem configurados e não se quebram ao encurvá-los.

Os anéis com as pastilhas, após serem tirados da estufa, devem esfriar, ao ar, por uns 15 minutos. Na sequência, são feitas medições da contração das pastilhas com auxílio de paquímetro, ou escala milimétrica e lupa com as pastilhas dentro dos próprios anéis.

Em cada pastilha são feitas três medições, a 120° uma da outra. Obtém-se, assim, 9 leituras e utiliza-se a média aritmética dessas contrações em equações para a obtenção do valor de c' , aproximação IV. de Nogami e Villibor (1994). Equações:

$$\text{Contração (ct) de 0,1 a 0,5 mm:} \quad c' = (\log_{10} ct + 1) / 0,904$$

$$\text{Contração (ct) > 0,6} \quad c' = (\log_{10} ct + 0,7) / 0,5$$

Ou pode-se utilizar o valor média das contrações diretamente no gráfico de classificação de Nogami e Villibor (1996).

O outro valor para a classificação acima é o e' que é obtido pelos valores de penetração, nas seguintes condições:

Os três anéis com as pastilhas são transferidos para uma superfície de placa porosa saturada com água e recoberta por papel de filtro. A placa porosa, com espessura de 5 mm, permeabilidade de cerca de 10^{-2} cm/s, capaz de manter pressão negativa de aproximadamente 5 mm na sua superfície superior.

Observa-se atentamente o tempo de ascensão da água, e deixa-se em repouso por 2 horas. Esse tempo de ascensão é o tempo que a pastilha demora para ficar totalmente umedecida. O espaço de tempo de 2 horas é o suficiente para que a amostra não altera mais as suas características.

Após o período acima, fazem-se observações do comportamento das pastilhas após a reabsorção da água, como expansão, aparecimento de trincas, etc., e também efetuam-se medidas de penetração com o penetrômetro padrão.

Para facilitar o procedimento do ensaio com as pastilhas, foi desenvolvida uma planilha para registro dos dados (quadro 16).

Segundo proposta de Nogami e Villibor (1994), quando os valores de penetração resultarem próximos de 2 mm, isto é, no limite entre Laterítico e não-Laterítico, os ensaios devem ser repetidos com modificações para efeitos de classificação. Essas modificações referem-se à confecção de novas pastilhas,

porém prensadas dentro do anel. Este efeito pode ser conseguido com o auxílio de uma pequena placa rígida e um pedaço de papel de filtro sobre a massa de solo. Os novos valores obtidos serão usados para a classificação.

O uso do paquímetro foi implementado durante o desenvolvimento da primeira fase do presente trabalho, uma vez que este dispositivo é mais preciso na leitura da contração do que a régua milimetrada e lupa.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: DATA: ____/____/____ EXECUTOR: _____	• FORMAS DE INCHAMENTO E TRINCAS <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px; display: inline-block; margin-right: 10px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px; margin-left: 10px;"></div> </div> <p style="text-align: center; margin-left: 100px;">Anel nº</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px; display: inline-block; margin-right: 10px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px; margin-left: 10px;"></div> </div> <p style="text-align: center; margin-left: 100px;">Anel nº</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px dashed black; width: 60px; height: 20px; display: inline-block; margin-right: 10px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px; margin-left: 10px;"></div> </div> <p style="text-align: center; margin-left: 100px;">Anel nº</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px dashed black; width: 60px; height: 20px; display: inline-block; margin-right: 10px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px; margin-left: 10px;"></div> </div> <p style="text-align: center; margin-left: 100px;">Anel nº</p>																																																
• CONDIÇÕES DE DESTORROAMENTO <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> () muito fácil () fácil </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> () difícil () muito difícil </div>	• RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO () quebra com pressão dedo x dedo () quebra com pressão dedo x mesa () não quebra																																																
• GRANULOMETRIA (mm) (peneiramento) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>gramas</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>total</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>< 0,425</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,425 - 2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>> 2</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		gramas	%	total			< 0,425			0,425 - 2			> 2			• ESFERA IMERSA EM ÁGUA tempo de reação: _____ tipo de produto final: () partículas, em menos de 10 segundos. () partículas () blocos () não se altera																																	
	gramas	%																																															
total																																																	
< 0,425																																																	
0,425 - 2																																																	
> 2																																																	
• CONSISTÊNCIA -(amostra úmida) () não plástica () plástica () pouco plástica () muito plástica	• CLASSIFICAÇÃO MCT (preliminar): _____ _____ _____ _____ _____																																																
• UMIDADE (h) - (%) (moldagem) $h = (\text{úmida} - \text{seca}) \times 100 / \text{seca}$ $h = (\quad - \quad) \times 100 / \quad$ $h = \quad \%$	OBS. _____ _____ _____ _____ _____																																																
• PASTILHAS <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Anéis nº</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Con- tração</td> <td>0°</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>120°</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>240°</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="3">Contração média =</td> </tr> <tr> <td>Tempo ascensão</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2">sem anel</td> </tr> <tr> <td>Expansão com anel</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Expansão sem anel</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Penetração com anel</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Penetração sem anel</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Anéis nº					Con- tração	0°				120°				240°						Contração média =			Tempo ascensão			sem anel		Expansão com anel					Expansão sem anel					Penetração com anel					Penetração sem anel					
Anéis nº																																																	
Con- tração	0°																																																
	120°																																																
	240°																																																
		Contração média =																																															
Tempo ascensão			sem anel																																														
Expansão com anel																																																	
Expansão sem anel																																																	
Penetração com anel																																																	
Penetração sem anel																																																	

Quadro 16 - Planilha de registros de dados dos ensaios das pastilhas

Fig.9 - Aparelho de penetração desenvolvido.

Fig.10 - Caneta-penetrômetro e fio para rasar a pasta excedente no anel.

Fig. 11 - Espatulação de um solo em placa de vidro.

Fig. 12 - Esferas de solo e anéis de aço inoxidável.

Fig. 13 - Tipos de alterações das esferas de solo após imersão em água.

CAPÍTULO VII - ANÁLISES E ENSAIOS ADICIONAIS

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises granulométricas a fim de se verificar a sua utilidade nos levantamentos geotécnicos. Serão apresentados também alguns resultados de ensaios da metodologia MCT convencional (Ensaio de M-MCV, M-CBR e Perda de Massa por Imersão) e dos Limites de Liquidez e Índice de Plasticidade de algumas amostras representativas de cada classe.

1 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados da análise granulométrica das amostras coletadas encontram-se no quadro 17.

Entre as peculiaridades dos solos coletados destaca-se a ausência, na maioria das amostras, da fração cascalho. Somente 3 amostras: 28a, 28b e 49c, com 7,9%, 19,7% e 9,4%, respectivamente, apresentaram quantidade considerável de cascalho. Essas amostras pertencem à classe dos Latossolos Vermelhos Amarelos.

Do ponto de vista pedológico a ausência da fração maior que 2 mm nos materiais estudados significa que os solos sofreram um elevado grau de intemperização conjugado com os tipos de rochas de origem, principalmente rochas básicas e sedimentares de granulação mais fina. Com efeito, segundo Brasil (1960), a maioria dos solos do Estado de São Paulo apresenta pequena quantidade da fração maior que 2 mm, pelo menos no que se refere aos horizontes *A* e *B* dos perfis.

No que se refere a geotecnia, a ausência da fração grosseira explica a dificuldade de se encontrar materiais granulares naturais nos solos superficiais para o uso, por exemplo, na estabilização granulométrica de solos. Em contrapartida, a metodologia MCT foi desenvolvida especialmente para os solos

que passam integralmente na peneira de 2 mm de abertura, o que permite utilizá-la para a maioria dos solos do Estado de São Paulo.

Amostra	Argila	Silte Fino	Silte Grosso	Areia Fina	Areia Grossa	Cascalho (Solo Total)
LATOSSOLO ROXO						
1-a	40.6	14.1	8.2	27.1	10.0	0
1-b	35.0	8.1	12.8	35.1	9.0	0
1-c	32.3	11.7	14.1	32.1	9.8	0
2-a	31.1	8.7	9.0	40.4	10.8	0
2-b	25.0	3.1	9.8	51.5	10.6	0
2-c	23.9	10.2	10.6	42.4	12.9	0
3-a	34.0	12.9	16.2	26.9	10.0	0
3-b	18.9	18.6	21.5	30.1	10.9	1.8
4-a	68.0	14.3	6.1	6.7	4.9	0.3
5-a	41.8	10.9	11.6	26.4	9.3	0.9
6-a	42.3	0	3.6	28.3	25.8	0
7-a	45.9	6.6	12.3	27.8	7.4	1.5
8-a	41.6	17.0	13.1	21.3	7.0	0
8-b	36.5	11.2	14.0	34.0	4.3	0
9-a	46.1	5.1	14.0	28.5	6.3	0
9-b	35.7	14.2	17.1	27.1	5.9	0
10-a	62.6	0.5	8.1	19.8	9.0	0
10-b	35.5	11.6	10.2	27.7	15.0	0
TERRA ROXA ESTRUTURADA						
11-a	67.0	12.0	6.0	11.2	3.8	0
11-b	41.3	17.0	12.8	23.4	5.5	0
11-c	10.3	19.5	20.0	40.7	9.5	0
12-a	60.5	7.1	8.9	15.3	8.2	0
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO						
13-a	47,6	0,3	2,7	14	35,4	0,2
14-a	45	0,2	7,2	25,1	22,5	0
15-a	30,6	6,2	14,2	33,2	15,8	0
16-a	48,4	2,5	8,2	24,2	16,7	0
17-a	44,2	13,4	10,3	22,4	9,7	0
17-b	70,8	7,7	6,3	11	4,2	0
18-a	18,1	13,5	4,3	30,6	33,5	0
18-b	30,8	3,8	4,4	29	32	0
19-a	48,3	12,4	10,5	23,1	5,7	0
19-b	33,6	16,6	13,7	27,3	8,8	0
19-c	31,2	37,4	12,6	15,5	3,3	0
20-a	40,9	5,5	15,3	26,7	11,6	0
21-a	54,2	7,3	10	14,9	13,6	0
22-a	27	2,6	5	40	25,4	0

Quadro 17 - Resultados da análise granulométrica (dados em %).

Amostra	Argila	Silte Fino	Silte Grosso	Areia Fina	Areia Grossa	Cascalho (Solo Total)
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO						
23-a	16,9	5,5	2,8	39,2	35,6	0
23-b	21,5	4,6	3,7	37,2	33	0
23-c	20,6	5,3	3,3	36,6	34,2	0
24-a	19,8	5,8	6,6	49,2	18,6	0
25-a	20,4	6,5	2,8	39,1	31,2	0
26-a	41	6,7	3,6	26,6	22,1	0
26-b	45,7	3,2	4,8	31,8	14,5	0
27-a	22,7	4,2	13,7	45,5	13,9	0
28-a	38,8	10,8	4,9	18	27,5	7,9
28-b	34,7	10,6	6,2	17,9	30,6	19,7
29-a	26,3	0,5	1,5	36,7	35	0
29-b	27,9	0,4	2,5	40,9	28,3	0
30-a	37,1	3	1,9	24,8	33,2	0
30-b	29,1	6,1	4,1	28	32,7	0
31-a	39,8	3,3	1,8	17,8	37,3	0
31-b	30	11,3	3,4	19,1	36,2	0
31-c	28,8	11,1	5,8	22	32,3	0
32-a	18,5	3,7	6,5	45,1	26,2	0
33-a	19,2	3,7	4,9	52,3	19,9	0
34-a	42,7	4,8	3,3	25,7	23,5	0
35-a	54,3	5	2,3	11,9	26,5	0
35-b	55,6	4,6	2,6	15,1	22,1	0
36-a	44,2	3,8	4,5	29,4	18,1	0
37-a	43,9	4,6	3,9	24,9	22,7	0
38-a	45,7	0	4,1	28	22,2	0
39-a	16,6	1	2,1	36,4	43,9	0
40-a	29,1	2,4	7,4	39,2	21,9	0
41-a	42	4,4	8	29	16,6	0
42-a	38,9	1,9	1,5	19,7	38	0
43-a	25,2	0,4	1,1	31,7	41,6	0
44-a	32,5	2,4	1,9	17,1	46,1	0
45-a	22,6	0,1	1,7	34,2	41,4	0
46-a	20	1,8	1,2	20,4	56,6	0
47-a	17,1	0,6	0,8	29,3	52,2	0
48-a	19,3	0,8	3,3	32,9	43,7	0
49-a	10,2	1,8	5,6	39	43,4	0
49-b	14,9	1,7	9,1	40,8	33,5	0
49-c	15,3	1,7	10,4	41,2	31,4	9,4
50-a	15,4	0,5	0,7	22,5	60,9	0
50-b	14	1	0,7	21,6	62,7	0
51-a	10,3	11,4	5,2	47,7	25,4	0
52-a	15,3	0,7	1,5	47,8	34,7	0
53-a	9,1	0,9	1	31,5	57,5	0
AREIAS QUARTZOSAS PROFUNDAS						
54-a	6.6	0	0.7	45.7	47	0
54-b	7.0	0	0.9	47.2	44.9	0
55-a	12.1	0.6	1.1	38.3	47.9	0

Quadro 17 (Cont) - Resultados das análises granulométricas. (dados em %).

Para a geotecnia, a constatação acima pode ser importante porque demonstra a dificuldade de se encontrar materiais granulares naturais nos solos superficiais para o uso, por exemplo, na estabilização granulométrica de solos. Em contrapartida, a metodologia MCT foi desenvolvida especialmente para os solos que passam integralmente na peneira de 2 mm de abertura, o que permite utilizá-la para a maioria dos solos do Estado de São Paulo.

Quanto às frações menores que 2 mm, observa-se, primeiramente, que há uma ampla variação de valores de todas as frações analisadas. Comparando-se os resultados obtidos, com os dados da literatura, verifica-se que há algumas discrepâncias, e a que mais chama a atenção são os valores das frações na classe dos Latossolos Roxos.

Nessa classe, de modo geral, os teores de fração argila são significativamente menores e os das frações silte grosso e areia fina são maiores que os esperados. Assim, os teores encontrados variam de 18,9% (amostra 3b) à 68 % e na sua maioria situa-se abaixo de 40% (Oliveira e Prado, 1987). Para as demais classes de Latossolos, torna-se difícil fazer alguma avaliação, devido principalmente à maior variabilidade dessas classes.

Essa discrepância mostra que houve problemas na dispersão da argila na análise granulométrica e, que essa se deve provavelmente a existência de agregados estáveis devidos a presença de óxidos de ferro.

2 - ENSAIOS DA METODOLOGIA MCT CONVENCIONAL.

Os ensaios da metodologia MCT (Ensaio de M-MCV, M-CBR e Perda de Massa por Imersão) foram realizados para confirmar a classificação

obtida pelos ensaios expeditos das pastilhas, e os resultados encontram-se no quadro 18.

Os resultados mostram que há uma grande aproximação entre os valores obtidos, confirmando assim a eficácia do método expedito. Inclusive a partir das figuras 14 e 15, observa-se que as umidades ótimas de compactação na energia de 12 golpes está correlacionada com umidades ótimas de confecção das pastilhas.

3 - ENSAIOS DE LIMITES DE LIQÜIDEZ E PLASTICIDADE

Os resultados dos ensaios de LL e LP (Quadro 18) mostram que a umidade ótima de confecção das pastilhas está próxima do LL, como já havia sido constatado por Nogami e Villibor (1995).

amostras	Hot-past	Hot-12 golpes	c'	e'	PENETRA- ÇÃO	M-CBR s/imersão	M-CBR imerso	Pi	LL	LP	IP
2b	35,2	18,6	1,52	0,58	0	33	26	0	39,9	29	10,9
11a	43,5	25,8	2,18	1,08	0,1	24	13	35			
11b	47,6	26	1,82	0,87	0	38	38	15	50,1	39,8	10,3
14a	31,8	17,4	1,62	0,8	0	25	18	20	35,1	20	15,1
27a	27,7	11,3	1,43	0,66	1,8	59	25	0			
32a	20	10,7	1,2	0,99	2,3	50	50	65			
50b	20,1	10,4	0,55	1,26	0	26	21	95			
53a	15,9	11,1	0,3	1,78	0	15	14,8	167			
55a	18,2	9,2	0,35	1,34	0	160	160	145			
39a	19,7								17,3	15,4	1,9
40a	26,5								27,3	18,1	9,2
54a	18,2								NP		

Quadro 18 - Resultados dos ensaios do MCT convencional e LL e LP.

* Hot-past - umidade ótima de moldagem das pastilhas.

Hot-12 golpes - umidade ótima da curva de compactação na energia de 12 golpes do ensaio MCT.

Fig. 14 Relação das umidades entre pastilhas e 12 golpes MCT

Fig. 15 Relação da umidades ótimas das pastilhas e de 12 golpes MCT

VIII - ENSAIOS EXPEDITOS DAS PASTILHAS.

(Análise dos resultados e classificação geotécnica)

Serão apresentados e discutidos, neste capítulo, os resultados obtidos das 82 amostras ensaiadas com o método expedito das pastilhas

O ensaio expedito das pastilhas permite observar 10 características dos solos analisados: granulometria, umidade, consistência, contração diametral, tempo de ascensão, trincas, expansão, penetração, resistência ao esmagamento e coesão em água.

Todos os resultados das características acima estão relacionados no quadro 19, do qual constam também os valores de c' e a classificação final de cada amostra. No quadro 20 constam os resultados da granulometria.

De acordo com Nogami e Villibor (1996), das 10 características observadas, somente duas são necessárias para a classificação preliminar MCT dos solos, a contração diametral e a penetração na pastilha com o anel, porque a contração está relacionada com o coeficiente c' e a penetração com o índice e' .

As duas características acima de certa forma sintetizam o comportamento de um solo para aplicação em pavimentação. Enquanto a contração se correlaciona com a compressibilidade dos solos compactados, a penetração está relacionada com a coesão e resistência desses solos em presença de água.

Entretanto, as demais características, se bem exploradas, podem contribuir significativamente para um melhor conhecimento do comportamento geotécnico dos solos ensaiados, auxiliando assim na previsão de seu desempenho nas obras.

amostras	umidades (%)	contração (mm)	contração (%)	c'	penetração c/ anel (mm)	Classificação	Tempo ascensão	penetração s/ anel (mm)	Expansão c/ anel (%)	Expansão s/ anel (%)	consistência	Trincas	resistência esmagamento	esfera água
LATOSSOLO ROXO														
1 a	36,5	1,61	8,05	1,81	0	LG ¹	6'	0,0	1,1	1,1	2	0	2	3
1 b	40,6	1,67	8,35	1,84	0	LG ¹	4'	0,0	0,9	0,9	1	0	2	2
1 c	39,5	1,53	7,65	1,77	0	LG ¹	4'	0,0	0,7	0,7	1	0	2	2
2 a	32,9	1,45	7,25	1,72	0	LG ¹	4'	0,0	0,8	0,8	1	0	2	2
2 b	35,2	1,43	7,15	1,71	0	LG ¹	6'	0,0	0,7	0,7	1	0	2	3
2 c	37,9	1,44	7,20	1,72	0	LG ¹	5'	0,0	0,7	0,7	1	0	2	3
3 a	41,0	1,42	7,10	1,70	0	LG ¹	5'	0,0	0,6	0,6	1	0	2	3
3 b	41,4	1,38	6,90	1,68	0	LA ¹ - LG ¹	4'	0,0	0,4	0,4	1	0	2	3
4 a	53,1	2,52	12,60	2,20	0	LG ¹	5'	0,0	2,3	2,3	1	0	2	2
5 a	45,7	1,60	8,00	1,81	0	LG ¹	5'	0,0	0,0	0,0	1	0	2	2
6 a	29,7	1,58	7,90	1,80	0	LG ¹	11'	0,0	2,0	2,0	3	0	2	2
7 a	46,7	1,82	9,10	1,92	0	LG ¹	6'	0,0	0,0	0,0	1	0	2	3
8 a	45,0	2,01	10,05	2,00	0	LG ¹	7'	0,0	0,0	0,0	2	0	2	2
8 b	43,4	1,90	9,50	1,96	0	LG ¹	6'	0,0	0,5	0,5	3	0	2	2
9 a	39,0	1,63	8,15	1,82	0	LG ¹	6'	0,0	0,7	0,7	1	0	2	2
9 b	41,0	1,68	8,40	1,85	0	LG ¹	5'	0,0	1,0	1,0	2	0	2	2
10 a	37,9	1,73	8,65	1,88	0	LG ¹	8'	0,0	0,7	0,7	1	0	2	3
10 b	42,9	1,93	9,65	1,97	0	LG ¹	5'	0,0	0,7	0,7	1	0	2	3
TERRA ROXA ESTRUTURADA														
11 a	43,5	1,36	6,80	1,67	0,1	LA ¹ - LG ¹	30"	0,5	7,3	7,8	3	1	3	2
11 b	47,6	1,77	8,85	1,89	0	LG ¹	12'	0,0	1,5	1,6	1	0	2	2
11 c	44,5	1,52	7,60	1,76	0	LG ¹	4'	0,0	8,2	6,6	0	1	2	2
12 a	36,2	1,64	8,20	1,83	0	LG ¹	7'	0,0	1,3	1,4	3	0	3	3
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO														
13 a	31,1	1,36	6,80	1,67	0	LA ¹ - LG ¹	5'	0,0	0,8	0,3	3	0	2	2
14 a	31,8	1,26	6,30	1,60	0	LA ¹ - LG ¹	5'	0,0	0,3	0,8	2	0	2	2
15 a	22,7	1,11	5,55	1,49	0,1	LA ¹ - LG ¹	7'	0,0	5,9	3,2	3	1	2	2
16 a	30,1	1,57	7,85	1,79	0	LG ¹	12'	0,0	1,5	1,6	3	0	3	3

QUADRO 19 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DAS PASTILHAS

amostras	umidades (%)	contração (mm)	contração (%)	c'	penetração c/ anel (mm)	Classificação	Tempo ascensão	penetração s/ anel (mm)	Expansão c/ anel (%)	Expansão s/ anel (%)	consistência	Trincas	resistência esmagamento	esfera água
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO (Cont.)														
17 a	33,1	1,59	7,95	1,80	0	LG'	12'	0,0	2,1	2,2	3	0	3	3
17 b	39,8	1,80	9,00	1,91	0	LG'	6'	0,0	1,6	1,6	3	0	2	2
18 a	22,1	1,00	5,00	1,40	0,1	LA' - LG'	10'	0,0	1,0	1,0	3	0	2	2
18 b	27,6	1,29	6,45	1,62	0,1	LA' - LG'	5'	0,0	5,8	1,0	2	0	2	2
19 a	44,1	1,79	8,95	1,90	0	LG'	6'	0,0	1,0	1,1	1	0	2	3
19 b	45,4	1,97	9,85	1,99	0	LG'	4'	0,0	0,9	0,5	1	0	2	2
19 c	49,1	1,84	9,20	1,93	4,5	NG'	5'	4,5	10,0	9,0	1	1	2	1
20 a	31,4	1,62	8,10	1,82	0,1	LG'	11'	0,0	1,1	0,5	3	0	2	3
21 a	39,4	1,84	9,20	1,93	0	LG'	8'	0,0	1,3	1,1	2	0	2	3
22 a	26,2	1,08	5,40	1,47	0,1	LA' - LG'	4'	0,0	5,7	0,5	2	0	2	2
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO														
23 a	18,0	0,40	2,00	0,66	0	LA - LA'	2'	0,0	1,5	0,8	1	1	2	3
23 b	20,8	0,70	3,50	1,09	0	LA'	3'	0,0	1,0	0,4	2	0	2	1
23 c	23,0	0,82	4,10	1,23	0	LA'	2'	0,0	0,6	0,0	1	0	2	3
24 a	22,7	0,65	3,25	1,02	0	LA'	2'	0,0	0,2	0,4	1	0	2	2
25 a	20,1	0,64	3,20	1,01	0	LA - LA'	3'	0,0	3,3	11,7	2	1	2	1
26 a	28,1	1,38	6,90	1,68	0	LA' - LG'	11'	0,0	1,0	0,8	3	0	2	3
26 b	34,5	1,67	8,35	1,84	0	LG'	7'	0,0	0,4	0,5	1	0	2	2
27 a	27,7	1,13	5,65	1,51	1,8	LA' - LG'	2'	4,5	6,0	7,9	1	1	2	1
28 a	40,5	1,86	9,30	1,94	0	LG'	4'	0,0	0,9	1,1	1	0	2	3
28 b	41,1	1,72	8,60	1,87	0	LG'	4'	0,0	0,6	1,1	1	0	2	2
29 a	21,6	0,74	3,70	1,14	0,1	LA'	6'	0,5	3,8	4,4	3	1	2	1
29 b	23,0	0,80	4,00	1,20	0,1	LA'	2'	0,0	4,2	0,0	2	1	2	1
30 a	28,9	1,29	6,45	1,62	0	LA' - LG'	7'	0,0	1,5	1,1	2	0	2	1
30 b	27,7	1,03	5,15	1,42	0	LA' - LG'	4'	0,0	0,1	0,5	2	0	2	2
31 a	31,1	1,41	7,05	1,70	0	LG'	8'	0,0	0,6	0,6	2	0	2	3
31 b	35,5	1,57	7,85	1,79	0	LG'	5'	0,0	0,4	0,5	3	0	2	3
31 c	39,2	1,78	8,90	1,90	0	LG'	6'	0,0	0,4	0,5	1	0	2	3

QUADRO 19 -(CONT.) RESULTADOS DOS ENSAIOS DAS PASTILHAS

amostras	umidades (%)	contração (mm)	contração (%)	c'	penetração c/ anel (mm)	Classificação	Tempo ascensão	penetração s/ anel (mm)	Expansão c/ anel (%)	Expansão s/ anel (%)	consistência	Trincas	resistência esmagamento	esfera água
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (Cont.)														
32 a	20,0	0,62	3,10	0,98	0,1	LA'	1'	5,0	3,2	6,7	2	1	2	1
33 a	19,3	0,54	2,70	0,81	0	LA - LA'	2'	0,0	1,2	0,2	1	0	2	3
34 a	32,3	1,64	8,20	1,83	0	LG'	10'	0,0	0,8	1,3	2	0	2	2
35 a	36,2	1,56	7,80	1,79	0	LG'	9'	0,0	1,9	1,4	3	0	3	3
35 b	37,6	1,56	7,80	1,79	0	LG'	7'	0,0	0,9	1,4	3	0	3	3
36 a	33,9	1,66	8,30	1,84	0	LG'	8'	0,0	0,9	0,9	3	0	2	3
37 a	32,4	1,58	7,90	1,80	0	LG'	9'	0,0	1,0	1,6	3	0	2	3
38 a	30,8	1,53	7,65	1,77	0	LG'	8'	0,0	1,2	1,1	3	0	2	2
39 a	19,7	0,33	1,65	0,57	0	LA - LA'	15"	0,0	1,7	1,5	1	1	1	2
40 a	26,5	1,02	5,10	1,42	0	LA' - LG'	5'	0,0	0,1	0,0	2	0	2	1
41 a	31,0	1,69	8,45	1,85	0	LG'	10'	0,0	1,0	1,1	3	0	2	2
42 a	34,0	1,51	7,55	1,76	0	LG'	3'	0,0	0,6	0,5	2	0	2	1
43 a	24,6	1,00	5,00	1,40	0,1	LA' - LG'	30"	0,5	5,3	5,8	2	1	2	1
44 a	28,5	1,12	5,60	1,50	0	LA' - LG'	1'	0,0	0,6	0,5	3	0	2	3
45 a	27,5	0,99	4,95	1,39	0,1	LA'	10"	5,0	5,2	7,9	1	1	2	1
46 a	24,4	0,81	4,05	1,22	1,2	LA'	20"	5,0	4,2	2,0	2	1	1	1
47 a	21,3	0,47	2,35	0,74	0,1	LA - LA'	30"	0,0	2,4	0,0	2	0	1	1
48 a	21,9	0,71	3,55	1,10	1,5	LA'	1'	5,0	3,7	5,7	2	1	2	1
49 a	17,6	0,26	1,30	0,46	0,1	LA - LA'	2'	4,5	1,3	4,9	0	1	2	1
49 b	17,5	0,36	1,80	0,61	2,5	NA' / NS'	2'	4,5	1,8	12,0	2	1	2	1
49 c	19,0	0,43	2,15	0,70	3	NA' / NS'	1'	4,5	2,2	9,9	2	1	2	1
50 a	18,3	0,36	1,80	0,61	0	LA - LA'	1'	4,5	1,8	6,9	2	1	1	1
50 b	20,1	0,42	2,10	0,69	1	LA - LA'	10"	4,5	2,1	7,2	2	1	1	1
51 a	20,8	0,30	1,50	0,53	0	LA - LA'	1"	4,0	1,5	0,7	1	0	2	2
52 a	19,4	0,30	1,50	0,53	0,1	LA - LA'	8"	4,5	1,5	6,6	2	1	2	1
53 a	15,9	0,10	0,50	0,00	0	NA	3"	0,0	0,5	0,5	0	0	1	2
AREIA QUARTZOSA														
54 a	14,7	0,10	0,50	0,00	0	NA	2"	4,5	0,5	5,5	0	1	1	2
54 b	14,9	0,10	0,50	0,00	0	NA	1"	4,5	0,5	5,5	0	1	1	0
55 a	18,2	0,20	1,00	0,33	0	LA	8"	4,5	1,0	3,5	1	1	2	0

QUADRO 19 -(CONT.) RESULTADOS DOS ENSAIOS DAS PASTILHAS

Amostras	< 0,42	0,42-2	Amostras	< 0,42	0,42-2
LATOSSOLO ROXO					
1 a	91,4	8,6	5 a	98,5	0,6
1 b	95,4	4,5	6 a	97	3
1 c	99	1	7 a	91,6	6,9
2 a	98,3	1,7	8 a	99	1
2 b	99	1	8 b	99	1
2 c	98	2	9 a	98,6	1,4
3 a	99,2	0,8	9 b	98,6	1,4
3 b	97,5	0,7	10 a	98,2	1,8
4 a	97,5	2,2	10 b	97	3
TERRA ROXA ESTRUTURADA					
11 a	97	3	11 c	98,4	1,6
11 b	98,7	1,3	12 a	98,1	1,9
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO					
13 a	77,5	22,3	18 b	96	4
14 a	94,5	5,5	19 a	99	1
15 a	96,6	3,4	19 b	98,7	1,3
16 a	96	4	19 c	99,5	0,5
17 a	98,3	1,7	20 a	94	6
17 b	98,8	1,2	21 a	97,3	2,7
18 a	94,6	5,4	22 a	95,7	4,3
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO					
23 a	95,4	4,6	36 a	93,6	6,4
23 b	95	5	37 a	89,9	10,1
23 c	95	5	38 a	91,8	8,2
24 a	98	2	39 a	92,7	7,3
25 a	96,5	3,5	40 a	96,1	3,9
26 a	95	5	41 a	95,3	4,7
26 b	96,7	3,3	42 a	86,4	13,6
27 a	96,1	3,9	43 a	86,3	13,7
28 a	69,5	22,6	44 a	74,7	25,3
28 b	59,2	21,1	45 a	82,3	17,7
29 a	89,6	10,4	46 a	75,6	24,4
29 b	90,8	9,2	47 a	89,2	10,8
30 a	86,4	13,6	48 a	94	6
30 b	91	9	49 a	88	12
31 a	79	21	49 b	90	10
31 b	81,7	18,3	49 c	81	9,6
31 c	81	19	50 a	67	33
32 a	95	5	50 b	68,7	31,3
33 a	97,2	2,8	51 a	84,6	15,4
34 a	93,7	6,3	52 a	86,9	13,1
35 a	80,4	19,6	53 a	87,1	12,9
35 b	75,6	24,4			
AREIA QUARTZOSA					
54 a	87	13	55 a	87,2	12,8
54 b	86,5	13,5			

Quadro 20 - Resultados da granulometria do ensaio das pastilhas.

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos com os ensaios de contração e de penetração e a conseqüente classificação das amostras.

1 - CONTRAÇÃO

Os valores da contração das pastilhas apresentam correlação direta com o valor de ' c ' (Nogami e Cozzolino, 1985).

De acordo com a aproximação IV.1 do ensaio das pastilhas, (Nogami e Villibor, 1996), o valor da contração pode ser usado diretamente no gráfico de classificação para a obtenção dos grupos MCT.

Os valores de contração obtêm-se com relativa facilidade por meio de um paquímetro, pois as pastilhas secas apresentam resistência suficiente para serem manuseadas.

Observa-se que existe uma razoável correlação da contração com a fração argila obtida nas análises granulométricas, conforme mostra a figura 16. Entretanto, uma correlação mais estreita dos dados da contração com os resultados das análises granulométricas, é difícil de estabelecer pela imprecisão dos resultados de granulometria, como já foi mencionado anteriormente. Além disso, a contração é função também da plasticidade do solo.

Os resultados da contração dos solos, através do método expedito das pastilhas, estão correlacionados com a umidade de moldagem das pastilhas, como era de se esperar (figura 17). Verifica-se nessa figura que há uma tendência de comportamento perante a água dos solos analisados quanto à contração, porque as frações que compõem o solo têm grande afinidade com a água e ao perdê-la contraem.

Fig. 16 -.Relação da fração argila com a contração

Fig. 17- Relação da contração com a umidade

Com relação ao ensaio de contração, os solos estudados abrangem uma ampla faixa de variação, que vai desde 0,1 mm, mínima mensurável, nos arenosos, até 2,5 mm, nos argilosos. Pode-se esperar, portanto, que a umidade e a contração dos demais solos do Estado variem dentro desses limites.

Comparando-se as figuras 16 e 17, verifica-se que há uma forte correlação entre teores de argila e umidade, confirmando que a fração argila é a que tem influência decisiva na propriedade da contração.

Ao se comparar a contração com a expansão sem anel das amostras (figura 18), pode-se observar que existe uma tendência de que, quanto maior a contração, menor será a expansão. Em relação aos solos considerados não tropicais, o normal seria acontecer o contrário.

Fig.18- Relação da contração com a expansão sem o anel

Na figura 19, apresentam-se os valores da contração distribuídos de uma forma crescente por classes pedológicas e verifica-se que as duas classes pedológicas opostas quanto à quantidade de argila (Latosolos Roxos e Areias Quartzosas) apresentam também contração com maior contraste.

Também na figura 19, pode-se verificar que os valores de contração apresentam ampla variação, desde 2,52 mm até 0,26 mm para os Latossolos, e menores do que 0,2 mm para as Areias Quartzosas.

A existência dessas variações de contração nos Latossolos indica que eles apresentam coesões diferentes entre si e, portanto, comportamentos mecânicos diferentes. Assim, as variações entre as classes dos Latossolos estão distribuídas da seguinte maneira:

classes de solos	variações da contração (mm)	variações da contração (%)
Latossolo Roxo	2,52 - 1,38	12,60 - 6,90
Latossolo Vermelho-Escuro	1,97 - 1,00	9,85 - 5,00
Latossolo Vermelho-Amarelo	1,86 - 0,26	9,30 - 1,30

Pode-se observar, nos dados acima, que cada classe apresenta uma faixa de contração preferencial. Assim, essas faixas de valores podem contribuir para a identificação desses tipos de solos.

Fig.19 - Relação da contração por classes de amostras

2 - PENETRAÇÃO

Foram efetuados ensaios de penetração nas pastilhas após a reabsorção de água quando apoiadas em placa porosa saturada, em duas condições diferentes, sendo a primeira, convencional, com o anel, e a segunda sem o anel, de acordo com a modificação proposta anteriormente.

Penetração com anel.

Verificou-se que somente ocorre alguma penetração, isto é, diminuição da resistência à esforços, quando a amostra perde a estabilidade na presença de água. Este fato pode ser observado na análise da figura 20, onde a penetração tem uma tendência a aumentar com o crescimento da expansão.

Fig. 20 - Relação da penetração com anel com a expansão

Observa-se que das 82 amostras, somente 10 apresentaram penetração maior do que 0,1 mm. Outras 14 amostras ficaram apenas marcadas pela agulha. No quadro 19, as amostras que foram apenas marcadas aparecem com o valor de 0,1 mm.

Quanto aos valores de penetrações nas diferentes classes pedológicas, pode-se observar que nos Latossolos Roxos a penetração é sempre nula.

Dos Latossolos Vermelho-Escuros, 6 amostras apresentam penetração de 0,1 mm; nas demais amostras dessa classe a penetração é também nula. Entretanto, a amostra 19c apresentou penetração de 4 mm, demonstrando que essa amostra pertence à classe dos não-lateríticos. Como se trata de horizonte C, com conservação da estrutura da rocha de origem, correspondem a um solo saprolítico.

Nos Latossolos Vermelho-Amarelos, há uma ampla variação de valores de penetração, desde 0 até 3,0 mm, mostrando assim que ocorre nessa classe uma variação dos valores de e' e, portanto, uma variação do grau de laterização, dentro do conceito admitido por Nogami e Villibor (1996).

Os valores de penetração para as Areias Quartzosas são sempre nulos; isto, porém, tem significado diferente, conforme propõem os autores acima. Para contrações menores do que 0,15 mm a amostra passa a ser considerada não-laterítica.

Penetração sem anel.

Ao contrário da penetração com anel, os valores da penetração sem anel não possibilitaram uma avaliação dos valores intermediários entre os grupos da classificação MCT, pois a penetração ou foi nula ou foi máxima (4,5 mm).

Provavelmente, isto se deve ao fato de a pastilha ter um diâmetro muito pequeno e romper-se com a pressão da agulha.

T2404
2.2

Na figura 21, encontra-se o gráfico de relação entre a contração diametral e a penetração, no qual se verifica que há uma tendência da penetração apresentar, em alguns casos, maiores valores para contrações inferiores a 6 %, significando que as amostras com comportamento mais plástico perdem menos resistência que as mais arenosas.

Nas figuras 22 a 26, encontram-se exemplos de pastilhas de solos de diferentes classes pedológicas após reabsorção de água.

Fig. 21 - Relação da Penetração com anel com a Contração

Fig. 22 - Pastilhas -amostra 2b (latossolo roxo) após reabsorção de água, com permanência da contração e resistência.

Fig.23 - Pastilhas -amostra 11a (terra roxa estruturada) após reabsorção de água, com permanência da contração e resistência sobre os blocos; trincas.

Fig. 24 - Pastilhas -amostra 27a (latossolo vermelho-amarelo) após reabsorção de água, com expansão e perda de resistência elevadas.

Fig.25 -Pastilhas amostra 19c (Latossolo Vermelho-Escuro) após reabsorção de água, expansão e perda resistência elevadas.

Fig.26-Pastilhas amostra 54a (areia quartzosa) após reabsorção de água, contração e expansão pequenas - resistência alta.

3 - CLASSIFICAÇÃO MCT PRELIMINAR E RELAÇÕES DAS CLASSIFICAÇÕES PEDOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS.

O objetivo principal do ensaio das pastilhas é o de identificar e classificar os solos de uma maneira expedita. A classificação é dada pelas características de contração e penetração. Os resultados encontram-se no quadro 19.

Como 3 amostras apresentaram contração compreendidas entre 0,3 e 1 mm e penetrações próximas de 2 mm (amostras: 25a, 48a e 49b), foi necessário a repetição do ensaio com a confecção de pastilhas prensadas, conforme propõem Nogami e Villibor (1994). Os resultados dos ensaios mostraram que somente a amostra 25a mudou de grupo MCT. A amostra apresentou melhoras de qualidade com a prensagem. Os valores diminuíram, a contração passou de 0,64 para 0,32 e a penetração de 2,5 para 0 (zero). As demais amostras não apresentaram mudanças significativas no comportamento.

No que se refere aos valores de penetração, quando ocorrem próximos do limite entre os grupos laterítico e não-laterítico, os materiais como o das amostras acima devem ser tratados com especial cuidado na hora de sua utilização na obra. Por esta situação, seria conveniente considerá-los como não-lateríticos. Por outro lado, também seria conveniente fazer o ensaio MCT convencional, e assim se poderão obter valores mais seguros de c' e e' para a classificação.

As principais aplicações da metodologia MCT são a separação dos solos lateríticos dos não-lateríticos e a hierarquização de valores de algumas propriedades geotécnicas dos solos. A análise dos resultados obtidos mostra que 6 das 82 amostras (19c, 49b, 49c, 53a, 54a e 54b) ensaiadas apresentaram comportamento não-laterítico, sendo que dessas 6 somente a amostra 19c é solo

saprolítico. As demais amostras, provavelmente apresentam quantidade de agentes cimentantes insuficiente para dar resistência mecânica e hídrica aos solos.

Por outro lado, constatou-se a existência de 16 amostras que apresentaram expansão considerável, onde o material excedeu o volume inicial do anel. Essas poderiam ser situadas numa possível faixa de transição entre lateríticos e não-lateríticos.

Quanto às variações de comportamento geotécnico ao longo do perfil de solos, considerando-se os horizontes *A*, *B* e *C*, verificou-se que as diferenças não são significativas, excluindo-se o horizonte *C*, este enquanto solo saprolítico.

Das quatro amostras coletadas do horizonte *A*, constata-se que os resultados dos ensaios são muito semelhantes e que a matéria orgânica presente não teria influência muito significativa no comportamento desses solos. De qualquer modo, esse horizonte é pouco espesso, variando até cerca de 50 cm, e normalmente, uma obra, é retirado por conter materiais indesejáveis como restos de vegetais.

Quanto aos diferentes níveis coletados do horizonte *B* constata-se que nas classes dos Latossolos Roxos e Latossolos Vermelho-Escuros as diferenças são pequenas, onde a contração não varia acima de 0,2 mm. Na classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos a variação da contração é maior, chegando até 0,4 mm. As variações também são pequenas nas classes das terra roxa estruturada e Areia Quartzosa.

A constatação de que há pequena variação de comportamento geotécnico ao longo do horizonte *B* pode significar, em termos práticos, do ponto de vista geotécnico, que este horizonte é homogêneo. Isto ocorre mesmo

em horizontes *B* muito espessos, como pode ser o caso dos Latossolos Roxos, que podem chegar a cerca de 15 metros.

O fato acima é importante ao se fazer programa de amostragens de solos para ensaio e ao considerar diferentes níveis do horizonte *B* aproveitáveis de uma jazida.

No que se refere às unidades (quadro 12) resultantes da subdivisão das classes pedológicas também não se encontrou muito significado na variação do comportamento geotécnico. Assim, por exemplo os Latossolos Roxos e Latossolos Vermelho-Escuros não apresentam variações significativas de comportamento geotécnico, entre as unidades de uma mesma classe.

Por outro lado, no caso dos Latossolos Vermelho-Amarelos há uma certa correspondência entre as características geotécnicas e as diferentes unidades, principalmente no que se refere à textura (por exemplo: argilosa, média,...), que normalmente acompanham as subdivisões das classes nos mapas e relatórios. A partir dos resultados verificou-se que existe uma tendência dos solos que apresentam menores contrações e maiores penetrações pertencerem à textura média ou arenosa. Assim, acontece com a unidade Coqueiro que, por apresentar textura arenosa, normalmente tem comportamento de LA - LA'.

Quanto ao comportamento geotécnico das classes pedológicas, podem-se fazer as seguintes observações:

A classe dos Latossolos Roxos apresentam comportamento homogêneo com valores de c' altos ($> 1,68$) e penetração nula ou ausente. Logo, esses solos pertencem ao grupo de classificação LG' de Nogami e Villibor (1996).

O índice de penetração acima denota que o material, uma vez compactado e seco, adquire uma estabilidade grande na presença de água, e portanto apresenta uma resistência elevada à aplicação de esforços. No entanto,

no campo, trincam ao secarem devido aos elevados valores de contração que apresentam. Os resultados de homogeneidade deste grupo corrobora as considerações de Nogami e Villibor (1995), que colocam os Latossolos Roxos e inclusive as Terras Roxas Estruturadas dentro do grupo LG'.

A classe dos Latossolos Vermelho-Escuros apresenta comportamento similar aos Latossolos Roxos. Uma das diferenças é que os valores de c' tendem a ser menores, isto é, aproximam-se da zona de transição entre os grupos LG'- LA'. Isto significa que a coesão entre os grãos é menor, apesar de ainda continuar alta. Não houve diminuição da resistência na presença de água, uma vez que a penetração foi nula.

Somente a amostra 19-c apresentou comportamento anômalo com perda de resistência elevada (penetração alta). Esta amostra é de rocha alterada e, dentro do conceito de geotecnia, trata-se de solo saprolítico.

A identificação da classe dos Latossolos Vermelho-Escuros tem especial significado para a construção de pavimentos no Estado de São Paulo, pois é principalmente nesta classe de solos onde se encontram as principais fontes de Solo Arenoso Fino Laterítico.

A classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos, como se pode verificar no quadro 19, apresenta comportamentos muito variáveis, abrangendo praticamente todos os grupos dos solos lateríticos da classificação MCT. Inclusive, num mesmo perfil ou entre perfis vizinhos como acontece com os perfis 30 e 31, os valores de contração variaram amplamente, desde 1 até 1,8 mm.

A explicação da ampla variação de comportamento dessa classe pode ser relacionada com sua gênese. Esses solos podem ser formados a partir de diferentes tipos de rochas sedimentares, o que resulta numa considerável heterogeneidade de materiais, tanto no aspecto mineralógico quanto no granulométrico.

O mesmo não acontece com os Latossolos Roxos e os Vermelho-Escuros que são originários de rochas básicas (basaltos, diabásios,...), com maior ou menor contribuição de rochas areníticas.

Quanto à classe das Areias Quartzosas, constata-se que apresentam comportamento distinto das demais classes pedológicas estudadas: a contração não ultrapassa 1 % (0,2 mm) e a penetração é nula. Assim, não apresenta grandes problemas na identificação expedita dos grupos MCT, onde pode variar de NA a LA.

A amostra 55a, que foi caracterizada como da classe da Areia Quartzosa, apresentou no ensaio MCT convencional valores de e' igual a 1,34 e c' igual a 0,35. Estes resultados corroboram os resultados das pastilhas, classificando a amostra como LA.

Considerações mais detalhadas sobre a classe das Areias Quartzosas ficam impossibilitadas pelo reduzido número de amostras analisadas, apenas 3 amostras.

A trabalho mostra que é possível usar a classificação pedológica na engenharia .

Embora, o objetivo deste trabalho seja essencialmente aplicativo, parece oportuno aludir aqui àquilo que poderia constituir a fundamentação teórica das correlações.

Naturalmente, esta conjectura só pode receber adequado tratamento científico em um outro trabalho, uma vez que ultrapassa escopo do presente trabalho.

A correlação da classificação pedológica com a geotécnica MCT está fundamentada em que as bases para essas classificações são essencialmente as mesmas: granulometria e estrutura dos solos.

A correlação pode ser feita porque, por um lado, a metodologia MCT realmente caracteriza algumas propriedades do solo tropical, principalmente aquelas de utilização em obras de pavimentação e, por outro, os ensaios expeditos das pastilhas possibilitam o levantamento de extensas áreas.

As curvas de deformabilidade obtidas no ensaio MCT são uma expressão direta da granulometria do material ensaiado. Esta Granulometria não quer dizer necessariamente frações como argila, silte, etc., mas sim um reflexo dessas frações organizadas de determinadas maneiras. Isto é importante realçar porque as análises granulométricas destroem os agregados naturais que terão influência decisiva no comportamento mecânico e hídrico dos materiais.

O valor de c' da classificação MCT -método convencional, é obtido a partir dessas curvas de deformabilidade. No ensaio expedito das pastilhas, o valor de c' é obtido através de curvas de correlação das medidas da contração das pastilhas.

O índice e' que está em função das curvas de compactação e Perda por imersão no MCT convencional, reflete a estruturação do solo após a compactação. Já no ensaio expedito este índice é obtido através da medida direta da resistência da pastilha após a reação com a água na placa de reabsorção, através da penetração de uma agulha padronizada.

A aplicação das correlações entre as classes pedológicas e as classes geotécnicas MCT obtidas no presente trabalho, para solos de outras regiões distintas da pesquisada, apresenta algumas particularidades que serão discutidas a seguir.

O estudo dos Latossolos no Estado de São Paulo tem grande importância, pois além de representar cerca de 56 % dos solos do Estado, são freqüentemente utilizados em obras de engenharia como material de construção.

Latossolo Roxo

Estima-se que para a classe dos Latossolos Roxos o comportamento geotécnico não poderia ser outro senão LG', em função de apresentarem textura argilosa ou muito argilosa (> 35 % de argila) e quantidade de ferro total superior a 18 %. Esta quantidade de ferro seria suficiente para imobilizar as argilas e impedir sua possível expansão. Entretanto, poderia ocorrer Latossolo Roxo com textura média, onde o teor de ferro poderia ser menor do que 18 %, mas este tipo de solo é raro.

Latossolo Vermelho-Escuro

O conceito de Latossolos Vermelho-Escuros é mais abrangente quanto à variação textural, onde a quantidade de argila pode variar de 16 a 85 %, e a quantidade de ferro é menor do que 18 %. Deste modo, a variação da quantidade de argila e de ferro pode proporcionar classificação diferente de LG' e LG' - LA', possibilitando até a classe LA.

Sabe-se entretanto que há uma certa relação entre a textura e a quantidade de ferro presente, pois normalmente o ferro será menor do que 8 % quando a textura for média (Oliveira et al.,1992).

Difícilmente esta classe apresentará comportamento não-laterítico porque o próprio nome da classe (Latossolo Vermelho-Escuro) supõe uma quantidade de ferro mínima que determina essa cor, portanto, refletirá as características mineralógicas, físicas e químicas; em síntese, de certa forma, mostra a quantidade de ferro atuante como agente cimentante.

Por outro lado, apesar da variação textural grande dessa classe, as mudanças regionais dessa característica, da ordem de mapeamento de quadriculas (1:100.000), não parecem ser significativas como pode ser observado na pesquisa, onde todos os Latossolos Vermelho-Escuros foram classificados como LG' ou LG' - LA'. Desta forma, fazendo um reconhecimento

de campo cuidadoso, com identificação descritiva (visual-táctil) e ensaios expeditos das pastilhas, pode-se chegar às variações de ocorrências dessa classe.

Os levantamentos pedológicos mostram também que, em igualdade de condições, os Latossolos Vermelho-Escuros mais argilosos são mais resistentes à erosão do que pouco argilosos. Esta observação deve valer também para as demais classes pedológicas.

Latossolo Vermelho-Amarelo

Para a classe dos Latossolos vermelho-Amarelos, o conceito é também bastante abrangente, com variação de argila de 15 a 80 %. Como nos Latossolos Vermelho-Escuro, a quantidade de ferro está associada à textura, onde normalmente para texturas argilosas ou muito argilosas o teor de ferro varia entre 7 e 11 %. Assim, para texturas médias a quantidade de ferro será menor.

Segundo Oliveira et al. (1992), os Latossolos Vermelho-Amarelos, de textura média são muito susceptíveis à erosão.

Areias Quartzosas.

A classe das Areias Quartzosas tem a textura bem definida, com quantidade de argila sempre menor do que 15 %. Inclusive essa textura é relativamente fácil de ser identificada através do tato. O limite inferior de 15 % é quando a argila deixa de ser percebida no tato.

Segundo o Prof. Villibor (comunicação pessoal, 1996), para que um solo mais arenoso comece a ter um comportamento laterítico precisa ter, entre outras características, um teor mínimo de argila de 14 %.

4 - ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS COMPLEMENTARES

Serão discutidas a seguir as demais características observadas no ensaio das pastilhas.

GRANULOMETRIA.

Observou-se que a maioria das amostras apresenta preponderância da fração menor do que 0,42 mm. Logo, a metodologia das pastilhas pode ser utilizada e, nas amostras com quantidade considerável da fração maior que 0,42, pode ser utilizada com pequenas restrições.

A avaliação da granulometria é decorrente da própria preparação da amostra para o ensaio das pastilhas, uma vez que este é realizado sempre com a fração menor que 0,42 mm.

UMIDADE

A umidade de moldagem da massa de solo espatulada, expressa em porcentagem e definida pela penetração de 1 mm, está correlacionada com a umidade ótima de compactação na Energia Normal (12 golpes), conforme mostra a Figura 14.

Também a umidade de ensaio das pastilhas tem relação com o Limite de Liquidez, conforme já mencionado no item dos ensaios adicionais.

CONSISTÊNCIA

Os resultados da avaliação da consistência auxiliam pouco na diferenciação dos diversos tipos de solos.

Os solos com maior quantidade de argila, como os Latossolos Roxos, não mostraram comportamento muito plástico ao ser feito o rolinho, em oposição aos solos mais arenosos, como os Latossolos Vermelho-Escuros.

Por outro lado, esse ensaio mostra claramente que nos solos com preponderância da fração areia (Areias Quartzosas) o comportamento foi de não-plástico, isto é, não foi possível confeccionar o rolinho.

TEMPO DE ASCENSÃO

Esta característica reflete a permeabilidade do material. Nos materiais mais argilosos, a água demora mais tempo para ascender até a superfície da pastilha do que os mais arenosos, o que era esperado.

O quadro 19, mostra que nos Latossolos Roxos e nos Latossolos Vermelho-Escuros, o tempo de ascensão é sempre maior do que 4 minutos, ao passo que nas Areias Quartzosas e em alguns Latossolos Vermelho-Amarelos o tempo de ascensão varia de 1 segundo até 1 minuto, mostrando a natureza granular destes solos.

Verificou-se também que a observação dessa característica sem o uso do anel acentua a diferença entre os argilosos e os arenosos.

TRINCAS.

Existem dois tipos básicos de trincas produzidos no ensaio.

O primeiro tipo refere-se às trincas que separam blocos regulares de alguns milímetros de diâmetro, e esses blocos continuam com alta resistência. São desse tipo as trincas observadas em sete pastilhas dos Latossolos Vermelho-Escuros.

O segundo tipo é caracterizado por trincas associadas com a expansão diametral, maior que 3 %. Aqui se incluem as classes dos Latossolos Vermelho-Amarelos e as Areias Quartzosas.

EXPANSÃO

A expansão diametral das pastilhas, após 2 horas na placa de reabsorção de água, pode ser avaliada de duas maneiras diferentes, com e sem o anel.

Na figura 27, apresenta-se os valores de expansão obtidos sem o anel, e distribuídos por classes pedológicas. Verifica-se que entre as classes do Latossolos Roxos e Vermelho-Escuros não ocorre expansão considerável com exceção da amostra 19c, que é de solo saprolítico e, portanto, normalmente expansiva. Nos Latossolos Vermelho-Amarelos houve algumas variações.

Há duas situações em que a pastilha pode apresentar aumento de volume. A primeira, quando a pastilha se trinca, formando em consequência blocos de alguns milímetros de diâmetro que, ao serem separados pela água, ocasionam expansão.

A segunda situação é quando ocorrem inchamento e trincamento simultâneos na pastilha, porém não há formação de pequenos blocos.

O primeiro aspecto que se destaca é que, para 8 amostras (15a, 18b, 19c, 20a, 22a, 29 b, 33a e 47a), a expansão das pastilhas foi maior nos ensaios com anel do que sem. Isto pode ser explicado pela ação das paredes internas do anel sobre a pastilha.

O segundo aspecto é que, em todas as amostras em que houve pequena penetração no confinamento, no ensaio sem confinamento a penetração foi sempre máxima, por volta de 4,5 mm.

Os valores de expansão sem o anel mostram melhor essa característica porque, como foi visto acima, o anel tem influência.

Na figura 28, pode ser evidenciado que a expansão está intimamente relacionada com a penetração, pois acima de 3 % de expansão a penetração torna-se mais significativa, com valores acima de 4 mm.

Fig. 27 - Relação das Expansões por classes de amostras

Fig.28 - Relação da expansão sem o anel com a penetração sem o anel

RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO

O ensaio de resistência ao esmagamento pode facilitar a caracterização dos materiais, pois mostra o estado de coesão dos materiais a seco. E é muito fácil de ser executado.

Pode-se observar no quadro 19 que as atribuições de resistências ao esmagamento das esferas de solo variam muito, desde altamente resistentes até pouco resistentes.

Segundo Nogami e Villibor (1995), a coesão dos solos é uma propriedade que se correlaciona com a sua granulometria e a estrutura. Assim, o ensaio acima reflete as propriedades citadas.

Os solos mais resistentes pertencem às classes dos Latossolos Roxos, Latossolos Vermelho-Escuros e alguns dos Latossolos Vermelho-Amarelos. Dessa última classe, os demais apresentam resistência média a baixa. Os solos da classe das Areias Quartzosas também têm resistência média à baixa.

Pode-se verificar que as amostras com maior resistência possuem uma granulometria preponderantemente mais fina e atuação mais efetiva dos agentes cimentantes.

A figura 29 mostra uma tendência entre a resistência ao esmagamento e a contração, pois os solos menos resistentes possuem sempre uma contração menor do que 1 mm.

Fig .29 Relação da resistência ao esmagamento com a contração

ESFERA DE SOLO IMERSA EM ÁGUA

Este novo ensaio fornece uma característica a mais dos solos que pode auxiliar na sua diferenciação.

Observa-se, no quadro 19, pelas atribuições que as classes dos Latossolos Roxos e Latossolos Vermelho-Escuros reagiram pouco com a água, sendo que os aspectos resultantes apresentados pelas esferas foram, após esta reação, na forma de blocos, ou então nem se alteraram. Este fato mostra que os solos dessas classes apresentam uma coesão alta e que não a perdem (pelo menos em parte) ao serem imersos em água. Por outro lado, os solos da classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos apresentaram os mais diversos comportamentos.

A característica mais importante fornecida por este ensaio é a diferenciação das coesões em meio saturado feitas em diversos tipos de solos. Observa-se que quanto maior o 'grau' de comportamento laterítico, menor a reação com água. Assim, ou a esfera não reage com a água ou apenas se trinca. O extremo oposto de comportamento diante da água é quando a esfera de solo reage imediatamente ao ser imersa, perdendo totalmente a coesão. Isto acontece com os solos arenosos, de menor 'grau' de comportamento laterítico.

No que se refere à diferenciação dos solos argilosos, de comportamento laterítico, daqueles que não apresentam tal comportamento, verifica-se que o ensaio da esfera mostra-se eficaz. Assim aconteceu com a amostra 19c -solo saprolítico- onde a esfera de solo ao ser imersa em água desagregou-se totalmente, resultando partículas extremamente finas, não identificáveis a olho nu. Amostras de outros solos não-lateríticos, argilosos e expansivos, foram testados confirmando-se a eficácia do ensaio.

Em síntese, este ensaio pode contribuir na diferenciação dos dois grupos distintos de solos. Num primeiro grupo, os solos coesivos, que são os do

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido atingiu os objetivos propostos e resultou numa contribuição para uma seqüência metodológica de identificação e de classificação geotécnica de latossolos e solos afins do Estado de São Paulo, utilizando-se o método das pastilhas -MCT.

A partir dos resultados obtidos no estudo dos Latossolos do Estado de São Paulo foi possível estabelecer a seguinte seqüência metodológica:

1) Utilização de Mapas Pedológicos. Os mapas pedológicos se mostraram muito úteis no estudo geotécnico preliminar de obras viárias, na fase de coleta preliminar de dados. Por meio desses mapas, pode-se avaliar a disponibilidade de materiais da região, necessários para a construção de aterros, proteção de taludes de corte e da estrutura de pavimentos, orientando o reconhecimento de campo. Esta avaliação só foi possível em função do fato que as classes pedológicas estão correlacionadas com as classes geotécnicas MCT, o que foi mostrado nos resultados dos ensaios geotécnicos.

Para o uso de mapas pedológicos, faz-se necessário que estes apresentem escala compatível com a extensão da obra, sendo, de um modo geral, apropriadas as escalas entre 1:100.000 a 1:1.000.000. Obviamente, mapas na escala 1:100.000 são melhores e mais detalhados, porém são ainda raros.

2) Reconhecimento de Campo. A partir da coleta preliminar de dados pedológicos faz-se a programação para o reconhecimento de campo. O reconhecimento de campo implica num mínimo de conhecimento de características pedológicas, que leve à identificação descritiva dos solos, entre as quais se destacam: avaliação da textura, estrutura e cor que permita a distinção dos horizontes pedológicos *A*, *B* e *C*.

Verificou-se que, para a caracterização geotécnica das unidades de solo, é suficiente a identificação de alguma amostra do horizonte *B* do perfil das unidades taxonômicas designadas de classes, tais como Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro, etc. Portanto, pode-se prescindir das subdivisões dessas classes, pois não têm muito significado para a geotecnia. Entretanto, podem ser úteis as designações de texturas arenosa, média e argilosa que normalmente acompanham as unidades dos mapas.

Também é de fundamental importância a verificação do estado atual das obras civis já existentes na região como taludes, aterros, estradas e também o solo natural, para avaliação de erosões, escorregamentos de terra, etc.

3) Classificação MCT Preliminar. A partir dos ensaios expeditos das pastilhas é possível chegar à classificação MCT preliminar. As adaptações feitas ao método possibilitaram ainda mais a aplicação do ensaio expedito das pastilhas. Essas adaptações são as seguintes: anéis de aço inox, penetrômetro mecanizado, ensaio de reabsorção de água pela pastilha de solo seco sem o anel de moldagem, e esferas moldadas com pasta de solo e imersas em água.

Observou-se a grande potencialidade da extensão do método das pastilhas MCT para uso de solos em obras geotécnicas em geral, não só viárias.

Esta observação decorre da classificação do solo por meio de ensaios simples, onde o estado do material é o de pasta, e não compactado como no MCT convencional.

Adicionalmente, a classificação não utiliza propriedades índices (como as tradicionais : plasticidade e granulometria), mas emprega diretamente propriedades geotécnicas dos solos como contração, expansão e resistência à penetração após reabsorção de água.

Com o estabelecimento desta sistemática para estudo geotécnico preliminar, pode-se programar melhor as campanhas de reconhecimento de campo, a busca específica de jazidas de solos lateríticos, a programação de ensaios geotécnicos de compactação, resistência, permeabilidade, deformabilidade, etc, que se fizerem necessários.

Espera-se que esta sistematização de conhecimentos pedológicos e geotécnicos venha a contribuir com a diminuição de custos de projeto, construção e conservação de obras geotécnicas, no caso específico viárias, promovendo uma escolha eficiente e rápida de solos como material de construção.

Cabe ainda ressaltar, que neste trabalho, foram introduzidas importantes modificações no método das pastilhas, como os anéis de aço inoxidável e desenvolvimento de penetrômetro mecanizado, as quais minimizaram alguns erros na condução dos ensaios.

Um outro aspecto a ser destacado nessa pesquisa é que permite vislumbrar possibilidades de se desenvolver outras linhas de pesquisa, entre elas se destacam:

- Identificação e classificação de Latossolos de outras regiões do Estado de São Paulo e do Brasil.
- Identificação e classificação de Podzólicos e demais solos.
- Desenvolvimento de um método de espatulação mecanizado, o que já está sendo providenciado no Laboratório de Tecnológica de Pavimentação.
- Estudo de anéis maiores do que 20 mm de diâmetro para a confecção das pastilhas e/ou agulha de penetração com maior diâmetro e peso, a fim de minimizar o efeito dos grãos de areia na penetração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEMEIER, K. A. (1973) Application of pedological soil surveys to highway engineering in Michigan. Geoderma. 10 (1/2), p.87-98.
- ALMEIDA, F.F.M. (1964) Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico. (41): 169 - 262.
- ARULANANDAN'S, K. (1969) Classification, Engineering Properties and Behavior of Laterites. Proceedings of the Speciality Session on the Engineering Properties of lateritic Soils. VII ICSMFE. v.2, p.163-179.
- BARROSO, J.A., ANTUNES, F.S., CABRAL, S.,POLIANOV, H. (1981) Correlações de características genéticas de solos e as suas propriedades geotécnicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA. Rio de Janeiro, 1981, Anais. Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ-CNPq-ABMS, p.187 - 198.
- BARROSO, S.H.A e FABBRI, G.T.P. (1996) Algumas considerações sobre a classificação MCT e seus índices. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 30, Salvador, 1996. Anais, Salvador, ABPv, v. 2, p.494 - 505.
- BONGIOVANNI, S.; CAMPOS, J.O.; SALOMÃO, F.X.T.; (1994) Tropical environment and geotechnical behavior of cenozoic deposits. 7 th. International IAEG Congress. Lisboa, Balkema, Rotterdam. p.3503- 3510.

- BRASIL (1960) Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura - Comissão de solos. 633 p.
- BRASIL (1983). Folhas SF. 23 / 24. Rio de Janeiro / Vitória.-PROJETO RADAMBRASIL Rio de Janeiro, M.M.E. / D.N.P.M. 780 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).
- COMMITTEE ON TROPICAL SOILS OF THE ISSMFE (1985) Peculiarities of geotechnical behavior of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils. São Paulo, ABMS. Progress Report-(1982-1985), 449 p.
- CRUZ, P. T. (1996) Lições aprendidas. In: CRUZ, P. T. 100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção , projeto. São Paulo, Oficina de Textos, p.93-104.
- DAVISON DIAS, R.; MILITITISKY, J. (1989) Proposta de um sistema de classificação de unidades geotécnicas e definição de perfis compostos de solos tropicais e subtropicais. Publicação interna. CPGEC/UFRGS. Porto Alegre.
- DAVISON DIAS, R.; MILITITISKY, J. (1994) Metodologia de classificação de unidades e perfis geotécnicos desenvolvida na UFRGS. Solos e Rochas. 17 (2), p. 81-92.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (1976) Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem esquerda do rio São Francisco, Estado da Bahia. Recife, 1976. 404 p. (Boletim Técnico, 38)-Brasil. SUDENE. Divisão de Recursos Renováveis. (Série Recursos de Solos, 7).

- FABBRI, G.T.P. (1994) Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno. São Carlos. 155 p. (Tese de Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
- FORTES, R. M. (1990) Método expedito de identificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias, utilizando-se anéis de PVC rígido. 210 p. (Dissertação de Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - PTR.
- FORTES, R.M. e NOGAMI, J.S. (1991) Método expedito de identificação do grupo MCT de solos tropicais utilizando-se anéis de PVC rígido. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 25, São Paulo, 1991. Anais, São Paulo, ABPv, v. 1, p.591-604.
- FRANCISS, F.O. e CARVALHO, A. (1969) Tratamento estatístico de resultados de ensaios de solos da região Centro-Sul. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 1. São Paulo, 1969, Anais. São Paulo, APGA. p 110 - 125.
- GAMON, T.J. (1983) A comparison of existing schemes for the engineering description and classification of weathered rocks in Hong Kong. IAEG, (28): 225 - 232.
- GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY (1990) Tropical Residual Soils -. The Quarterly Journal of Engineering Geology, 23, n.1.

- GIDIGASU, M.D. (1976) Laterite Soil Engineering. Amsterdam. Elsevier. 554 p.
- GODOY, H.; BERNUCCI, L. B.; NOGAMI, J. S. (1996) Diretrizes para a identificação expedita de solos lateríticos para uso em obras viárias. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 30, Salvador, 1996. Anais, Salvador, ABPv, v. 2, p.557-68.
- GODOY, H.; NOGAMI, J. S.; CARVALHO, A. (1994) Procedimentos para caracterização geotécnica de perfis em solos de granitos e gnaisses, para obras viárias. Solos e Rochas. v. 17, n. 1, p.31-44.
- GROHMANN, F.; VAN RAIJ, B.. (1973) Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO.14, Santa Maria, 1974. Anais. Santa Maria, p.123-132.
- HARRIS, W.G.; ZELAZNY, L.W.; PARKER, J.C.; BAKER, J.C.; WEBER, R.S.; ELDER, J.H. (1984) Engineering properties of soils as related to mineralogy and particle-size distribution. Soil Science Society American Journal, (48): 978 - 982.
- LAFLEUR, J.D.; DAVIDSON, D.T.; KATTI, R.T.; GURLAND, J. (1960) Relationship between the California Bearing Ratio and Iowa Bearing Value - Progress Report, 1956. In: IOWA STATE UNIVERSITY. Methods for testing engineering soils. Ames p. 257 - 288.
- LOCATI, S. (1984) Principais análises utilizadas no laboratório de geoquímica - DGG. São Paulo. Instituto de Geociências - USP. 104 p. (inédito).

- LOHNES, R. A.; DEMIREL, T. (1973) Strength and Structure of Laterites and Lateritic Soils. Engineering Geology, 7 (1), p.13-33.
- MOTTA, L.M.G.; MEDINA, J.; SOUZA, J.L.R.; OLMOS, I.L. (1986) Classification, Characterization and utilization of oxisols. In: EIGHT INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, Rio de Janeiro, 1986. Proceedings. Rio de Janeiro, EMBRAPA,..., p.236 - 242.
- NOGAMI, J.S. (1967) Os solos residuais do Estado de São Paulo - sua caracterização em bases geológicas para fins rodoviários. São Paulo, 89 p.(Tese de Doutorado)- Escola Politécnica da USP.
- NOGAMI, J.S. (1972) Determinação do índice de Suporte Califórnia com equipamento de dimensões reduzidas (Ensaio Mini-CBR).In: REUNIÃO DAS ORGANIZAÇÕES RODOVIÁRIAS, II. Brasília, 1972. Anais. Brasília, ABMS. p. 1 - 44.
- NOGAMI, J.S. (1976) Necessidade de adequada caracterização genética dos solos para finalidades rodoviárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1. Rio de Janeiro, 1976. Anais. Rio de Janeiro, ABGE. p. 19 - 26.
- NOGAMI, J.S. (1978) A tecnologia rodoviária e as peculiaridades dos nossos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2. São Paulo, 1978. Anais. São Paulo, ABGE. p. 95 - 104.

- NOGAMI, J.S. e COZZOLINO, V.M.N.. (1985) A Identificação de Solos Tropicais: dificuldades e proposta de um método preliminar. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 20. Fortaleza, 1985. Anais. Fortaleza, ABPv. p. 117-34.
- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. (1979) Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. IAEG (19) 196 - 199.
- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. (1980) Caracterização e classificação gerais de solos para pavimentação: limitação do método tradicional. Apresentação de uma nova sistemática. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 15. Belo Horizonte, 1980, Anais. Belo Horizonte, ABPv. p. 1-38.
- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. (1981) Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA. Rio de Janeiro, 1981, Anais. Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ - CNPQ - ABMS, p. 30-41.
- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. (1983) Os solos tropicais lateríticos e saprolíticos e a pavimentação. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 18. Porto Alegre. 1983. Anais. Porto Alegre. ABPv. v. 2, p.463 - 484.
- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. (1994) Identificação expedita dos grupos de classificação MCT para solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DE SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 10. Foz do Iguaçu. 1994. Anais. foz do Iguaçu. ABMS. p.1293-1300.

- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. (1995) Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo, Vilibor. 213 p.
- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. (1996) Importância e determinação do Grau de Laterização em Geologia de Engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8. Rio de Janeiro, RJ. 1996. Anais. Rio de Janeiro., ABGE. v. 1, p.345 - 358.
- NOGAMI, J.S.; BERNUCCI, L.B.; VILLIBOR, D.F. (1995) Contração de Solos Arenosos Finos Lateríticos: Simplificações para a escolha desses Solos para Bases de Pavimentos de Baixo Custo. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29. Cuiabá, 1995. Anais. Cuiabá. ABPv. v.1 p. 345 - 363.
- OLIVEIRA, J.B. (1992) Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo. Quadrícula de Moji-Mirim. Campinas. Instituto Agronômico de Campinas. (Escala 1:100.000).
- OLIVEIRA, J.B. e PRADO, H. (1982) Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Descalvado. Mapa pedológico. Escala 1:100.000. Campinas, Instituto Agronômico.
- OLIVEIRA, J.B. e PRADO, H. (1984) Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos. II Memorial Descritivo. Campinas, Instituto Agronômico. (Boletim Técnico, 98).

- OLIVEIRA, J.B. e PRADO, H. (1987) Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Ribeirão Preto. II Memorial Descritivo. Campinas, Instituto Agronômico. (Boletim Científico, 7).
- OLIVEIRA, J.B.; ALMEIDA, C. L. F.; PRADO, H. (1981) Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo. Quadrícula de Brotas. Campinas. Instituto Agronômico de Campinas. (Escala 1:100.000).
- OLIVEIRA, J.B.; ALMEIDA, C. L. F.; PRADO, H. (1982) Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo. Quadrícula de Jaú. Campinas. Instituto Agronômico de Campinas. (Escala 1:100.000).
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. (1992). Classes gerais de solos do Brasil. Jaboticabal, FUNEP, 201 p.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J. R.; BARBIERI, J.L.; ROTTA, C.L.; TREMOCOLDI, W. (1982) Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Araras. Memorial Descritivo. Campinas, Instituto Agronômico. (Boletim Técnico, 71).
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J. R.; ROTTA, C.L. (1979) Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Campinas. II Memorial Descritivo. Rio de Janeiro, IBGE.
- PARSONS, A.W. (1976) The rapid measurement of the moisture condition of earth moving material. Crowthorne (UK), Transport and Road Research Laboratory (LR.750).

- PASSOS, M.C.F.; DAVISON DIAS, R.; CERATTI, J.A.P. (1991) In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 25, São Paulo, 1991. Anais, São Paulo, ABPv, v. 1, p.221 - 238.
- PRADO, H. (1995) Manual de classificação de solos do Brasil. 2.ed. Jaboticabal, FUNEP, 197 p.
- QUEIROZ DE CARVALHO, J. B. (1981) Classificação de solos lateríticos baseado no processo de estabilização com cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA. Rio de Janeiro, 1981, Anais. Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ-CNPq-ABMS, p.442-452.
- SAMARA, V. (1981) Diferenças de características entre camadas de solos lateríticos e saprolíticos de uma área de *Bed-Rock* sedimentar do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1. Rio de Janeiro, 1981. Anais Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ - CNPQ - ABMS. p. 53-65.
- SORIA, M.H.A. e FABBRI, G.T.P. (1980) O ensaio Mini-MCV - um ensaio de MCV, Moisture Condition Value, com corpos de prova de dimensões reduzidas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 15. Belo Horizonte, 1980. Anais Belo Horizonte, ABPv. p. 1 - 21.
- TAKYA, H. (1997) Estudo da sedimentação Neogênica-Quaternária no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana. 152 p. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.

VARGAS, M. (1977) Introdução à mecânica dos solos. São Paulo, MacGraw-Hill, Ed. USP, 509 p.

VARGAS, M. (1988) Characterization, Identification and Classification of Tropical Soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE GEOMECHANICS TROPICAL SOILS, 2 , Singapore, Proceeding. Rotterdam, Balkema. v. 1, p. 71-75.

VARGAS, M. (1994) A engenharia de solos e fundações no Brasil. In: VARGAS, M. coord. Contribuições para a história da Engenharia no Brasil. São Paulo, EPUSP, p.147-180.

WOOLTORTON, F. L. D. (1954) The scientific basis of roads design. London, Edward Arnold Ltd., 364 p.