



FATEC-SP

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

Departamento de Transportes e Obras de Terra

NATÁLIA MORENO GUIMARÃES

**ESTUDO DAS DIVERGÊNCIAS ENTRE AS
CLASSIFICAÇÕES TRB E MCT PARA ESCOLHA
PRELIMINAR DE SOLOS TROPICAIS LATERÍTICOS EM
OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO**

**SÃO PAULO
2013**

NATÁLIA MORENO GUIMARÃES

**ESTUDO DAS DIVERGÊNCIAS ENTRE AS
CLASSIFICAÇÕES TRB E MCT PARA ESCOLHA
PRELIMINAR DE SOLOS TROPICAIS LATERÍTICOS EM
OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO**

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

Orientador Prof. Dr. Edson de Moura

**SÃO PAULO
2013**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, meu Senhor e Salvador e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que me sustentou até aqui com sua Graça em todos os momentos, que me guiou e me abençoou para entrega deste trabalho.

À Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC – SP e aos integrantes do Departamento de Transportes e Obras de Terra.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edson de Moura pela orientação e apoio, paciência, atenção e amizade na realização desta pesquisa.

À Profa. Arisol Simone Sayuri Tsuda Yamamoto pelo apoio e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

À todos os professores do Departamento de Transporte e Obras de Terra da FATEC – SP que colaboraram grandemente para todo conhecimento adquirido no meu período de formação.

Aos integrantes do Laboratório de Mecânica dos Solos da FATEC – SP, Rafael Henrique F. de Godoy, Deise Dias do N. Machado e Celso da S. Cachola pela enorme força e apoio na execução dos ensaios contemplados por este trabalho.

Aos meus amigos Leonardo L. Gomes, Raquel M. M Fernandes e Renata Cristina da C. Lacerda pela grande amizade construída.

Aos meus pais, Dino e Conceição pelo amor dedicado a mim, pela educação que me foi ensinada e pelo apoio e incentivo em todas as fases da minha vida.

Ao meu irmão William que sempre com muito amor me ajudou e esteve ao meu lado me orientando.

Aos meus amigos que direta ou indiretamente, os que perto e mesmo os que estão a distância, contribuíram e auxiliaram para realização desta etapa em minha vida.

EPÍGRAFE

“Porque Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas. Glória, pois a Ele eternamente. Amém.”

Romanos 11:36

RESUMO

Os materiais denominados de solos tropicais são aqueles decorrentes de regiões de clima quente e úmido e que apresentam propriedades e comportamentos peculiares, sendo esse comportamento de grande interesse quando são utilizados em camadas de pavimentos. Frequentemente, tem se observado para esses tipos de solos uma má categorização quando do emprego da classificação *Transportation Research Board* (TRB), visto que essa última foi idealizada para materiais de clima frio e temperado, de forma que essa classificação, não contempla as peculiaridades de nossos solos brasileiros. Este trabalho tem como escopo avaliar possíveis divergências que podem ocorrer na classificação de solos tropicais entre as metodologias de classificação TRB e a apropriada para solos tropicais, Miniatura Compactado Tropical (MCT), e correlaciona-las com o comportamento mecânico ou capacidade de suporte que estes solos podem apresentar através de ensaio de laboratório. Para tanto, foram selecionados três amostras de solos distintos e submetidas aos ensaios de classificação: TRB e MCT pelo método das pastilhas e seguiu-se com os ensaios de resistência de Mini-CBR para cada amostra. Pode-se concluir a ocorrência de divergências nos resultados obtidos entre as classificações TRB e MCT, em que houve resultados distintos para as amostras ensaiadas e a verificação da resistência das mesmas pelo Mini – CBR contribuíram para afirmar as divergências.

Palavras-chave: Solos Lateríticos. Classificação de Solos. Metodologia MCT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Exemplo de ocorrência de solo laterítico e saprolítico.....	7
Figura 2.2 – Ocorrência de solos tropicais no Brasil.....	7
Figura 2.3 – Distribuição dos solos lateríticos em termos mundiais	8
Figura 2.4 – Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical	9
Figura 2.5 – Fração areia de alguns solos tropicais.....	10
Figura 2.6 – Estrutura e Macro Estrutura dos solos.....	11
Figura 4.1 – Esquema comparativo dos aparelhos de compactação relacionados à metodologia MCT	20
Figura 4.2 – Ilustração e croqui de ensaio da Perda de Imersão	21
Figura 4.3 – Exemplos de curva de compactação e de deformidade, amostra do SALF utilizado na base de acesso a Água Vermelha - SP	23
Figura 4.4 – Gráfico de Classificação de solo MCT	24
Figura 4.5 – Novo Gráfico Classificação de solo MCT – Aproximação 2003	24
Figura 4.6 – Gráfico de Classificação de solo MCT e dados diversos	27
Figura 4.7 – Carta de Classificação do Método das Pastilhas	29
Figura 5.1 – Ação do aparelho de dispersão	33
Figura 5.2 – Densímetro e mistura de solo na proveta.....	34
Figura 5.3 – Material lavado na peneira de 0,075 mm de abertura.....	34
Figura 5.4 – Aparelho de Casagrande (à esquerda) e Cinzeis.....	35
Figura 5.5 – Concha com massa de solo e a ranhura	36
Figura 5.6 – Massa de solo moldada e gabarito para ensaio de Plasticidade.....	38
Figura 5.7 – Massa na cápsula de armazenamento para secagem para ensaio de Plasticidade	38
Figura 5.8– Moldagem do solo nos anéis de 20 mm de diâmetro	40
Figura 5.9– Medidas de Contração com Paquímetro.....	40
Figura 5.10 – Reabsorção de água das pastilhas na placa porosa.....	41
Figura 5.11 – Pastilha após a penetração	41
Figura 5.12 – Corpo de prova sendo preparado para compactação.....	43
Figura 5.13 – Corpos de prova imersos no tanque para obtenção da expansão.....	45
Figura 5.14 – Corpos de prova penetrados pelo ensaio Mini-CBR	45
Figura 6.1 – Resultado Gráfico da Classificação MCT - Pastilhas.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Faixa granulométrica definida pela ABNT.	5
Tabela 3.1 – Classificação de Solos TRB	14
Tabela 3.2 – Índices de Atterberg de alguns solos brasileiros	18
Tabela 4.1 – Grupos da classificação MCT em Tabela	29
Tabela 6.1 – Resultados da Análise Granulométrica das amostras 1, 2 e 3.	46
Tabela 6.2 – Resultados dos Limites de Atterberg das amostras 1, 2 e 3.	47
Tabela 6.3 – Valores de IG para amostras 1, 2 e 3.	47
Tabela 6.4 – Classificação TRB das amostras.....	47
Tabela 6.5 – Identificação Visual-Táctil das amostras.....	48
Tabela 6.6 – Resultados Método das Pastilhas.	48
Tabela 6.7 – Valores de umidade ótima e massa esp. apar. seca.....	50
Tabela 6.8 – Resultados de Expansão.	50
Tabela 6.9 – Valores de Mini-CBR.	50
Tabela 6.10 – Tabela comparativa entre os resultados de ensaio.	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO	2
1.2	METODOLOGIA	2
1.3	JUSTIFICATIVA	3
2	SOLOS.....	4
2.1	DEFINIÇÃO E ORIGEM DOS SOLOS	4
2.1.1	Características dos Solos	5
2.2	SOLOS TROPICAIS	6
2.2.1	Peculiaridades dos Solos Tropicais Lateríticos	8
2.2.1.1	Constituição mineral	9
2.2.1.2	Estrutura e Macro Estrutura	10
3	SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS	12
3.1	CLASSIFICAÇÃO TRB	12
3.2	CLASSIFICAÇÃO MCT	16
3.2.1	Propriedades Índices nos Solos Tropicais	16
3.2.1.1	Limitações das Propriedades Índices para Solos Tropicais	18
4	METODOLOGIA MCT – MINIATURA COMPACTADO TROPICAL.....	20
4.1	COEFICIENTES DE CLASSIFICAÇÃO	21
4.2	GRUPOS DA CLASSIFICAÇÃO MCT	25
4.3	MÉTODO EXPEDITO DA CLASSIFICAÇÃO MCT– PASTILHAS	27
4.4	CAPACIDADE DE SUPORTE MINI-CBR	30
5	MATERIAS E MÉTODOS	32
5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	32
5.2	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	32
5.3	LIMITES DE ATTEBERG	34
5.3.1	Limite de Liquidez (LL)	35
5.3.2	Limite de Plasticidade (LP)	37
5.4	MÉTODO EXPEDITO DAS PASTILHAS	38
5.5	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E DE MINI-CBR.....	41
5.5.1	Ensaio de Compactação – Mini Proctor	42
5.5.2	Ensaio de Mini CBR.....	43

6	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	46
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	46
6.2	CLASSIFICAÇÃO TRB	46
6.3	CLASSIFICAÇÃO MCT – MÉTODO EXPEDITO DAS PASTILHAS	48
6.4	MINI-CBR	49
6.5	ANÁLISES DE RESULTADOS	50
7	CONCLUSÃO, COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES.....	53
7.1	CONCLUSÃO	53
7.2	COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES.....	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
	ANEXO – A.....	57
	ENSAIO DE GRANULOMETRIA POR SEDIMENTAÇÃO.....	57
	ANEXO – B.....	61
	ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE	61
	ANEXO – C.....	65
	ENSAIO DE METODOLOGIA MCT EXPEDITO PELAS PASTILAS	65
	ANEXO – D.....	69
	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO MINI-PROCTOR.....	69
	ANEXO – E.....	73
	ENSAIO DE MINI – CBR	73

1 INTRODUÇÃO

O setor de transporte é um agente para o crescimento econômico do País, possibilita a movimentação de pessoas e cargas promovendo a expansão das atividades econômicas estimulando o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) ao movimentar as riquezas nacionais, interligar mercado produtor e consumidor e ao facilitar as exportações brasileiras. O modal rodoviário no Brasil é responsável por aproximadamente 61,8% do transporte de cargas, tornando-se o principal meio deste tipo de transporte, tendo em vista estes fatores pode-se compreender a necessidade de investimentos na malha rodoviária brasileira. (CNT, 2006, 2012)

Apesar da grande dimensão que a rede rodoviária apresenta sobre a economia do país, de acordo com a Confederação Nacional de Transporte (CNT), apenas 12% do total de rodovias do Brasil, uma extensão de aproximadamente 1.610.076 km, possui pavimentação, foi apontado também pelo Relatório Pesquisa CNT de Rodovias de 2012 (documento elaborado com o propósito de analisar e verificar as condições das rodovias do país) que do trecho avaliado pela pesquisa correspondente à 95.707 Km, 60.053km (62,7%) estavam classificados como Regular, Ruim e Péssimo e os 35.654 km (37,3%) restantes dos trechos foram classificados como Ótimo e Bom; o que indica as condições ruins numa extensão significativa da malha rodoviária pavimentada. (CNT, 2012, 2006)

Vale ressaltar que o Relatório da CNT, analisa as condições da estrutura do pavimento, da geometria e da sinalização da pista, entretanto em relação às condições da estrutura do pavimento a pesquisa cita que “o não atendimento às exigências técnicas de capacidade de suporte das camadas do pavimento e que a qualidade dos materiais empregados no revestimento” são tipos de problemas relacionados com a estrutura de pavimentos flexíveis encontrados em nossas rodovias e que “essas falhas construtivas trazem [ao pavimento] como consequência um processo de deformação mais acelerado, o que exige maiores custos com manutenção desses pavimentos para atingir condições ideais de tráfego”. (CNT, 2012, p.29)

Portanto, são importantes os investimentos das rodovias brasileiras, com propósito de oferecer e melhorar a qualidade e segurança das vias, através de soluções econômicas para o bom desempenho das obras de infraestrutura, além de fiscalização adequada. Sabe-se que os investimentos são de custos elevados devido ao volume e caráter dos materiais empregados neste tipo de obra, desta forma é válido considerar alternativas construtivas para o ramo da

pavimentação de rodovias que podem diminuir os custos e oferecer qualidade satisfatória às rodovias a serem pavimentadas.

A utilização de solos como camada de base ou sub-base de pavimentos, ao invés da utilização de materiais pétreos como nas técnicas convencionais, é uma das alternativas que trazem vantagens significativas na redução de custos construtivos de pavimentos. Entre os tipos de solos que podem ser empregados em camadas de pavimento citam-se os solos tropicais lateríticos. Os solos tropicais são aqueles que apresentam peculiaridades de propriedades e de comportamentos, em decorrência da atuação de processos geológicos e/ou pedológicos típicos de regiões tropicais úmidas, conforme relatado pelo *Comitê on Tropical Soil of the ISSMFE*. (NOGAMI; VILLIBOR, 1995)

Os solos tropicais lateríticos são materiais que podem ser empregados como camadas de pavimento, contudo o grande impasse que havia para utilização destes solos é que eles não se enquadram corretamente nos sistemas tradicionais de classificação de solos como materiais para finalidades rodoviárias devido aos parâmetros de caracterização destas metodologias classificatórias que limitam a compreensão do comportamento geotécnico de certos tipos de solos.

Esta pesquisa abordará os estudos destes solos aplicados à pavimentação, compreendendo as condições de formação geológica e/ou pedológica, as propriedades físicas e o comportamento mecânico que os solos tropicais lateríticos possuem, relacionando-os as suas características à classificação de solos para utilização em obras rodoviárias.

1.1 OBJETIVO

O objetivo principal desta pesquisa foi verificar a ocorrência de divergências na classificação de solos tropicais com metodologias distintas, TRB e MCT; e correlaciona-las com o comportamento mecânico através do ensaio de capacidade de suporte que estes solos podem apresentar.

1.2 METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo foram selecionados três tipos de solos distintos e submetidos a ensaios de classificação pela metodologia convencional *Transportation*

Research Board (TRB), que utiliza os ensaios de granulometria e limites de Atterberg; e pela metodologia para solos tropicais denominada de Miniatura Compactado Tropical (MCT), através do ensaio Expedito das Pastilhas. Desta forma, os solos foram agrupados de acordo com as características indicadas nos ensaios e categorizados em classes por comportamento geotécnico; depois foram realizados nestes mesmos tipos de materiais os ensaios de Mini-CBR que verificou a resistência dos solos em condições reais de campo; assim comparou-se tanto os resultados de resistência dos solos quanto as classes que os sistemas de classificação TRB e MCT agruparam os solos ensaiados.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em vista da necessidade de aumentar a malha rodoviária brasileira pavimentada e melhorar a qualidade, a utilização de solos tropicais lateríticos como camada de pavimento é uma das alternativas para aplicar os recursos financeiros propondo significativa redução dos custos e atender aos requisitos de qualidade necessários do pavimento, visando aumentar a vida útil do pavimento e ter melhor aproveitamento destes tipos de solos muito encontrados em nossas regiões.

2 SOLOS

2.1 DEFINIÇÃO E ORIGEM DOS SOLOS

Na engenharia civil, solo é um material natural não consolidado, constituído por grãos facilmente separáveis por processos mecânicos ou hidráulicos e escaváveis com equipamentos comuns de terraplenagem que constituem a parte mais superficial da crosta terrestre. (NOGAMI; VILLIBOR, 1995)

Os solos são originados da decomposição de rochas decorrente de um conjunto de processos físico-químicos que transformam a superfície das rochas como, variação de temperatura, presença de fauna e flora, congelamento e degelo de água, entre outros fatores, a diversidade e intensidade de ocorrência destes processos levam a formação de solos com a mistura de partículas de tamanhos e composições químicas diferentes. (PINTO, 2006)

O conjunto de diversos processos físico-químicos que atuam sobre a superfície das rochas, dando origem a variados tipos de solos, também pode ser chamado de intemperismo; se o solo sofre as ações do intemperismo em uma rocha e permanece estável no local da decomposição é chamado solo residual e se o material decomposto foi deslocado para outras regiões por outras ações de intempéries é chamado de solo transportado; solos orgânicos são os em que ocorre a mistura de matéria orgânica em sedimentos preexistentes e em solos transportados; outro modo de formação de solos é a evolução pedogenética que consiste numa série complexa de processos físico-químicos e biológicos, este tipo de formação de solo será melhor abordado mais a frente no entendimento das peculiaridades dos solos tropicais. (BALBO, 2007)

A partir da atuação dos agentes de transformação que dão origem ao solo, eles começam a se formar e depositam-se em camadas de aspectos e constituição diferentes de forma paralela à superfície, formando os chamados horizontes, o conjunto de horizontes numa seção transversal é chamado de perfil de solo, a partir do perfil de solo pode-se compreender a disposição dos diferentes tipos de solos na natureza, principalmente dos solos tropicais abordados nesta pesquisa.

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS

Os solos possuem diversas propriedades e características que os diferem entre si. Segundo Pinto (2006), entre muitas características, o tamanho de suas partículas de solo é a primeira característica que difere os tipos de solos, os tamanhos dos grãos de solos variam muito, existem grãos de areia com diâmetro de 1 a 2 mm e grãos de argila de diâmetro de 0,005 mm e um mesmo tipo de solos pode apresentar grãos em tamanhos diferentes. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define denominações para faixas de tamanhos dos grãos conforme a Tabela 2.1

Tabela 2.1 – Faixa granulométrica definida pela ABNT.

Fração	Limites definidos pela Norma da ABNT
Matacão	de 25 cm a 1 m
Pedra	de 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	de 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	de 2,0 mm a 4,8 mm
Areia média	de 0,42 mm a 2,0 mm
Areia fina	de 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	de 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	inferior a 0,005 mm

Fonte: PINTO (2006, p. 4)

Além do tamanho dos grãos outras características são importantes para caracterização e distinção entre dos solos, como a forma dos grãos que está também relacionada ao tamanho das partículas. De forma geral, Senço (2007) afirma, que as frações mais grossas são constituídas por grãos mais angulares, arredondados ou menos achatados, as areias constituem também de grãos angulares, mas algumas areias podem apresentar porcentagens elevadas de partículas lamelares de mica. Os solos mais finos, como argila e silte, são angulares e possuem aspecto de escamas.

A composição mineralógica é outro aspecto dos solos muito importante, é determinada pela estrutura mineral das partículas que geralmente são formadas pelos minerais predominantes da rocha da qual os solos se decompuseram. Conforme Pinto (2006), as partículas maiores são formadas por agregações minerais diferentes, mas é comum as partículas apresentarem um único mineral; a areia e o silte são formadas por *quartzo* que é bastante resistente a desagregação mineral, mas também o *feldspato*, *gibbsita*, *calcita* e *mica*

podem formar partículas do mesmo tamanho que a areia e o silte; o *feldspato* dá origem também aos argilo-minerais, que são partículas de granulometria muito fina. A variedade neste quesito é ampla devido à diversidade da composição de rochas, este aspecto mineralógico dos solos influencia significativamente no seu comportamento mecânico.

O conjunto destas características, tamanho, forma, composição mineral, além de outros aspectos, atribuem aos solos diversas propriedades físicas, químicas e biológicas que podem ser estudadas e compreendidas a fim de se conhecer o comportamento dos diferentes tipos de solos.

2.2 SOLOS TROPICAIS

O solo tropical é definido pelo *Comitê on Tropical Soil of the ISSMFE* como solo que apresenta peculiaridades de propriedades e de comportamento em decorrência da atuação de processos geológicos e/ou pedológicos, típico de regiões úmidas. Há duas grandes classes de comportamento de solos tropicais sendo elas os solos tropicais de comportamento laterítico e de comportamento não laterítico ou saprolítico. (NOGAMI; VILLIBOR, 1995)

Os solos tropicais de comportamento laterítico, conforme Villibor *et al.* (2009) são solos superficiais típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, resultantes de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo, por processo denominado laterização, este processo por sua vez está relacionado com enriquecimento do solo de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio e a permanência da *caulinita* como argilo-mineral.

Solos de comportamento não laterítico ou saprolítico são aqueles que resultam da desagregação e decomposição da rocha *in situ*, mas mantendo, de maneira nítida, a estrutura da rocha que lhe deu origem, de acordo com o *Comitê on Tropical Soil of the ISSMFE*. (NOGAMI; VILLIBOR, 1995)

Na Figura 2.1 verificamos a ocorrência dos solos com comportamento laterítico e saprolítico num mesmo depósito. Na microestrutura do solo laterítico é observado um arranjo em forma de “pipoca” e para o solo saprolítico esse arranjo tem forma de “sanfona”.



Figura 2.1 – Exemplo de ocorrência de solo laterítico e saprolítico

Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009, p. 21)



Figura 2.2 – Ocorrência de solos tropicais no Brasil

Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009, p. 22)

De acordo com Vargas (1985, p. 103, tradução nossa), no *First International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils*, o Brasil é um grande campo de observação dos fenômenos de origem, formação e evolução dos solos tropicais, já que a maior parte do Brasil está na zona equatorial, com um clima constantemente quente e

úmido, e em vista da grande variedade de solos residuais, transportados e solos pedogenéticos encontrados no país. A ocorrência dos solos tropicais lateríticos e saprolíticos no território brasileiro é ilustrada na Figura 2.2 e dos solos lateríticos numa escala mundial é ilustrada na Figura 2.3.

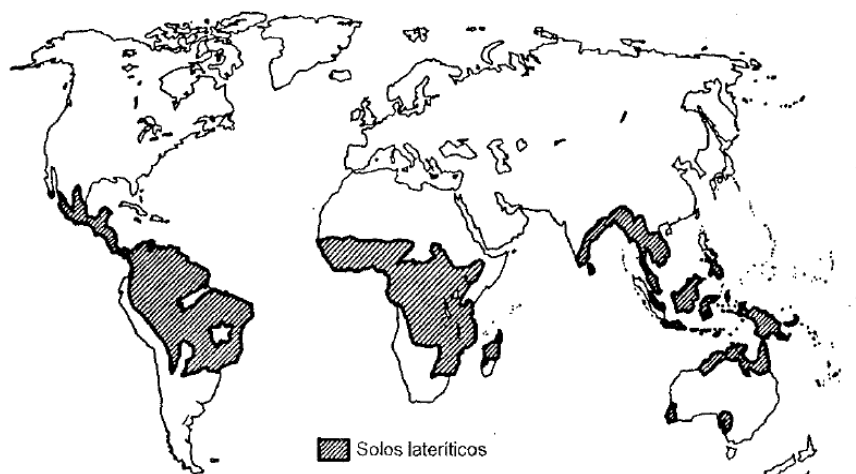


Figura 2.3 – Distribuição dos solos lateríticos em termos mundiais

Fonte: CHARMAN (1988) *apud* BERNUCCI (1995, p. 54)

As regiões de condições climáticas tropicais são típicas para a evolução destes solos, o clima tropical úmido é caracterizado pelas temperaturas altas médias anuais, geralmente superiores a 20° C, elevada pluviosidade (superiores a 1000 mm/ano) e sem ocorrências de congelamento (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

2.2.1 PECULIARIDADES DOS SOLOS TROPICAIS LATERÍTICOS

No perfil de solo, o solo tropical de comportamento laterítico constitui o chamado horizonte pedogenético formado pela atuação de processos pedológicos e podem atingir a espessura de até 10 metros. Os solos de caráter não laterítico ou saprolítico são encontrados normalmente subjacentes a uma camada de outro tipo genético de solos, como solo laterítico, solo orgânico entre outros tipos, a Figura 2.4 indica um perfil esquemático destes solos na superfície. Entre os perfis naturais os solos tropicais lateríticos geralmente integram pedologicamente no horizonte B entre os solos latossolos, podzólicos e terras roxas estruturadas. (NOGAMI; VILLIBOR, 1983, 1988, 1995)

Os solos tropicais de comportamento laterítico apresentam geralmente contribuição de matizes vermelho e amarelo, diferente dos solos saprolíticos que podem

apresentar manchas herdadas da rocha matriz ou desenvolvidas no processo de laterização, podem também apresentar cores diversas como esverdeado, preto, cinza, branco, etc. (NOGAMI; VILLIBOR, 1983, 1995)

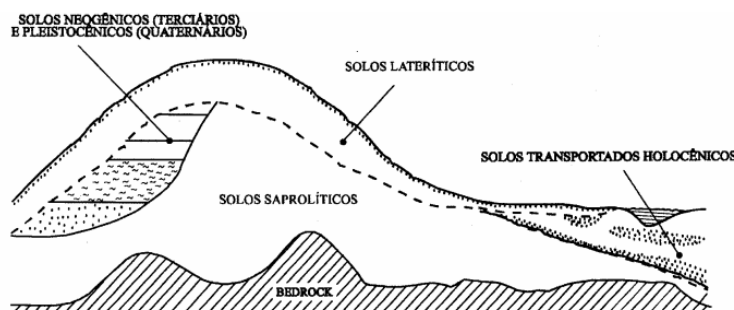


Figura 2.4 – Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical

Fonte: VILLIBOR *et al.* (2009, p. 19)

2.2.1.1 CONSTITUIÇÃO MINERAL

Para compreensão do comportamento geotécnico é de grande valia abordar a constituição e a forma dos grãos que compõem os solos, assim como também a fábrica e estrutura dos mesmos, que será discutida mais a frente neste mesmo capítulo. Nos solos tropicais lateríticos os minerais que mais se apresentam em sua composição nas frações areia, pedregulho, silte argila são descritos a seguir, conforme Nogami e Villibor (1995):

Fração Areia: nestas frações se apresenta, com predominância, o mineral *quartzo*, este mineral confere aos solos propriedades de elevada resistência à compressão, elevado módulo de elasticidade, elevada dureza, e estabilidade química; neste tipo de fração é comum também a ocorrência de minerais pesados como *magnetita*, *ilmenita*, *rutilo*, *turmalina*, *zircão*, na Figura 2.5, é ilustrado a fração areia de alguns solos.

Fração Pedregulho: na fração pedregulho apresenta-se, com frequência, o mineral *laterita* constituída de óxidos hidratados de ferro e de alumínio.

Fração Silte: ocorre semelhantemente à fração areia, com a predominância do mineral *quartzo* (conferindo aos solos propriedades semelhantes nas frações areia) e dos minerais *magnetita* e *ilmenita* para os solos que surgiram de rochas como basalto. Há grande ocorrência de torrões de argila, nestas frações silte, que podem ser confundidas com presença da *laterita*.

Fração Argila: há elevada porcentagem de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio e argilo-minerais do grupo da *caulinita*. As características marcantes dos argilo-minerais são a elevada superfície específica, a grande capacidade de expansão, a plasticidade, as cargas elétricas negativas proporcionando troca catiônica, etc., estas características podem não ser favoráveis às obras de engenharia, contudo de acordo com Vargas (1977) a *caulinita* não é tão expansiva e tem capacidade de troca catiônica menor em comparação a outros argilo-minerais como o grupo da *montmorillonita*. Os óxidos de ferro e de alumínio tem superfície específica elevada, no entanto, não são plásticos, não são expansíveis, e sua capacidade de troca catiônica é desprezível possuindo cargas positivas; esses óxidos ainda apresentam propriedades cimentantes que contribuem para agregações e torrões de solo.

Segundo Santos (2006), é a combinação dos argilo-minerais do grupo das *caulinitas* e de hidróxidos e óxidos hidratados de ferro e alumínio, a responsável pela formação dessas agregações estáveis quando na presença de água, devido ao recobrimento dos argilo-minerais pelos hidróxidos e óxidos que reduzem a capacidade de adsorção de água pelo argilo-minerais e atuam como cimentantes naturais entre as partículas.

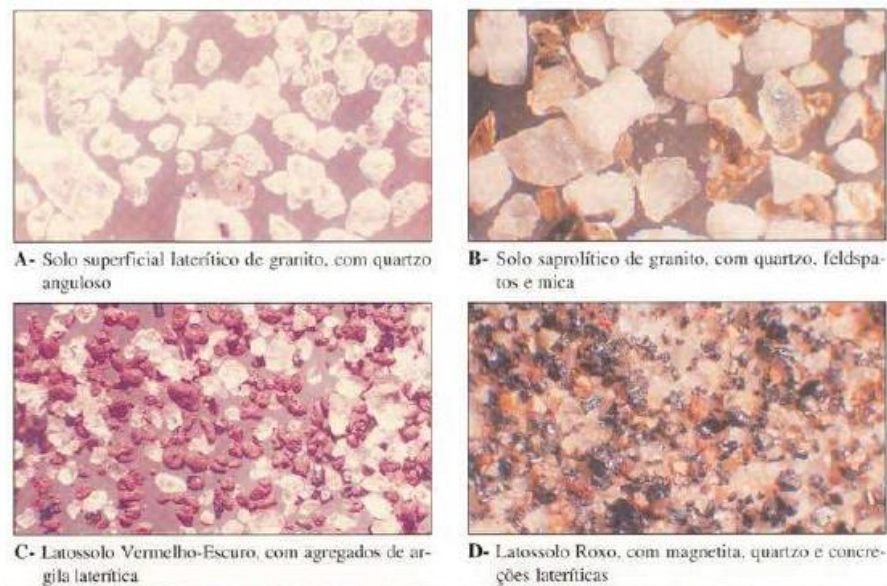


Figura 2.5 – Fração areia de alguns solos tropicais

Fonte: Adaptado de NOGAMI e VILLIBOR (1995, p. 14)

2.2.1.2 ESTRUTURA E MACRO ESTRUTURA

Segundo Nogami e Villibor (1995), macro fábrica é a disposição espacial dos constituintes sólidos, dos vazios e das superfícies de descontinuidades dos solos que é

observável a olho nu. Os solos tropicais lateríticos apresentam macro fábrica homogênea e isotrópica, com variedades argilosas exibindo aglomeração e formando torrões razoavelmente resistentes, até mesmo quando imersos n'água, a Figura 2.6 mostra a macro fábrica de alguns solos. (NOGAMI; VILLIBOR, 1983)

A macro fábrica mais característica destes solos é a decorrente da agregação que forma torrões; devido a essa agregação em condições naturais é visível a distinção dos torrões, a resistência da agregação mesmo em presença de água, conferindo a estes solos as seguintes peculiaridades gerais, conforme Nogami e Villibor (1995, p. 24 e 26),

[...] manutenção de elevada porosidade aparente e de permeabilidade, quando as argilas e os solos argilosos lateríticos, em estado natural, são submetidos ao aumento de umidade, por imersão em água ou molhagem pelas chuvas; [...] permanência dos agregados ou torrões, na fração areia dos solos, havendo necessidade de interpretar apropriadamente as curvas granulométricas obtidas pelos métodos tradicionais de ensaio. [...] resistência a compressão e ao cisalhamento muito acima da prevista pelos índices físicos tradicionais [...] misturação relativamente fácil, em estado de baixo teor de umidade até teores bastante elevados, o que facilita a uniformização do teor de umidade de compactação e a misturação de aditivos estabilizantes, como a cal e o cimento.



Figura 2.6 – Estrutura e Macro Estrutura dos solos
Fonte: Adaptado de NOGAMI e VILLIBOR (1995, p. 25)

3 SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

Para que seja possível empregar um tipo de solo na construção civil é necessário conhecer as propriedades e características desse solo. Segundo Balbo (2007, p.65), o estudo dos solos para finalidades rodoviárias é fundamental, uma vez que, não existe pavimento sem a fundação, isto é, sem o subleito, ele afirma também que “existem possibilidades de emprego de solos em bases, sub-bases e reforços de pavimentos, razão pela qual qualquer estudo relacionado à pavimentação não prescinde jamais de um estudo adequado dos solos empregados nas obras”.

De acordo com Santos (2006, p.6), os sistemas de classificação de solos consistem em agrupar os solos de comportamentos semelhantes em classes a partir de parâmetros físicos e índices numéricos que identificam características e propriedades e que através da classe atribuída aos solos estudados seja possível “correlacionar comportamento do material em questão com o de outros solos já conhecidos podendo, desta maneira, prever o comportamento do solo na obra”.

Os sistemas de classificação de solos mais difundidos para finalidades rodoviárias são os baseados nos índices de Limites de Atterberg e na composição granulométrica (aspectos conhecidos como **propriedades índices**), desenvolvidos nos Estados Unidos. Entre as metodologias de classificação tradicionais apresenta-se a classificação *Transportation Research Board* (TRB), a antiga classificação *Highway Research Board* (HRB), muito empregada no Brasil. No entanto, as classificações baseadas nestas propriedades não são capazes de classificar corretamente as peculiaridades que os solos tropicais oferecem, desta forma foi desenvolvida a metodologia Miniatura Compactado Tropical (MCT) que baseia-se em parâmetros competentes a analisar as propriedades dos solos finos tropicais.

3.1 CLASSIFICAÇÃO TRB

A classificação TRB baseia-se na granulometria, nos índices físicos de limites de consistência e no Índice de Grupo (IG) que consiste num parâmetro estimativo da capacidade de suporte do material determinado por uma equação. É estabelecida por essa classificação uma Tabela que agrupa os tipos de solos. (DNIT, 2006)

Esta classificação chama de solos de granulação grossa os que apresentam menos de 35% de material passando na peneira nº 200 e são contemplados no grupo A1, A2 e A3. Os solos que superam mais de 35% de material passante na peneira nº 200 são chamados de granulação fina e são representados pelos grupos A5, A6 e A7. (PINTO, 2006)

Com base nos resultados dos ensaios de granulometria e de Limites de Atterberg, é calculado o Índice de Grupo, valor que possibilita a classificação dos solos em grupos que possuem previsão de comportamentos semelhantes, este índice é calculado através da equação Eq. 1 a seguir. (DINT, 2006)

$$IG = 0,2 * a + 0,005ac + 0,01bd \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo que:

a = % de material que passa na peneira nº 200, menos 35; se o valor obtido for maior que 75, a = 40, se menor que 35, a = 0.

b = % de material que passa na peneira nº 200, menos 15; se o valor obtido for maior que 55, b = 40, se menor que 15, b = 0.

c = Limite de Liquidez (LL), menos 40; se o valor obtido for maior que 60, c = 20, se menor que 40, c = 0.

d = Índice de Plasticidade (IP), menos 10; se o valor obtido for maior que 30, d = 20, se menor que 10, d = 0.

Com estes parâmetros de ensaios definidos, análise granulométrica, limites de Atterberg e o Índice de Grupo; classificam-se os solos de acordo com os grupos relacionados na Tabela de classificação de solos do sistema TRB, que está apresentada na Tabela 3.1.

De acordo com o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), os grupos da Classificação TRB são descrito da seguinte forma:

Grupo A-1: Os solos típicos deste grupo constituem em mistura bem graduada de fragmentos de pedra ou pedregulhos, areia grossa, areia fina com aglutinantes de solo. Pode possuir também fragmentos de pedra, pedregulho, areia grossa, cinzas vulcânicas, etc., que não contêm aglutinantes de solo.

Tabela 3.1 – Classificação de Solos TRB

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

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

Fonte: DNIT (2006, p. 56)

Subgrupo A-1-a: fragmentos de pedra ou pedregulho, funcionando como aglutinante.

Subgrupo A-1-b: materiais de areia grossa, com ou sem aglutinante de solo.

Grupo A-2: os materiais deste grupo compreendem variedades de materiais que se situam nos grupos A-1 e A-3, além de outros constituídos de misturas silte-argila dos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7. Inclui solos com 35 % ou menos passante na peneira nº 200, porém podem ser classificados como A-1 ou A-3 devido à quantidade de finos e a plasticidade que podem apresentar.

Subgrupos A-2-4 e A-2-5: solos contendo 35% ou menos, passando na peneira nº 200 com características dos grupos A-4 ou A-5. Compreendem materiais como pedregulho e areia grossa, com o teor de silte e o índice de plasticidade ultrapassando os limites

estabelecidos para o Grupo A-1, além de areia fina com silte não plástico excedendo os limites do Grupo A-3.

Subgrupos A-2-6 e A-2-7: solos semelhantes aos dos subgrupos A-2-4 e A-2-5, porém contém na parcela de finos, argila plástica com características dos grupos A-6 ou A-7.

Grupo A-3: composto por areia de praia ou de deserto, sem silte ou argila, com teores pequenos de silte não plástico; possuem também misturas de areia fina mal graduada e quantidades limitadas de areia grossa e pedregulho depositado pelas correntes.

Grupo A-4: solos típicos destes grupos são os solos siltosos não plásticos, ou moderadamente plásticos, com geralmente, 5% ou mais passante na peneira nº 200. Incluem misturas de solo fino siltoso com até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº. 200.

Grupo A-5: os solos típicos deste grupo são semelhantes aos do grupo A-4, contudo no grupo A-5 há a presença do caráter diatomáceo ou micáceo, de alta elasticidade e elevado limite de liquidez.

Grupo A-6: solos argilosos, plásticos, com 75% ou mais de material passando na peneira nº 200. Compreende também misturas de solos finos argilosos, com até 64% de areia e pedregulho retido na peneira nº 200. Tendem a ter elevada mudança de volume entre os estados seco e úmido.

Grupo A-7: solos de semelhança com grupo A-6, mas de alto limite de liquidez como o grupo A-5. Tende a ser elástico e possuir elevada mudança de volume, o índice de grupo varia de 1 a 20, o que pode indicar a combinação do crescimento do valor de LL e do IP, e baixa quantidade de materiais grossos.

Subgrupo A-7-5: materiais de índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez, podendo apresentar elasticidade alta e estar sujeito a elevadas mudanças de volume.

Subgrupo A-7-6: materiais de elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez e sujeitos a elevadas mudanças de volume.

3.2 CLASSIFICAÇÃO MCT

Os métodos convencionais utilizados na escolha do material de emprego para finalidades rodoviárias não são recomendados para compreender o comportamento mecânico de solos finos tropicais, isto porque estes solos são provenientes de condições climáticas bem distintas das ensaiadas pelas técnicas convencionais; quando classificados por estes, o potencial do solo tropical é mal interpretado.

Villibor *et al.* (1996) afirmam que o uso dos métodos tradicionais para identificação e classificação de solos tropicais pode ocasionar duas consequências não favoráveis, o solo classificado pode se comportar bem melhor do que o previsto, e assim haveria um superdimensionamento do pavimento e consequentemente desperdício de material; ou o solo classificado pode se comportar bem pior que o previsto, tendo como consequência a redução da vida útil do pavimento ou a sua ruptura precoce.

De acordo com os mesmos autores as limitações dos sistemas de classificação tradicionais são percebidas na falta de correlação entre os resultados de ensaios tradicionais de classificação de alguns solos tropicais e o comportamento geotécnico destes solos. Os métodos de classificação tradicionais de solos impossibilitam a utilização de solos locais tropicais ou subtropicais para finalidades construtivas rodoviárias, já que os parâmetros de caracterização destes métodos não garantem o comportamento geotécnico satisfatório destes solos aplicados como estrutura de pavimento. (NOGAMI; VILLIBOR, 1995)

Com o propósito de adaptar a caracterização de solos tropicais os mesmos autores elaboraram uma metodologia de classificação específica para estes solos, a Metodologia Miniatura Compactado Tropical (MCT), baseada em uma “série de ensaios e procedimentos cujos resultados reproduzem as condições reais de camadas compactadas de solos tropicais, quando usadas em pavimentos, através das propriedades geotécnicas que espelham o comportamento *in situ* dessas camadas”. (VILLIBOR *et al.*, 2009, p.26)

3.2.1 PROPRIEDADES ÍNDICES NOS SOLOS TROPICAIS

As propriedades índices são as propriedades físicas inicialmente utilizadas para identificação de solos. Conforme Vargas (1977) adotou-se como propriedades índices dos solos, as propriedades físicas mais imediatas tais como granulometria, plasticidade e atividade

da fração fina. Com base nestes índices os ensaios de granulometria e Limites Atterberg são usados tradicionalmente para identificação de solos.

A análise granulométrica avalia o tamanho das partículas e a distribuição da granulometria dos grãos. Os solos são ensaiados pelo procedimento de peneiramento, porém solos mais finos como argila e silte, fração com diâmetro inferior a 0,075 mm (peneira nº 200), são ensaiados pelo procedimento de sedimentação, este procedimento é baseado na Lei de Stokes, em que o solo é colocado sob a ação de um agente antifloculante, provocando a suspensão dos grãos que posteriormente cairão com velocidades proporcionais aos seus diâmetros. Com este ensaio determinam-se os diâmetros dos solos e as respectivas porcentagens em peso que os diâmetros representam. Os resultados são apresentados por uma curva de representação da distribuição granulométrica da amostra. (PINTO, 2006; VARGAS, 1977)

A curva granulométrica não é suficiente para prever o comportamento, na prática, de solos finos que têm diâmetro inferior a 0,1 mm, pois pode-se encontrar silte, argila e solos argilosos de mesmas curvas granulométricas em que o comportamento não seja semelhante, uma vez que os grãos argilosos dependem da espécie argilo-mineral a que pertence. (VARGAS, 1977)

O engenheiro químico Atterberg propôs o emprego de ensaios e índices que analisam o comportamento do solo na presença de água, e estes ensaios foram adaptados e padronizados pelo professor Arthur Casagrande, conhecido como Limites de Atterberg. Esta proposta é realizada pelos ensaios de limite de Liquidez (LL) e Plasticidade (LP), que consistem nos teores de umidade correspondentes às mudanças de estado, o ensaio de Liquidez representa a passagem do estado líquido para o estado plástico, e o de Plasticidade, do estado plástico para o estado semi-sólido. (PINTO, 2006; DNIT, 2006)

Outro valor chamado de Índice de Plasticidade (IP) ainda é obtido através da diferença entre o LL e o LP; segundo o DNIT (2006, p.35) “este índice define a zona em que o terreno se acha no estado plástico e, por ser máximo para as argilas e mínimo para as areias, fornece um valioso critério para se avaliar o caráter argiloso de um solo. Quanto maior o IP, tanto mais plástico será o solo”. A Tabela 3.2 apresenta os Índices de Plasticidade e o Limite de Liquidez de alguns solos brasileiros.

Tabela 3.2 – Índices de Atterberg de alguns solos brasileiros

Solos	LL %	IP%
Residuais de Arenito (arenosos finos)	29-44	11-20
Residual de gnaiss	45-55	20-25
Residual de basalto	45-70	20-30
Residual de granito	45-55	14-18
Argilas orgânicas de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	80
Argila porosa vermelha de São Paulo	65 a 85	25 a 40
Argilas variegadas de São Paulo	40 a 80	15 a 45
Areias argilosas variegadas de São Paulo	20 a 40	5 a 15
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

Fonte: PINTO (2006, p. 14)

3.2.1.1 LIMITAÇÕES DAS PROPRIEDADES ÍNDICES PARA SOLOS TROPICAIS

As propriedades índices são parâmetros utilizados para escolha de solos com finalidades de Engenharia. Conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), as exigências para os materiais de reforço do subleito e base estabilizada incluem a análise de limites quanto aos ensaios de granulometria, limites de Atterberg e o valor do IG, no caso da sub-base estabilizada o Índice de Grupo deve ser igual a zero; para base estabilizada o LL deve atingir no máximo até 25% e o IP no máximo até 6%. Para finalidades rodoviárias a variação de volume dos materiais aplicados às camadas de um pavimento é indesejável, por isso são estabelecidos estes limites.

Entretanto, tratando-se dos solos tropicais estes parâmetros tornam-se inaplicáveis, por exemplo, Nogami e Villibor (1995) exemplificam que pode ocorrer de solos com LL elevados (acima de 50%), não sejam tão expansivos ou apresentam baixa expansão quando compactados nas condições normatizadas, como no caso de solos latossolos ou podzólicos; e paralelamente pode ocorrer que solos com LL e IP baixo, dentro dos limites citados pelo DNIT, sejam muito expansivos quando compactados nas condições normatizadas, como é o caso dos solos saprolíticos ricos em siltes *micáceos*; portanto podem existir casos em que solos apresentem o mesmo LL e IP, mas tenham expansibilidade e comportamentos geotécnicos diferentes.

Os mesmos autores, Nogami e Villibor (1994a), afirmam que através do cálculo do IG, as classificações tradicionais colocam os solos em hierarquia, atribuindo melhor desempenho para solos de baixo IG, considerando baixo LL e IP e baixa porcentagem passante na peneira nº 200, favorecendo desta forma os solos mais granulares ou arenosos e desfavorecendo os argilosos, no entanto estes parâmetros são verdadeiros se o ambiente em que o solo irá trabalhar for de clima frio e temperado e se a argila não for laterítica.

4 METODOLOGIA MCT – MINIATURA COMPACTADO TROPICAL

A metodologia MCT teve início com o ensaio de Mini-CBR com corpos de prova de dimensões reduzidas em 5,00 cm de diâmetro e 5,00 cm de altura, baseado em adaptações desenvolvidas no ensaio do *Iowa State University*. Logo se deu continuidade a uma sistemática mais abrangente possibilitando a determinação da permeabilidade, da penetração d'água, contração e penetração da pintura betuminosa. Contudo este método pode ser demasiadamente trabalhoso quando comparado aos procedimentos tradicionais. (NOGAMI; VILLIBOR, 1995)

O método de ensaio de compactação de corpo-de-prova de 100 mm de diâmetro desenvolvido por Parsons, o procedimento *Moisture Condition Value* (MCV), desenvolvido com o objetivo de solucionar problemas de terraplenagem, foi adaptado por Nogami e Villibor para o estudo dos solos tropicais utilizando corpos de prova em dimensões mais reduzidas, sendo de 50 mm de diâmetro, este procedimento foi denominado de Miniatura MCV (Mini-MCV). Os mesmos autores apresentaram também uma variação com o corpo-de-prova ainda menor de 26 mm de diâmetro, este denominado de SubMiniatura MCV, a Figura 4.1 indica os aparelhos utilizados nestes procedimentos. (NOGAMI; VILLIBOR, 1995, 1981, 1980)

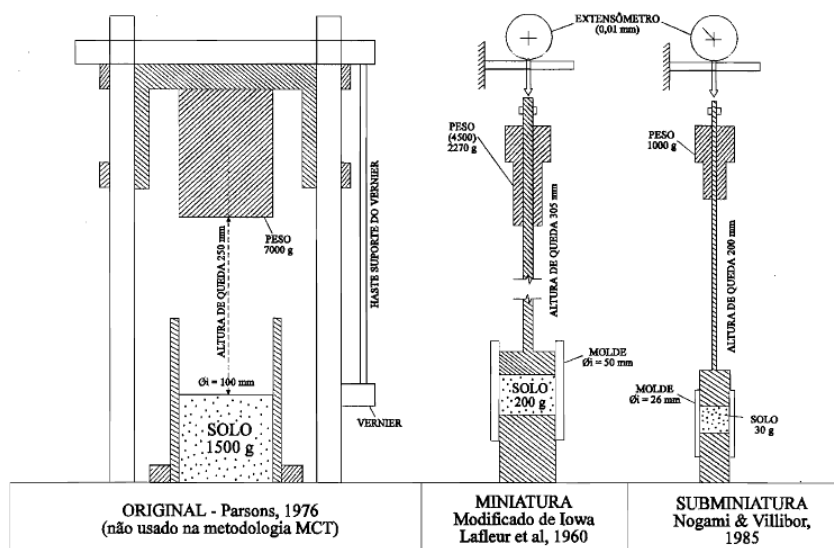


Figura 4.1 – Esquema comparativo dos aparelhos de compactação relacionados à metodologia MCT

Fonte: NOGAMI e VILLIBOR (1995, p. 61)

De acordo com Nogami e Villibor (1995) o método Mini-MCV é o utilizado na metodologia MCT para sugerir uma classificação geotécnica aos solos, neste ensaio para cada unidade de compactação aplicam-se sucessivamente energia crescente, até não se conseguir aumento sensível das densidades, obtendo-se assim uma família de curva de compactação. O procedimento de ensaio consiste num corpo-de-prova de 50,00 mm de diâmetro e composto por 200 g de solo, posicionado num aparelho como o ilustrado na Figura 4.1 (MINIATURA), este aparelho permite a leitura das alturas do corpo-de-prova a cada sequência de golpe.

Para determinar a curva de compactação calcula-se a massa específica aparente em função das alturas e traça-se então um gráfico de densidade por teor de umidade; uma curva de deformidade também é traçada utilizando os dados da variação de alturas e número de golpes. A partir destes gráficos são obtidos dois coeficientes c' e d' . Para fins classificatórios da Metodologia MCT é necessário o valor de mais um índice chamado e' obtido através de uma equação que relaciona o valor do ensaio de Perda de Massa por Imersão e o coeficiente d' . (NOGAMI; VILLIBOR, 1995)

No ensaio de Perda de Massa por Imersão, os corpos de prova compactados pelo método Mini-MCV são escolhidos e de cada molde é extraído, para exposição, 10 mm da sua parte inferior, em seguida os corpos de prova são imersos em água como a Figura 4.2, depois é feita a pesagem das massas desprendidas e calculado o valor de P_i . (VILLIBOR; NOGAMI, 2009)



Figura 4.2 – Ilustração e croqui de ensaio da Perda de Imersão

Fonte: VILLIBOR e NOGAMI (2009, p. 53)

4.1 COEFICIENTES DE CLASSIFICAÇÃO

O coeficiente c' é determinado pela curva de deformidade ou curva de Mini-MCV, é definido como o coeficiente angular da reta assimilável à curva de Mini-MCV mais

próxima de 10 golpes, ou seja, a curva cuja projeção da intersecção com a reta de equação $An = 2$ mm no eixo das abscissas é mais próxima de 10, com esta curva definida, unem-se seus pontos de intersecção com $An = 2$ mm e $An = 7$ mm, formando uma reta na qual se extrai o coeficiente angular que determina o c' ; o coeficiente c' correlaciona-se com a granulometria, uma combinação de graduação com a coesão expressa pela deformidade. (MOURA; SANT'ANA; BERNUCCI, 2006)

Porém, na metodologia tradicional a granulometria representa a porcentagem de finos a partir do que passa na peneira 0,075 mm, enquanto no valor do coeficiente c' há interferência também de outros fatores além da granulometria como a graduação, forma dos grãos, a mineralogia das diversas frações etc., portanto esta correlação com granulometria não é tão simples. (NOGAMI; VILLIBOR, 1995)

Segundo Nogami e Villibor (1995), um valor de c' elevado, acima de 1,5, caracteriza as argilas e solos argilosos, enquanto que valores baixos, inferior a 1,0, caracterizam areias e siltes não plásticos ou pouco coesivos; solos que apresentam valores de c' entre 1,0 e 1,5, apresentam vários tipos granulométricos de solos.

Os mesmos autores descrevem que através das curvas de compactação é obtido na inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva correspondente a 12 golpes no ensaio Mini-MCV próximos da massa específica aparente máxima, o coeficiente d' , este índice é utilizado no cálculo do índice e' , contribuindo para indicar o comportamento laterítico do solo.

Conforme Moura, Sant'Ana e Bernucci (2006) no ramo seco da curva de compactação há elevado ganho de densidade de um solo de comportamento laterítico, enquanto o ganho de densidade é relativamente baixo para os solos não lateríticos.

Villibor e Nogami (2009, p. 66) afirmam que

[...] as argilas lateríticas possuem d' acima de 20, ao passo que as argilas não lateríticas não atingem esse valor por, frequentemente, possuem valores inferiores a 10. As areias puras possuem d' pouco acentuado, enquanto as areias finas argilosas podem ter d' muito elevado, ultrapassando 100. Os solos saprolíticos silteosos, micáceos e/ou caoliníticos, possuem d' muito pequeno, frequentemente abaixo de 5.

A Figura 4.3 ilustra curvas de compactação e de deformidade traçadas e a obtenção dos coeficientes c' e d' .

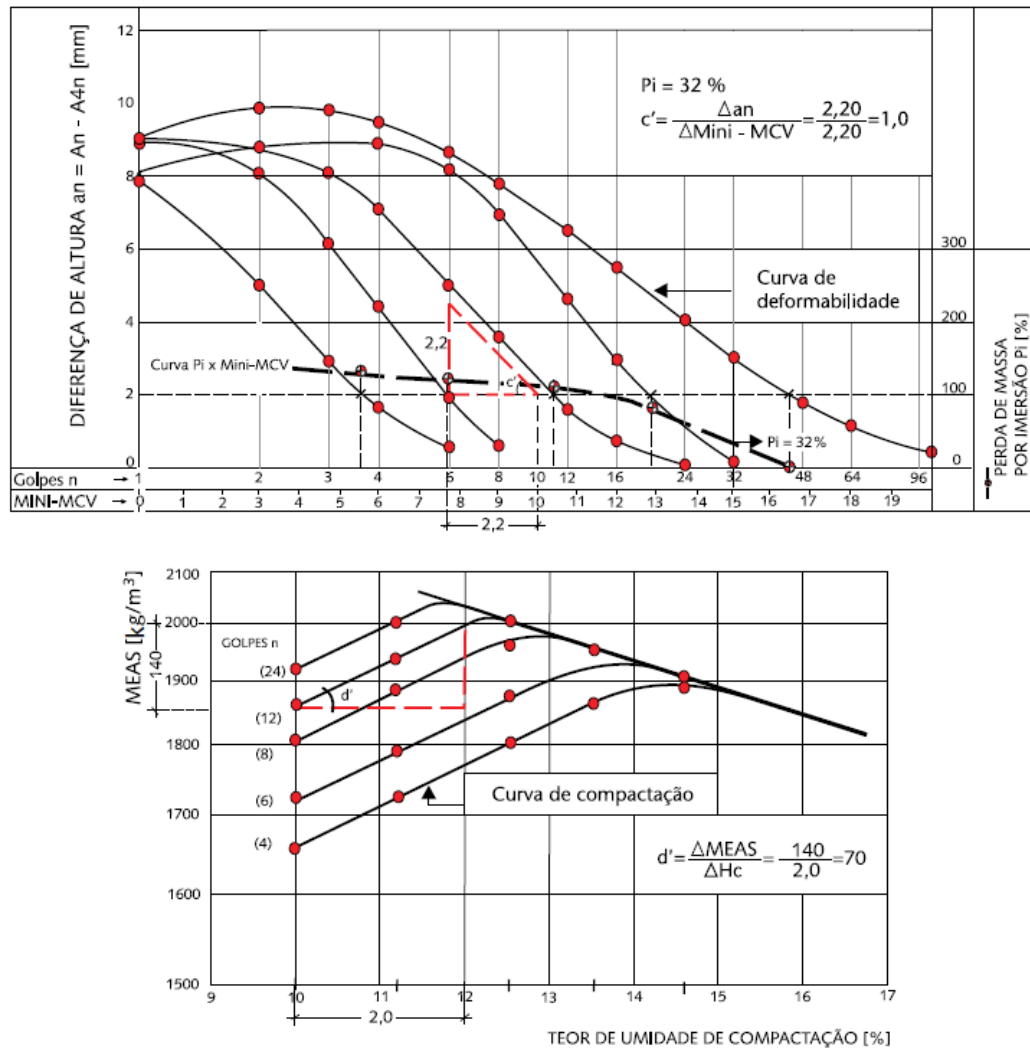


Figura 4.3 – Exemplos de curva de compactação e de deformidade, amostra do SALF utilizado na base de acesso a Água Vermelha - SP

Fonte: VILLIBOR e NOGAMI (2009, p. 64)

O coeficiente e' é calculado através do índice d' e do valor de P_i , pela equação Eq. 2. (NOGAMI; VILLIBOR, 2009)

O valor de e' indica o comportamento laterítico de um solo, de acordo com Nogami e Villibor (1995), este comportamento começa a se manifestar quando $d' > 20$ e $P_i < 100$, o que permitiu o estabelecimento da linha horizontal principal correspondente a $e' = 1,5$, que separa os solos L (solos de comportamento laterítico) dos solos N (solos de comportamento não laterítico), no gráfico de classificação dos solos tropicais, ilustrado na Figura 4.5; os solos pobres em finos, a transição ocorre para valores mais altos de P_i , estabelecendo uma linha horizontal secundária em posição um pouco mais acima, correspondentes a $e' = 1,4$.

$$e' = \sqrt{\left(\frac{P_i}{100}\right) + \left(\frac{20}{d'}\right)} \quad \text{Eq. 2}$$

Na Figura 4.4 segue o gráfico de classificação de solos pela metodologia MCT com a obtenção dos índices c' e e' .

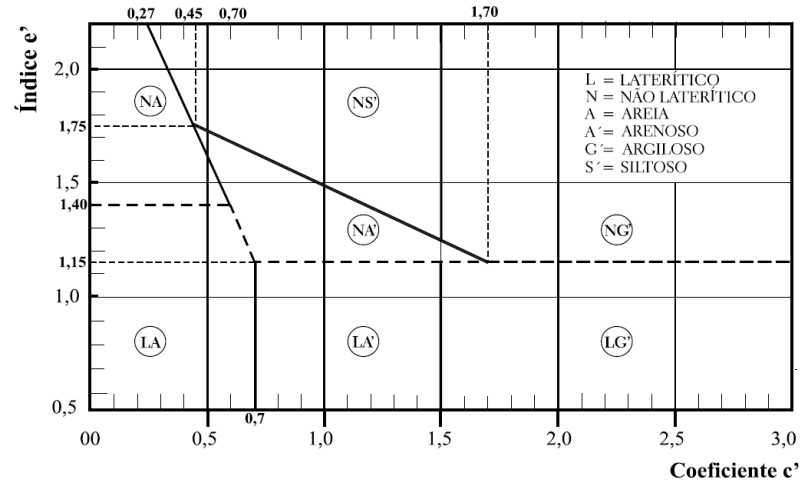


Figura 4.4 – Gráfico de Classificação de solo MCT
Fonte: VILLIBOR e NOGAMI (2009, p. 54)

Mais tarde foi apresentada uma inversão nas escalas do gráfico da Figura 4.4, surgindo o ilustrado pela Figura 4.5, nesta nova disposição, o zero aparece na parte superior do eixo vertical coincidindo com a superfície do terreno, com isso pode-se observar que essa disposição também coincide com as ocorrências dos solos nos perfis, em que os solos de comportamento laterítico se encontram na camada superficial e superior.

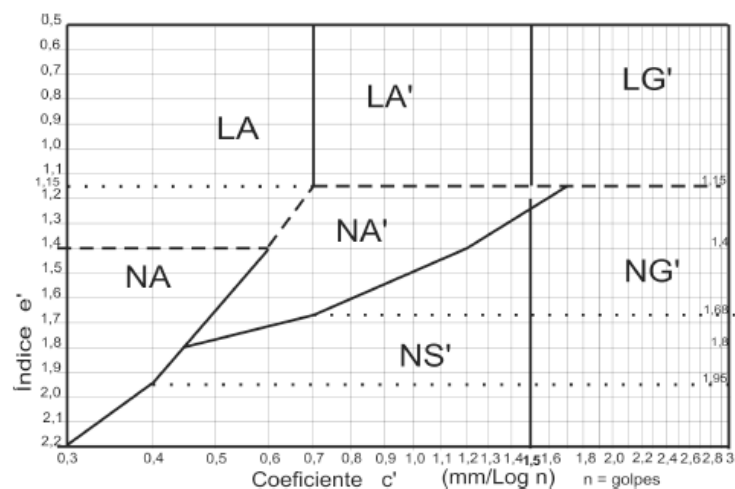


Figura 4.5 – Novo Gráfico Classificação de solo MCT – Aproximação 2003
Fonte: VILLIBOR e NOGAMI (2003, p. 50)

4.2 GRUPOS DA CLASSIFICAÇÃO MCT

A metodologia MCT classifica os solos em grupos determinados em função das variáveis c' e e' , conforme ilustrado pelo gráfico na Figura 4.5 e na Figura 4.6 a seguir, em que o gráfico está acompanhado de uma Tabela interpretativa de propriedades.

Os solos finos tropicais podem apresentar comportamento laterítico e não laterítico. Desta forma a classificação MCT determinou duas classes, a classe L, solos de comportamento laterítico e a classe N, solos de comportamento não laterítico.

De acordo com Nogami e Villibor (1995), nos grupos compreendidos a classe L, os solos apresentam elevada porosidade aparente natural, são muito plásticos ou pouco plásticos e apresentam baixa resistência e baixa capacidade de suporte em condições naturais, porém quando compactados, adquire elevada capacidade de suporte e resistência, possuem também alto módulo de resiliência e baixa permeabilidade; os grupos compreendidos a classe N, abrange solos saprolíticos e solos superficiais, os solos saprolíticos são apresentados em grande diversidade, pois podem ser muito plásticos e expansivos, podem ter baixa capacidade de suporte e ser altamente erodíveis ou até apresentar materiais mais granulares com capacidade de suporte alta e não erodíveis; os solos superficiais não lateríticos, já apresentam comportamento muito diferente pois podem ter propriedades e comportamento similar aos solos não tropicais a não ser que sejam ricos em matéria orgânica.

Os mesmos autores citados no parágrafo anterior serão referência para a descrição dos grupos de classe N, grupos NA, NA', NS, NG, e L, grupos LA, LA', LG, a seguir:

Grupo NA (areias, siltes e misturas de areias e siltes não lateríticos): são representados por solos saprolíticos, compreendem areias, siltes e misturas de areias e siltes, com grãos constituídos de *quartzo* e *mica*. As areias e siltes de *quartzo* não são expansivas ou são poucos expansivos, enquanto as variedades micáceas podem ser muito expansivas; quando compactos podem ter capacidade de suporte pequena ou média, no entanto são muito erosivos.

Grupo NA' (misturas de areia quartzosas com finos não laterítico): são representados por solos saprolíticos originados de rochas ricas em quartzo (granito, gnaisses, arenitos e quartzitos), compreendem areias misturadas com finos de comportamento não laterítico, podem ser muito apropriados para o uso em base de pavimento, contudo se

apresentarem características contrárias ou se em sua fração areia/silte conter mica e/ou microcristais de caulinita e/ou haloisita podem ser inapropriados; é válido determinar sua capacidade de suporte e expansão.

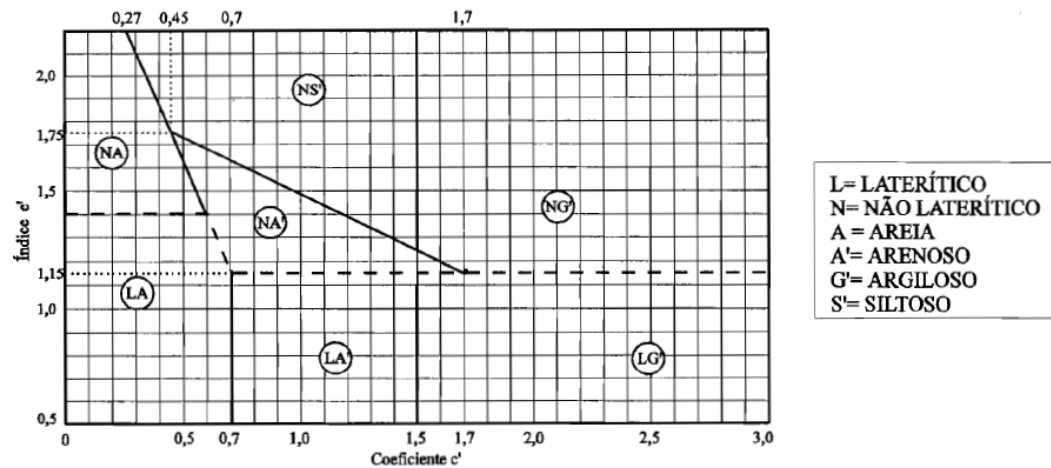
Grupo NS' (solo siltoso não laterítico): são representados pelos solos saprolíticos silto-arenosos, em condições naturais têm baixa massa específica aparente seca, podem ser colapsíveis e de baixa capacidade de suporte; quando compactados na umidade ótima e massa específica aparente máxima apresentam baixa capacidade de suporte imerso em água, baixo módulo de resiliência, elevada erodibilidade e expansibilidade.

Grupo NG (solo argiloso não laterítico): são representados pelos solos saprolíticos argilosos, ao serem compactados se comportam como argilas muito plásticas e expansivas.

Grupo LA (areia laterítica quartzosa): são areias com porcentagem finos de comportamento laterítico muito baixa, quando compactados apesar de possuírem elevada capacidade de suporte e módulo de resiliência, podem ser permeáveis, pouco coesivos e de baixa contração.

Grupo LA' (solo arenoso laterítico): solos arenosos constituintes do horizonte B, pedologicamente chamados de latossolos arenosos e solos podzólicos ou podzolizados arenosos, em condições naturais possuem baixa massa específica aparente seca, baixa capacidade de suporte e podem ser colapsíveis por imersão em água, quando compactados apresentam elevada capacidade de suporte, módulo de resiliência, baixa permeabilidade, pequena contração por perda de umidade, razoavelmente coeso e pequena expansibilidade por imersão em água, indicado para uso em camada de pavimento.

Grupo LG' (solo argiloso laterítico): são argilas e argilas arenosas, também chamadas pedologicamente por solos latossolos ou poszólicos e terras roxas estruturadas. Se apresentarem relativa porcentagem de areias podem apresentar propriedades semelhantes aos solos de grupo LA', mas com menor capacidade de suporte e massa específica aparente seca, maior umidade ótima, valor menor de módulos de resiliência, maior contração por perda de umidade e maior resistência à erosão hidráulica.



GRANULOMETRIAS TÍPICAS			argilas siltes (q,s)	areias siltosas	siltes (k,m) siltes arenosos	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltes argilosos	areias siltosas	areias argilosas	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltes argilosos
Designações do T1-71 do DER-SP (equivalentes da Mississipi River- Commission, USA)									
k=caolínfíctico s= sericfíctico	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

Figura 4.6 – Gráfico de Classificação de solo MCT e dados diversos

Fonte: NOGAMI, J. S; VILLIBOR, D. F (1995, p. 90)

4.3 MÉTODO EXPEDITO DA CLASSIFICAÇÃO MCT– PASTILHAS

Os métodos para classificação dos solos tropicais continuam sendo estudados e aprimorados; em decorrência da classificação MCT foi desenvolvido o Método Expedito da

Classificação MCT em Pastilhas por dois pesquisadores professores da Escola Politécnica da USP: prof. Job Nogami e profa. Vera Cozzolino, que consiste numa simplificação dos procedimentos dos ensaios da metodologia MCT, utilizando menor quantidade de amostra e equipamentos mais simples. O método resume-se na avaliação preliminar das propriedades de pastilhas de solos de pequenas dimensões, moldadas em anéis de 20 mm de diâmetro e 5 mm de altura com a fração de solos passante na peneira 0,42 mm. O objetivo do ensaio é obter a classificação MCT para solos de forma mais simples e rápida. (NOGAMI; VILLIBOR, 1994b)

Estes ensaios em geral compreende à observação visual-táctil que torna possível avaliar propriedades geotécnicas de resistência, deformabilidade e permeabilidade dos solos, através das características de contração pela perda de umidade, expansão pela reabsorção de água, resistência pela penetração. (GODOY; BERNUCCI, 2002)

Apesar das várias propostas de modificação e aprimoramento da metodologia MCT Expedita das Pastilhas, todas em geral consistem na intensa espatulação de aproximadamente 30 g de solo da fração que passa na peneira 0,42 mm e 2,00 mm, sob a adição de água até obter uma pasta caracterizada por uma penetração de 1,00 mm, com auxílio de uma espátula molda-se em anéis de 20 mm de diâmetro uma porção da pasta, deixando secar ao ar ou em estufa. Após a secagem é feita a medida da contração das pastilhas e depois as mesmas são submetidas a reabsorção de água e é medido a sua consistência através da penetração determinada pelo uso de um minipenetrômetro. (NOGAMI; VILLIBOR, 1994a, 1994b, 2009)

A correlação dos ensaios expedito das pastilhas com o método convencional MCT é a obtenção dos coeficientes c' e e' . De acordo com Nogami e Villibor (2009), o valor da contração diametral está razoavelmente associado ao coeficiente c' através da expressão Eq. 3 para valores de contração entre 0,1 e 0,5 mm e da expressão Eq. 4 para valores de contração maior que 0,6 mm e o valor da penetração está relacionado ao coeficiente e' .

$$c' = \left[\frac{1 + \log_{10} Cd}{0,904} \right] \quad \text{Eq. 3}$$

$$c' = \left[\frac{0,7 + \log_{10} Cd}{0,5} \right] \quad \text{Eq. 4}$$

Com a obtenção destes valores é possível classificar os solos ensaiados no gráfico de classificação de solos MCT. Contudo é apresentada na Tabela 4.1 dos grupos com as relações de valores para o coeficiente c' e para penetração (p).

Tabela 4.1 – Grupos da classificação MCT em Tabela

Coeficiente c'	Penetração (mm)	Grupo MCT	Coeficiente c'	Penetração (mm)	Grupo MCT
$\leq 0,5$	$\leq 3,0$ 3,1 a 3,9 $\geq 4,0$	LA NA NA/NS'	1,4 a 1,7	≤ 2 2,1 a 3,9 ≥ 4	LA'-LG' NA'/NG'-NS' NS'-NG'
0,6 a 0,9	$\leq 2,0$ 2,1 a 3,9 $\geq 4,0$	LA-LA' NA'/NS' NS'/NA	$\geq 1,8$	≤ 2 2,1 a 3,9 ≥ 4	LG' NG' NG'
1,0 a 1,3	$\leq 2,0$ 2,1 a 3,9 $\geq 4,0$	LA' NA' NS'	Nota: Significado de - e /, - probabilidade equivalente / probabilidade decrescente		

Fonte: NOGAMI e VILLIBOR (1994a)

O método Expedito das Pastilhas tem como objetivo identificar os solos de comportamento laterítico, geralmente favoráveis em obras rodoviárias, e não lateríticos, desfavoráveis para esta finalidade, este método é preliminar e limitado, entretanto contribui e auxilia na escolha de amostras promissoras para o uso de solos típicos tropicais para pavimentação de estradas. (NOGAMI; COZZOLINO, 1985)

A classificação gráfica das pastilhas é apresentada uma Figura 4.7.

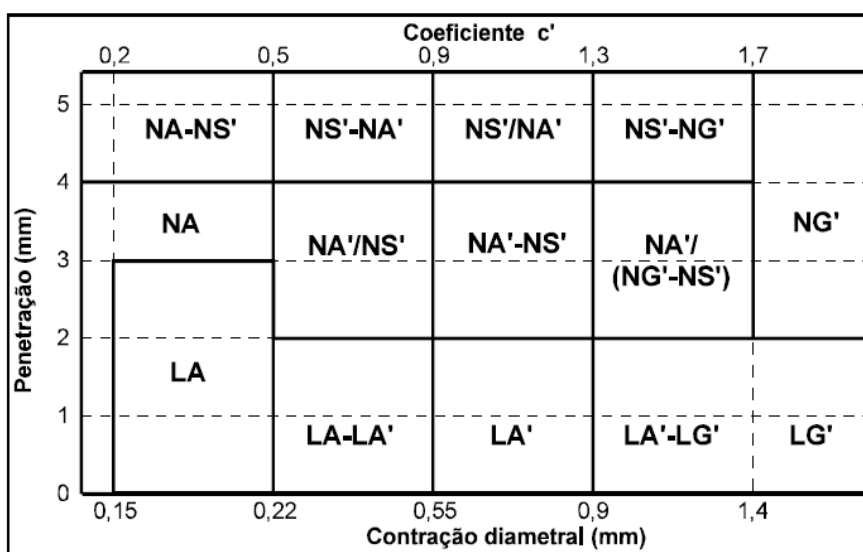


Figura 4.7 – Carta de Classificação do Método das Pastilhas

Fonte: NOGAMI; VILLIBOR (2009)

4.4 CAPACIDADE DE SUPORTE MINI-CBR

O Mini-CBR é um método de ensaio baseado em adaptações no ensaio desenvolvido no *Iowa State University*. Este foi desenvolvido em dimensões reduzidas em relação ao ensaio de *Califórnia Bearing Ratio* (CBR), o qual é utilizado com o objetivo de julgar ou determinar a resistência ou chamada capacidade de suporte das camadas estruturais de pavimentos e também utilizado para o dimensionamento das mesmas; o ensaio de CBR foi desenvolvido inicialmente pela *Division of Highways* dos Estados Unidos e é utilizado de forma bastante ampla no Brasil, ou também o método Índice de Suporte Califórnia (ISC) de mesmo caráter do ensaio de CBR. (VARGAS, 1968; NOGAMI; VILLIBOR, 1995)

O ensaio de CBR compreende a determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão no corpo-de-prova de solo compactado e a pressão necessária para produzir a mesma penetração em uma brita padronizada. (DNIT, 2006)

Conforme Nogami e Villibor (1995), embasado no ensaio desenvolvido pela *Iowa State University*, que utilizava corpos de prova com dimensões de 50 mm de diâmetro e pistão de 16 mm de diâmetro, Nogami sugeriu adaptações no mesmo método de ensaio com objetivo de correlacionar os resultados com o ensaio de CBR e devido as limitações dos procedimentos tradicionais.

Foi verificado então que o ensaio de Mini-CBR tem grande flexibilidade nas variáveis que interferem no valor de suporte, imersão ou não imersão, tipos de sobrecarga, teores de umidades variados e energias de compactação, desta forma as peculiaridades dos solos tropicais puderam ser melhor caracterizadas por este ensaio.

Para obter adequada correspondência entre os valores de Mini-CBR e os valores de CBR, Nogami, desenvolveu empiricamente uma correlação expressa pelas equações Eq. 5 e Eq. 6.

$$\log_{10}(\text{Mini} - \text{CBR}_1) = -0,254 + 0,896 * \log_{10} C_1 \quad \text{Eq. 5}$$

$$\log_{10}(\text{Mini} - \text{CBR}_2) = -0,254 + 0,896 * \log_{10} C_2 \quad \text{Eq. 6}$$

Considerando que:

Mini-CBR_1 = valor de Mini-CBR para penetração de 2,0 mm.

Mini-CBR_2 = valor de Mini-CBR para penetração de 2,5 mm.

C_1 = valor da carga em kgf, obtido através da leitura para penetração de 2,0 mm.

C_2 = valor da carga em kgf, obtido através da leitura para penetração de 2,5 mm.

Através do procedimento de ensaio de CBR é feita a determinação da expansão dos solos com a imersão do corpo-de-prova na água, de forma similar é determinado a expansão dos solos no ensaio de Mini-CBR através da imersão do mesmo por 20 horas e algumas adaptações. Vale ressaltar que o ensaio de Mini-CBR pode ser realizado com um corpo-de-prova compactado pela metodologia de ensaio Mini-MCV ou Mini-Proctor.

5 MATERIAS E MÉTODOS

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para realização dos ensaios foram selecionadas três amostras de solos finos de características tropicais distintas provenientes da Rodovia de Tamoios (amostra 1) e do interior de São Paulo (amostras 2 e 3) e estas foram levadas para o Laboratório de Mecânica de Solos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

O objetivo foi submeter as amostras à ensaios de classificação de solos pelo método tradicional TRB e pela metodologia MCT pelo ensaio Expedito das Pastilhas, para analisar as divergências de resultados de caracterização e submeter as amostras ao ensaio de Mini-CBR para analisar o comportamento destes solos compactados.

Neste capítulo serão abordadas as metodologias de ensaios e os materiais utilizados.

5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O ensaio de análise granulométrica está embasado na NBR 7181/1984 da ABNT. Por se tratar de solos finos foi aplicada a análise granulométrica por sedimentação que tem o objetivo de indicar os percentuais retidos nas peneiras até a de nº 200 (0,075 mm) e analisar o material que passou na peneira nº 200 (0,075 mm), para obter as porcentagens de argila e de silte nesta fração. Os materiais e equipamentos utilizados foram:

- a) Peneiras de nº 10, 16, 30, 40, 50, 100, 200;
- b) Aparelho de dispersão;
- c) Provetas de vidro;
- d) Densímetro de bulbo simétrico;
- e) Béquer de vidro;
- f) Termômetro graduado;
- g) Relógio com contagem de segundo;

h) Agitador mecânico de peneiras;

Das amostras selecionadas foi tomada uma quantidade de material e passado na peneira de 2,0 mm, do material passante foi retirado aproximadamente 120 g; esse material foi transferido para um béquer e com auxílio de proveta foi misturado com defloculante. O béquer foi agitado para que o material ficasse totalmente imerso e depois permaneceu em repouso por mais que 12 horas, após este período colocou-se a mistura no aparelho de dispersão com a adição de água destilada por 15 minutos, conforme a Figura 5.1.



Figura 5.1 – Ação do aparelho de dispersão
Fonte: PRÓPRIA (2013)

A mistura foi colocada em uma proveta e enquanto obtinha uma temperatura de equilíbrio, foi frequentemente agitada para manter as partículas em suspensão. Quando a temperatura de equilíbrio foi obtida, com uma das mãos a boca da proveta foi tampada e agitada em movimento rotativo durante 1 minuto. Em seguida a proveta foi mantida em repouso sobre a mesa, e se iniciou as leituras de sedimentação, anotando a hora inicial e feita a medida por um densímetro nos intervalos de 30 segundos, 1, 2, 4, 8, 15, 30, minutos, 1, 2, 4, 7, 24 horas (Figura 5.2). Através destas leituras é possível traçar a distribuição granulométrica da fração mais fina do solo.

Após a última leitura, o material foi lavado na peneira 0,075 mm (Figura 5.3) e o material retido na peneira 0,075 mm foi levado ao peneiramento fino nas peneiras nº 10, 16,

30, 40, 50, 100, para traçar a distribuição granulométrica da fração de material não passante na peneira 0,075 mm. Todos os valores obtidos neste ensaio estão contidos no ANEXO – A.



Figura 5.2 – Densímetro e mistura de solo na proveta
Fonte: PRÓPRIA (2013)



Figura 5.3 – Material lavado na peneira de 0,075 mm de abertura
Fonte: PRÓPRIA (2013)

5.3 LIMITES DE ATTEBERG

Os limites de Atterberg são os Limites de Liquidez (LL) e Limites de Plasticidade (LP). Para realização destes ensaios e descrição a seguir foram utilizadas a NRB 6459/1984 para LL e NBR 7180/1984 para LP. Com a determinação dos valores de limite de liquidez e de plasticidade foram calculados os Índices de Plasticidade pela diferença do LL e LP para cada amostra.

5.3.1 LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)

No ensaio de Limite de Liquidez foram utilizados os materiais e equipamentos descritos a seguir:

- a) aparelho para determinação do limite de liquidez de acordo com as condições exigidas pela norma (Aparelho de Casagrande);
- b) balança com resolução de 0,01g;
- c) cinzel nas condições exigidas pela norma;
- d) estufa de secagem das amostras;
- e) espátula de lâmina metálica;
- f) cápsula de porcelana; e
- g) recipientes para armazenamento da amostra na estufa.



Figura 5.4 – Aparelho de Casagrande (à esquerda) e Cinzeis
Fonte: PRÓPRIA (2013)

As amostras separadas foram colocadas nas cápsulas de porcelana e com a adição de água deu-se início ao processo de amassamento com a espátula continuamente até obter uma massa homogênea, esse processo foi feito durante aproximados 20 minutos. Após esse processo uma quantidade de material é espalhada na concha desencaixada do aparelho de determinação de limite de liquidez. Moldada a massa de solo na concha com espessura próxima a 10 mm, dividiu-se a parte central da massa em duas partes com auxílio do cinzel formando a ranhura (Figura 5.5).

Encaixada novamente a concha no aparelho, iniciou-se o processo de golpes contra a base, os golpes foram interrompidos quando as bordas da ranhura se uniram em aproximados 1,3 cm de comprimento. Uma pequena quantidade do trecho da união foi transferida para um recipiente de armazenamento, estes foram pesados e encaminhados a estufa de secagem para posterior a secagem total fosse determinado o teor de umidade.



Figura 5.5 – Concha com massa de solo e a ranhura
Fonte: PRÓPRIA (2013)

O restante do material ainda na concha foi devolvido à cápsula de porcelana, adicionado água e homogeneizado com a espátula novamente e assim repetiu se os procedimentos de golpes. Este processo foi feito 5 vezes com objetivo de obter 5 pontos com teores de umidades distintos.

Após a secagem do material levado a estufa foi realizada a pesagem e calculado o teor de umidade pelos pesos do material úmido e seco; com o teor de umidade de cada ponto e o valor de golpes que a ranhura se uniu foi traçado um gráfico para cada amostra e obtido na altura de 25 golpes o valor do Limite de Liquidez de cada amostra.

Os resultados, dados e gráficos coletados durante o procedimento de ensaio é apresentado no ANEXO - B.

5.3.2 LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)

No ensaio de Limite de Plasticidade foram utilizados os materiais e equipamentos descritos a seguir:

- a) gabarito cilíndrico para comparação nas dimensões de 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento;
- b) balança com resolução de 0,01g;
- c) placa de vidro para moldagem do corpo-de-prova;
- d) estufa de secagem das amostras;
- e) espátula de lâmina metálica;
- f) cápsula de porcelana; e
- g) recipientes para armazenamento da amostra na estufa.

As amostras separadas foram colocadas nas cápsulas de porcelana e com a adição de água deu-se início ao processo de amassamento com a espátula continuamente até obter uma massa homogênea, esse processo foi feito durante aproximados 20 minutos, assim como realizado no limite de liquidez.

Uma pequena quantidade de material foi retirada da massa de solo homogeneizado e moldado uma esfera, esta foi rolada sobre a placa de vidro com pressão das mãos até formar um cilindro aparentemente semelhante ao gabarito, nestas condições quando o cilindro atingindo a aparência do gabarito fragmentou ou apresentou rachaduras, foi transferido para o recipiente de armazenamento que após pesado foi levado para secagem na estufa. Este procedimento foi repetido para cada amostra três vezes (Figura 5.6).

Após a secagem do material levado a estufa foi realizada a pesagem e calculado o teor de umidade pelos pesos do material úmido e seco; o valor do limite de plasticidade foi determinado com a média dos teores de umidade de cada ponto obtido. A Figura 5.7 mostra o material recolhido para secagem.



Figura 5.6 – Massa de solo moldada e gabarito para ensaio de Plasticidade

Fonte: PRÓPRIA (2013)



Figura 5.7 – Massa na cápsula de armazenamento para secagem para ensaio de Plasticidade

Fonte: PRÓPRIA (2013)

Os resultados e dados coletados durante o procedimento de ensaio é apresentado no ANEXO - B.

5.4 MÉTODO EXPEDITO DAS PASTILHAS

A classificação MCT pelo método das pastilhas é caracterizada pela forma simples e objetiva de execução do ensaio em comparação com a metodologia MCT convencional. O procedimento descrito a seguir, utilizado na execução em laboratório é o apresentado por Nogami e Villibor (1994b).

Os materiais utilizados foram:

- a) anéis de aço inox de 20 mm de diâmetro e 5 mm de altura;
- b) cápsula de porcelana;
- c) placa de vidro para moldagem do corpo-de-prova;
- d) espátula de lâmina metálica;
- e) balança com resolução de 0,01g;
- f) paquímetro;
- g) minipenetrômetro;
- h) filtro de papel;
- i) pedra porosa em placa com 5 mm de espessura, permeabilidade de cerca de 10^{-2} cm/s, capaz de manter pressão negativa de cerca de 5 mm na superfície;
- j) peneira com abertura de 0,42 mm;
- k) água destilada;
- l) fio rasador.

A preparação das amostras se deu pelo peneiramento do material na peneira de abertura 0,42 mm; aproximadamente 30 g de material foi umedecido e espatulado energicamente por cerca de 15 minutos sobre a placa de vidro para formação de uma pasta de solo com consistência próxima para atingir 1 mm de penetração.

Após obtenção da pasta na consistência ideal (penetração de 1 mm), uma porção da pasta foi usada para moldagem das pastilhas nos anéis de aço inox preenchendo-as completamente. Na moldagem o excesso de material é retirado com um fio rasador (Figura 5.8). Foram moldadas para cada amostra de solo três corpos de pastilhas. As três pastilhas de cada amostra foram armazenadas para secagem ao ar.



Figura 5.8– Moldagem do solo nos anéis de 20 mm de diâmetro

Fonte: PRÓPRIA (2013)

Com as pastilhas devidamente secas, efetuou-se as medidas de contração com o auxílio do paquímetro (Figura 5.9). Foram feitas três medidas em cada pastilha para cálculo da média. Para fins de valor de contração da amostra foi adotada a média da contração adotada para cada pastilha.



Figura 5.9– Medidas de Contração com Paquímetro

Fonte: PRÓPRIA (2013)

Posteriormente, as pastilhas foram transferidas para placa de pedra porosa saturada, recoberta com filtro de papel; e ali permaneceram em repouso com o nível de água constante por pelo menos 2 horas para reabsorção completa (Figura 5.10). Terminada reabsorção efetuou-se a medida de penetração dos corpos com o minipenetrômetro, foram feitas 3 medidas e calculada uma penetração média (Figura 5.11).



Figura 5.10 – Reabsorção de água das pastilhas na placa porosa
Fonte: PRÓPRIA (2013)



Figura 5.11 – Pastilha após a penetração
Fonte: PRÓPRIA (2013)

Obtidos os valores de contração e penetração, seguiu-se com os cálculos do coeficiente c' pela fórmula apresentada no capítulo 4. Os resultados dos ensaios pelo método das pastilhas e a classificação MCT são apresentadas no capítulo 5 e o dados de ensaio estão no ANEXO - C.

5.5 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO E DE MINI-CBR

O ensaio de Mini-CBR é o ensaio de CBR em dimensões reduzidas e com adaptações para melhor representar a capacidade de suporte dos solos ensaiados nas condições de compactação dos solos em campo. Para o ensaio de mini-CBR a metodologia de

moldagem de corpo-de-prova compactado foi o Mini-Proctor, conforme o que preconiza a norma DNER-ME 228/94 – Solos – compactação em equipamento miniatura; através deste ensaio é traçado uma curva de compactação e as condições de umidade ótima e massa específica foi a utilizada para obtenção do valor de mini-CBR conforme o que preconizado a norma DNER-ME 254/94 – Solos – compactados em equipamento miniatura – Mini-CBR e expansão.

5.5.1 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO – MINI PROCTOR

O ensaio de Mini – Proctor foi utilizado para obter as curvas de compactação de cada amostra, a umidade ótima e a massa específica aparente seca. O ensaio foi executado em energia normal e conforme a norma DNIT – ME 228-94 é descrito o procedimento a seguir. Os materiais e equipamento utilizados foram:

- a) Compactador miniatura, com extensômetro e extrator de alavanca;
- b) Armação constituída de base, placas superior e inferior;
- c) Soquetes cilíndricos de aço de 2,27 kg e 4,54 kg e de diâmetro de 49,8 mm;
- d) Moldes cilíndricos de compactação de 50 mm de diâmetro interno;
- e) Anéis de vedação com 50 mm de diâmetro;
- f) Espaçadores de aço com altura de 70 mm tipo meia cana;
- g) Assentador cilíndrico com 49 mm de diâmetro;
- h) Dispositivo para medida de altura de corpo-de-prova provido de extensômetro;

As amostras foram preparadas e da parte passante na peneira 2 mm foi separado 5 porções de solos nas quais foram adicionado água de forma que a umidade fosse crescente a cada porção, depois as amostras foram homogeneizadas e armazenadas em repouso por 24 horas. Os equipamentos de compactação foram preparados conforme a norma citada e as frações de solo foram pesadas e despejadas no molde, com auxílio de assentador nivelou-se o solo dentro do molde; sobre o topo da porção colocou-se o disco de polietileno e o anel de vedação (Figura 5.12).

Desta forma foi feita a compactação obedecendo aos 5 (cinco) golpes com energia normal com o corpo-de-prova em posição normal e invertido. Em seguida mediram-se as leituras do extensômetro e calculou-se a altura de corpo-de-prova, quando a altura do corpo-de-prova apresentava-se dentro da faixa de 50 ± 1 mm o corpo-de-prova era extraído e prosseguia-se para o próximo corpo-de-prova, caso contrário repetia-se a compactação.

Com o solo que restou do armazenamento foi determinado o teor de umidade e calculada as massas específicas. Em seguida foi traçado um gráfico de umidade ótima e massa específica para cada amostra.

Todos os dados e curvas de compactação estão apresentados no ANEXO - D



Figura 5.12 – Corpo de prova sendo preparado para compactação

Fonte: PRÓPRIA (2013)

5.5.2 ENSAIO DE MINI CBR

O procedimento de ensaio realizado e descrito seguiram a norma DNER-ME 254/97. A metodologia MCT permite a determinação da capacidade de suporte pelo método do Mini-CBR com imersão e sem imersão, nesta pesquisa foi adotado o procedimento por imersão para todas as amostras. Os materiais utilizados foram:

- a) Pistão de 16 mm de diâmetro e comprimento mínimo de 15 cm, acoplável a um anel dinamométrico;
- b) Cronômetro;
- c) Prensa similar à especificada na Norma DNER-ME 049/94;
- d) Papel de filtro;
- e) Dispositivo provido de um extensômetro com precisão de 0,01 mm.
- f) Tanque de água que comporte os corpos de prova e tenha esvaziamento e enchimento contínuo;
- g) Sobrecarga anelar, metálica, diâmetro externo de 49 mm, furo central de diâmetro de 18 mm e massa de 500 g;
- h) Balança com capacidade de 1 kg;
- i) Estufa para manter temperatura;
- j) Extrator de amostras de corpos de prova.

Com as amostra compactadas na umidade ótima e massa específica seca máxima, os corpos de prova foram deslocados para uma das extremidades do molde e sobre a placa da base da armação colocou-se um papel de filtro, por dentro do molde colocou-se outro papel de filtro e sobre este o disco perfurado, introduziu-se a sobrecarga anelar e fixou-se o conjunto. Este foi transferido para o tanque de imersão vazio e ali se mediu a primeira leitura do extensômetro (Figura 5.13). O tanque então foi preenchido com água na altura de uma lâmina de água de 5 mm acima do topo da placa superior do conjunto. Depois de imerso por 20 horas foi feita a leitura final no extensômetro. A relação da diferença entre essas medidas e da altura do corpo-de-prova inicial em porcentagem indicam a expansão do solo.



Figura 5.13 – Corpos de prova imersos no tanque para obtenção da expansão
Fonte: PRÓPRIA (2013)

Retirado o conjunto do corpo-de-prova, foi mantido em repouso por cerca de 1 hora, em seguida foi retirado os discos e assentado sobre o topo a sobrecarga anelar; o corpo-de-prova e a carga anelar foram transferidos para prensa. Com o extensômetro ajustado foram realizadas medidas com penetrações em 0,25 mm, 0,5 mm, 0,75 mm, 1,00 mm, 1,25 mm, 1,50 mm, 2,0 mm, 2,5 mm, 3,0 mm, 4,00 mm, 4,5 mm e 5,0 mm (Figura 5.14).



Figura 5.14 – Corpos de prova penetrados pelo ensaio Mini-CBR
Fonte: PRÓPRIA (2013)

Com as leituras das penetrações foi encontrado os valores de Mini-CBR correspondentes para as penetrações em 2,00 mm e 2,5 mm. Todos os dados de ensaio estão apresentados no ANEXO - E.

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As três amostras selecionadas foram submetidas aos ensaios da classificação TRB que compreendem a análise granulométrica e os limites de Atterberg, à classificação MCT pelo método expedito das pastilhas e ao ensaio de Mini-CBR. O objetivo é verificar as divergências que ocorrem entre as classificações de solos abordadas e o comportamento mecânico que estes solos apresentam através do ensaio de Mini-CBR. Portanto, segue os resultados de cada classificação e o resultado do Mini-CBR.

6.2 CLASSIFICAÇÃO TRB

A classificação TRB, é uma das metodologias de classificação de solos para pavimentação muito utilizada no Brasil, é a chamada antiga classificação HRB. Esta classificação é baseada nas propriedades índices, desta forma utiliza os resultados dos ensaios de granulometria e limites de Atterberg dos solos como parâmetro em uma Tabela classificatória e utiliza também os resultados para o cálculo do Índice de Grupo (IG).

O resultado da análise granulométrica consiste no percentual de material passante em cada peneira. Para as amostras 1, 2 e 3 foram obtidos os seguintes percentuais apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Resultados da Análise Granulométrica das amostras 1, 2 e 3.

Nº PENEIRAS	<u>AMOSTRA 1</u>	<u>AMOSTRA 2</u>	<u>AMOSTRA 3</u>
	% PASSANTE		
10	100,00%	100,00%	100,00%
16	98,59%	99,27%	99,69%
30	90,27%	98,80%	99,46%
40	84,95%	96,12%	97,44%
50	81,13%	89,87%	91,84%
100	65,56%	84,69%	83,59%
200	58,19%	70,61%	70,37%

Fonte: PRÓPRIA (2013)

Os resultados dos Limites de Atterberg são indicados pelo valor obtido no ensaio de Limite de Liquidez (LL) e no Limite de Plasticidade (LP), e pelo valor do Índice de Plasticidade (IP) calculado pela diferença do LL e do LP. Os resultados são apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Resultados dos Limites de Atterberg das amostras 1, 2 e 3.

AMOSTRA	LL	LP	IP
1	53%	23%	30%
2	47%	24%	23%
3	40%	22%	18%

Fonte: PRÓPRIA (2013)

O valor do IG é calculado pela expressão apresentada no capítulo 3 no item 3.1. Para as amostras ensaiadas nesta pesquisa os valores de IG obtidos estão descritos na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Valores de IG para amostras 1, 2 e 3.

AMOSTRA	IG
1	15,00
2	14,00
3	11,00

Fonte: PRÓPRIA (2013)

A classificação TRB é concluída com as apurações destes resultados associando a Tabela classificatória, esta pode ser observada no capítulo 3, Tabela 3.1. Os grupos para cada amostra seguem na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Classificação TRB das amostras.

AMOSTRA	TRB
1	A-7-5
2	A-7-6
3	A-6

Fonte: PRÓPRIA (2013)

6.3 CLASSIFICAÇÃO MCT – MÉTODO EXPEDITO DAS PASTILHAS

A classificação MCT pelo método das Pastilhas oferece uma classificação preliminar que contribui para identificação de solos de comportamento laterítico ou não laterítico e auxilia na escolha de amostras de materiais para emprego em obras de pavimentação.

O ensaio desta metodologia consistiu na moldagem da amostra em anéis de 20 mm de diâmetro, submetidos a secagem e a reabsorção de água com objetivo de analisar propriedades de contração e expansão do material, além da observação visual-táctil do material. Os resultados correspondem ao valor de contração diametral e de penetração expresso em milímetros e do cálculo do coeficiente c' .

A identificação visual-táctil das amostras foi obtida conforme a Tabela 6.5. Os resultados do ensaio das pastilhas e a classificação das amostras pela MCT são apresentados na Tabela 6.6.

Tabela 6.5 – Identificação Visual-Táctil das amostras.

AMOSTRA	VISUAL- TACTIL
1	SILTOSO
2	ARENOSO
3	ARGILOSO - ARENOSO

Fonte: PRÓPRIA (2013)

Tabela 6.6 – Resultados Método das Pastilhas.

AMOSTRA	PENETRAÇÃO (mm)	CONTRAÇÃO (mm)	C'	CLASSE MCT
1	5	0,85	1,259	NS'/NA'
2	0,5	1,03	1,426	LA'/LG'
3	0,65	1,04	1,434	LA'/LG'

Fonte: PRÓPRIA (2013)

O Gráfico de Classificação MCT pelo Método das Pastilhas contribui para visualização dos resultados, na Figura 6.1 segue o gráfico de Classificação MCT para os resultados obtidos nesta pesquisa.

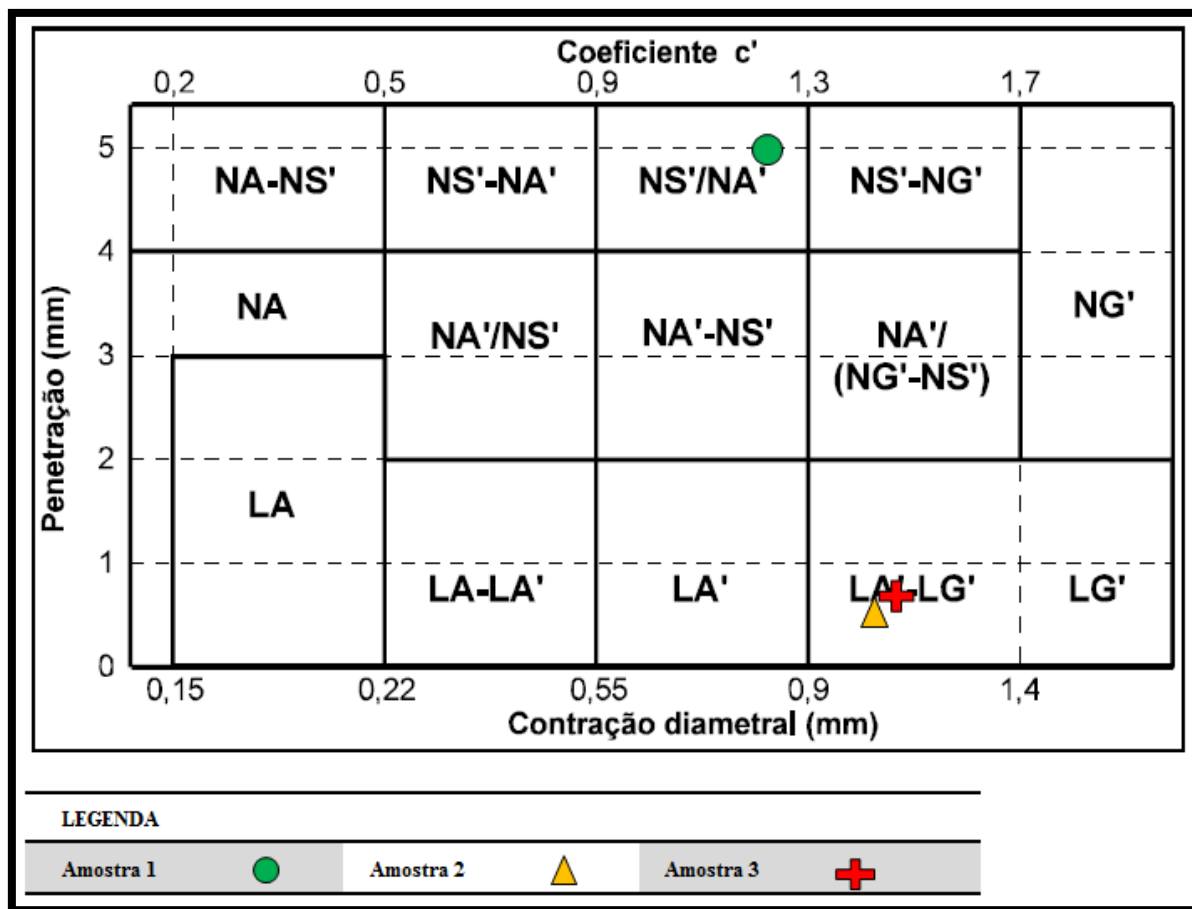


Figura 6.1 – Resultado Gráfico da Classificação MCT - Pastilhas.

Fonte: PRÓPRIA (2003)

6.4 MINI-CBR

O ensaio de Mini-CBR permite analisar a resistência mecânica que os solos ensaiados podem oferecer quando compactado no campo, além de verificar a expansão dos mesmos. Para obras rodoviárias este ensaio é essencial para o controle de execução e para o dimensionamento das camadas. Com o ensaio de Mini-CBR das amostras foi possível verificar e associar a classificação geotécnica das amostras e o comportamento mecânico previsto pelo Mini CBR. Os resultados obtidos seguem na Tabela 6.7 para valor de umidade ótima e massa específica aparente seca (condições de ensaio), Tabela 6.8 para resultados de expansão e a Tabela 6.9 para o cálculo do valor de Mini-CBR.

Tabela 6.7 – Valores de umidade ótima e massa esp. apar. seca.

AMOSTRA	W_{ótima} (%)	Massa esp. apar. Seca (g/cm³)
1	24,0%	1,73
2	24,0%	1,70
3	20,5%	1,85

Fonte: PRÓPRIA (2013)

Tabela 6.8 – Resultados de Expansão.

AMOSTRA	EXPANSÃO
1	1,30%
2	0,35%
3	1,50%

Fonte: PRÓPRIA (2013)

Tabela 6.9 – Valores de Mini-CBR.

AMOSTRA	Mini-CBR₁ - 2,00 mm	Mini-CBR₂ - 2,50 mm	Mini-CBR Adotado
1	6%	7%	7%
2	13%	13%	13%
3	7%	7%	7%

Fonte: PRÓPRIA (2013)

6.5 ANÁLISES DE RESULTADOS

As três amostras ensaiadas pelas classificações TRB e MCT apresentaram entre si as divergências esperadas. A classificação TRB colocou a amostra 1 e 2 no mesmo grupo A – 7, solos deste grupo são descritos por essa classificação como solos de alto limite de liquidez, podendo apresentar elasticidade e grande variação de volume; dentro dos sub-grupos de A-7, a amostra 1 se enquadrou no A-7-5 e a amostra 2 no A-7-6 a diferença entre eles indicada pela classificação seria o índice de plasticidade moderado no A-7-5 e alto no A-7-6. Esta classificação aponta que os solos típicos do grupo A-7 são semelhantes ao do grupo A-6 em que se enquadrou a amostra 3, os solos deste grupo geralmente são argilosos, plásticos e passam mais que 75 % na peneira nº 200, também sofrem elevada mudança de volume e altos índices de plasticidade. As três amostras são consideradas por esta metodologia como

materiais de comportamento sofrível a mau para subleito, não sendo favoráveis para utilização em obras de pavimentação.

Pela classificação MCT Expedita pelo Método das Pastilhas a amostra 1 foi classificada dentro do grupo NS'/NG', NS' solo siltoso não laterítico e NG' solo argiloso não laterítico, visualmente esta amostra indicava aspectos siltoso; estes grupos são caracterizados como solos muito plásticos e expansíveis, podendo apresentar características inapropriadas e inadequadas para utilização em obras rodoviárias, na classe NS' eles podem apresentar baixa capacidade de suporte, elevada erodibilidade e expansibilidade quando compactados.

A amostra 2, que pela classificação TRB foi agrupada junto a amostra 1, pela metodologia MCT foi classificada em um grupo de características muito diferentes da amostra 1; a classe MCT desta amostra foi a LA'/LG', LA' solo arenoso laterítico e LG' solo argiloso laterítico; isso indica que este solo apresenta as características de comportamento laterítico não identificadas na amostra 1; a amostra 3 também se encaixou nesta classe MCT; os solos deste grupo podem ser arenosos, argilosos ou argilas arenosas, apresentam quando compactados elevada capacidade de suporte, alto módulo de resiliência, baixa permeabilidade, expansão e contração; estes aspectos podem tornar os solos destas classes apropriados para utilização na construção de camadas para pavimentos em obras de estradas.

Os resultados do ensaio de Mini-CBR das amostras correlacionados as classificações geotécnicas indicam uma forma de complementar a análise do comportamento das amostras estudadas. Para amostra 1, considerada inapropriada para utilização em obras rodoviárias pela classificação TRB e MCT, o valor de expansão obtido foi 1,3% e 7% de Mini-CBR, uma expansão alta com capacidade de suporte baixa, realmente não apropriado para execução de obras de pavimentação; para amostra 2 os valores de expansão e Mini-CBR foram satisfatório, sendo eles respectivamente 0,35% e 13%, contemplando os aspectos para utilização na execução de pavimentos, a baixa expansão e maior valor de capacidade de suporte conforme a metodologia MCT e diferente do indicado pela TRB; a amostra 3 apresentou expansão alta de 1,5% e Mini-CBR mais baixo de 7%, apesar da metodologia MCT ter apontado boas indicações para esta amostra, essas características verificadas através deste ensaio não foram favoráveis.

Na Tabela 6.10 a seguir é apresentado um comparativo relacionando a previsão de comportamento dos solos ensaiados com os resultados das metodologias de classificação TRB e MCT e as características de comportamento determinado pelo ensaio de Mini-CBR.

Tabela 6.10 – Tabela comparativa entre os resultados de ensaio.

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO TRADICIONAL		CLASSIFICAÇÃO MCT		COMPORTAMENTO MECÂNICO		
	GRUPO TRB	PREVISÃO DE DESEMPENHO	CLASSE MCT	PREVISÃO DE DESEMPENHO	MINI-CBR	EXPANSÃO	CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO
1	A-7-5	RUIM	NS'/NA'	RUIM	7%	1,30%	DESAVORÁVEL
2	A-7-6	RUIM	LA'/LG'	BOM	13%	0,35%	FAVORÁVEL
3	A-6	RUIM	LA'/LG'	BOM	7%	1,50%	DESAVORÁVEL

Fonte: PRÓPRIA (2013)

7 CONCLUSÃO, COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos foi possível verificar e constatar que para caracterização de solos típicos tropicais, a classificação tradicional TRB apresentou divergências com relação à metodologia MCT, apropriada para estes solos; observou-se que a classificação TRB, não é adequada para caracterização destes solos, pois pode classificar um solo como ruim enquanto este pode ser muito bom, diferente das indicações obtidas pela classificação MCT, que mostrou correspondência entre os resultados da classificação das amostras com o ensaio de capacidade de suporte.

7.2 COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES

A amostra 3 apresentou valor alto de expansão e baixo de Mini-CBR, não favoráveis para construção de pavimentos e na classificação MCT foi agrupado como solo de classe LA'/LG', em que os solos possuem caráter favoráveis para fins de obras de pavimentação, em vista disto recomenda-se refazer os ensaios da metodologia MCT pelas Pastilhas, o ensaio de Mini-CBR e o ensaio de Mini-MCV para confirmar a classificação MCT a fim de constatar as características da amostra e obter uma conclusão sobre o comportamento geotécnico da mesma.

Verificou-se também que a metodologia MCT Expedita pelo Método da Pastilha foi um bom indicador inicial para classificação MCT, pois apesar de preliminar esta metodologia pode auxiliar na identificação inicial de solos tropicais de comportamento laterítico ou não laterítico.

Recomenda-se também dar continuidade a pesquisa analisando um número maior de amostras para se obter uma comparação mais apurada, além de acrescentar às análises a classificação MCT pelo método do Mini-MCV, e para valores de resistência e comportamento mecânico, o ensaio de módulo de resiliência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

_____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projeto e Restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI, L. B. **Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego**. 237 p. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, São Paulo – SP, 1995.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Relatório Pesquisa CNT de Rodovias 2012**. Brasília: CNT, 2012. 408 p. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Relatorios/2012/RelatorioGeral2012_BaixaResolucao.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2013.

_____. **Atlas do Transporte**. Brasília: CNT, 2006. Disponível em: <<http://www.sistemacnt.org.br/informacoes/pesquisas/atlas/2006/index.htm>>. Acesso em: 9 abr. 2013.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 254/97**: Solos compactados em equipamento miniatura – Min-CBR e expansão. Método de Ensaio. 14 p.

_____. **DNER- ME 228/94**: Solos – compactação em equipamento miniatura. Método de Ensaio.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

GODOY, H; BERNUCCI, L. B. O método das pastilhas na compreensão das propriedades geotécnicas básicas dos solos: um recurso didático. Anais XVI ANPET, Natal – RN. V.1, p. 145-156.

MOURA, E. M; SANT'ANA, W. C; BERNUCCI, L. B. M-MCV Simplificado – Cálculo do Coeficiente C': Uma abordagem Didática. In: Reunião Anual de Pavimentação, 37; Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, 11., 2006. **Anais ABPv**, Goiânia, 2006.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Arte e Ciência, 1995. 240 p.

VILLIBOR, D. F. et al. A importância dos Solos tropicais. In: Reunião de Pavimentação Urbana, 7.1996. São José dos Campos, 1996.

NOGAMI, J.S; VILLIBOR, D. F. Os solos Tropicais Lateríticos e Saprolíticos e a Pavimentação. In: Reunião Anual de Pavimentação, 18., 1983. **Anais ABPv**, Porto Alegre, 1983. p. 463 – 484.

NOGAMI, J.S; VILLIBOR, D. F. Ampliação do Uso da Metodologia MCT no estudo dos Solos Tropicais para Pavimentação. In: Reunião Anual de Pavimentação, 28.1994a. **Anais ABPv**, Belo Horizonte, 1994a. p. 183-209.

NOGAMI, J.S; VILLIBOR, D. F. Uma nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias. **Anais do Simpósio de Solos Tropicais em Engenharia, COPE/UFRJ**, 3., Rio de Janeiro, 1981. p. 30-40.

NOGAMI, J.S; VILLIBOR, D. F. Nova Metodologia MCT de estudo geotécnicos e suas aplicações em Rodovias Vicinais. **SENAVI**, 1., São Paulo, 1988.

NOGAMI, J.S; VILLIBOR, D. F. Modificações Recentes na Classificação Geotécnica MCT. In: Reunião Anual de Pavimentação, 34.2003. **Anais ABPv**, Campinas, 2003. p. 45-68.

NOGAMI, J.S; VILLIBOR, D. F. Caracterização e Classificação Gerais de Solos Para Pavimentação: Limitações do Método Tradicional, Apresentação de Uma Nova Sistemática. In: Reunião Anual de Pavimentação, 15., 1980. **Anais ABPv**, Belo Horizonte, 1980.

NOGAMI, J.S; VILLIBOR, D. F. Identificação Expedita dos Grupos de Classificação MCT para Solos Tropicais. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundação, 10. **Anais do COBRAMSEF-ABMS**. Foz do Iguaçu, 1994b.

NOGAMI, J. S.; COZZOLINO, V. M. N. A identificação de solos tropicais: dificuldades e proposta de um método preliminar. In: Reunião Anual de Pavimentação, 20., 1985. **Anais ABPv**, Fortaleza, p. 115 -134.

SENÇO, W. DE. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. Volume 1.

SANTOS, E. F. **Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas de Classificações Geotécnicas Aplicadas aos Solos Tropicais**. 2006. 145 p. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. Universidade de São Paulo. São Paulo: MCgraw-Hill do Brasil, 1977.

VARGAS, M. **Mecânica dos Solos**. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo: 1968. 203 p.

VARGAS, M. The Concept of Tropical Soils. In: First International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, 1985, Brasília. **TropicalLS' 85**. São Paulo: Édile, 1985.

VILLIBOR, D. F. et al. **Pavimentos de Baixo Custo de Vias Urbanas**. 2. ed. São Paulo: Arte e Ciência Editora, 2009. 196 p.

VILLIBOR, D. F; NOGAMI, J. S. **Pavimentos Econômicos: Tecnologia do uso dos Solos Finos Lateríticos**. São Paulo: Arte e Ciência Editora, 2009. 291 p.

ANEXO – A

ENSAIO DE GRANULOMETRIA POR SEDIMENTAÇÃO

ENSAIO DE GRANULOMETRIA POR SEDIMENTAÇÃO
AMOSTRA 1

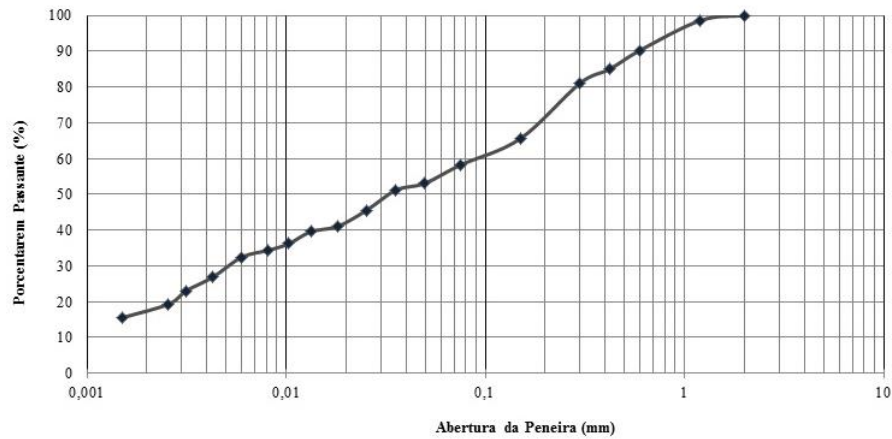
SEDIMENTAÇÃO

TEMP. °c	INTERVALO DE TEMPO	HORA	LEITURA	ALTURA DE QUEDA	CORREÇÃO (D L)	L. CORREGIDA (Lc)	$\gamma \alpha$	DIAMETRO DOS GRÃOS f (mm)	Q % < f
26,0	30 seg.	14:20:30	29,00	7,00	0,70	28,30	0,9979	0,0497	53,05
26,0	1 min.	14:21:00	28,00	7,20	0,70	27,30	0,9979	0,0356	51,18
26,0	2	14:22:00	25,00	7,30	0,70	24,30	0,9979	0,0254	45,55
26,0	4	14:24:00	22,60	7,50	0,70	21,90	0,9979	0,0182	41,06
26,0	8	14:28:00	21,80	8,00	0,70	21,10	0,998	0,0133	39,56
26,0	15	14:35:00	20,00	9,00	0,70	19,30	0,998	0,0103	36,18
26,0	30	14:50:00	19,00	11,00	0,70	18,30	0,998	0,0081	34,31
26,0	1 hora	15:20:00	18,00	12,00	0,70	17,30	0,9981	0,0060	32,44
26,0	2	16:20:00	15,00	12,00	0,70	14,30	0,9982	0,0043	26,81
26,0	4	18:20:00	13,00	13,00	0,70	12,30	0,9983	0,0032	23,06
26,0	7	20:20	11,00	15,00	0,70	10,30	0,9983	0,0026	19,31
26,0	24,27	14:36	9,00	18,00	0,70	8,30	0,9984	0,0015	15,56
DENSIMETRO Nº 78516			DENSIDADE DOS GRÃOS (δ) = 2,686			% DE MAT. PASSADO # 10 (a) = 100,00		$\Theta = \frac{\delta}{(\delta - \gamma \alpha)} \cdot \frac{a}{P_s} \cdot Lc$	

PENEIRAMENTO FINO

Massa de Solo (g) =				84,88
# Peneira	Abertura da Peneira	PESO DA AMOSTRA		% PASSANTE
		Retido	Passante	
10	2,00	0,00	84,88	100,00%
16	1,20	1,20	83,68	98,58%
30	0,60	0,84	84,04	99,01%
40	0,42	12,77	72,11	84,95%
50	0,30	16,02	68,86	81,12%
100	0,15	29,23	55,65	65,56%
200	0,075	35,49	49,39	58,19%

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRIA



ENSAIO DE GRANULOMETRIA POR SEDIMENTAÇÃO
AMOSTRA 2

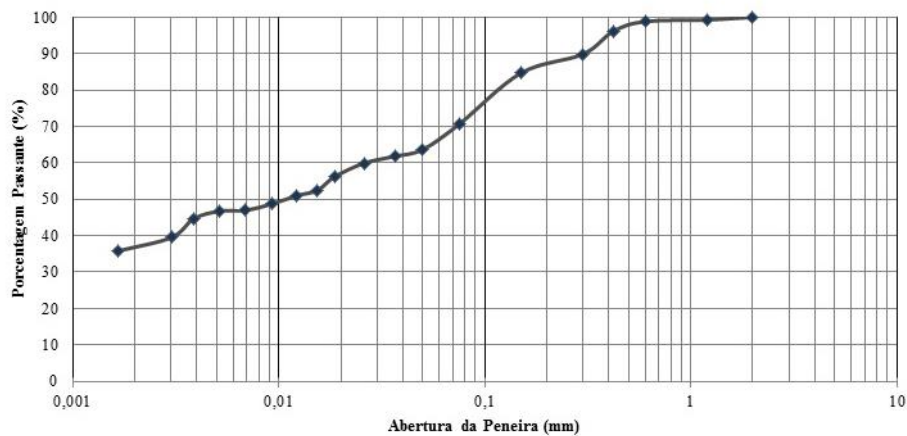
SEDIMENTAÇÃO

TEMP. °c	INTERVALO DE TEMPO	HORA	LEITURA	ALTURA DE QUEDA	CORREÇÃO (D L)	L. CORREGIDA (Lc)	$\gamma \alpha$	DIAMETRO DOS GRÃOS f (mm)	Q % < f
26,0	30 seg.	14:20:30	35,00	7,20	0,70	34,30	0,9979	0,0498	63,62
26,0	1 min.	14:21:00	34,00	7,75	0,70	33,30	0,9979	0,0365	61,76
26,0	2	14:22:00	33,00	7,80	0,70	32,30	0,9979	0,0259	59,91
26,0	4	14:24:00	31,00	8,10	0,70	30,30	0,9979	0,0187	56,20
26,0	8	14:28:00	29,00	11,00	0,70	28,30	0,998	0,0154	52,49
26,0	15	14:35:00	28,20	13,00	0,70	27,50	0,998	0,0123	51,01
26,0	30	14:50:00	27,00	15,00	0,70	26,30	0,998	0,0093	48,78
26,0	1 hora	15:20:00	26,00	16,00	0,70	25,30	0,9981	0,0068	46,93
25,9	2	16:20:00	25,90	18,00	0,70	25,20	0,9982	0,0052	46,75
25,9	4	18:20:00	24,80	20,00	0,70	24,10	0,9983	0,0039	44,71
25,8	7	20:20	22,00	21,00	0,70	21,30	0,9983	0,0030	39,52
25,7	24,27	14:36	20,00	22,00	0,70	19,30	0,9984	0,0017	35,81
DENSIMETRO Nº	78516			DENSIDADE DOS GRÃOS (δ) =	2,725	% DE MAT. PASSADO # 10 (a) =	100,00	$\Theta = \frac{\delta}{(\delta - \gamma \alpha)}$	$\frac{a}{P_s} \cdot L_c$

PENEIRAMENTO FINO

		Massa de Solo (g) =		85,06
# Peneira	Abertura da Peneira	PESO DA AMOSTRA		% PASSANTE
		Retido	Passante	
10	2,00	0,00	85,06	100,00%
16	1,20	0,62	84,44	99,27%
30	0,60	1,02	84,04	98,80%
40	0,42	3,30	81,76	96,12%
50	0,30	8,62	76,44	89,87%
100	0,15	13,02	72,04	84,69%
200	0,075	25,00	60,06	70,61%

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



ENSAIO DE GRANULOMETRIA POR SEDIMENTAÇÃO
AMOSTRA 3

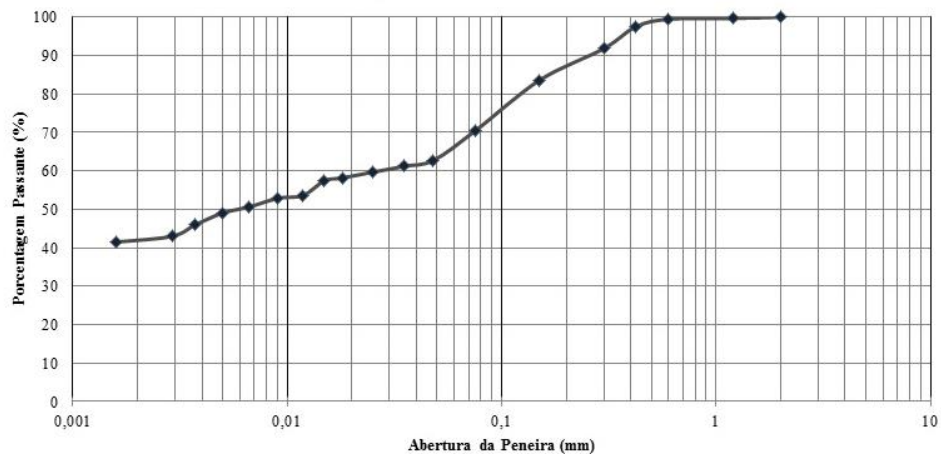
SEDIMENTAÇÃO

TEMP. °C	INTERVALO DE TEMPO	HORA	LEITURA	ALTURA DE QUEDA	CORREÇÃO (DL)	L. CORREGIDA (Lc)	γa	DIAMETRO DOS GRÃOS f (mm)	Q % < f
26,0	30 seg.	14:20:30	42,00	7,20	0,70	41,30	0,9979	0,0480	62,72
26,0	1 min.	14:21:00	41,00	7,75	0,70	40,30	0,9979	0,0352	61,20
26,0	2	14:22:00	40,00	7,80	0,70	39,30	0,9979	0,0250	59,68
26,0	4	14:24:00	39,00	8,10	0,70	38,30	0,9979	0,0180	58,16
26,0	8	14:28:00	38,50	11,00	0,70	37,80	0,998	0,0149	57,41
26,0	15	14:35:00	36,00	13,00	0,70	35,30	0,998	0,0118	53,61
26,0	30	14:50:00	35,50	15,00	0,70	34,80	0,998	0,0090	52,85
26,0	1 hora	15:20:00	34,00	16,00	0,70	33,30	0,9981	0,0066	50,57
25,9	2	16:20:00	33,00	18,00	0,70	32,30	0,9982	0,0050	49,06
25,9	4	18:20:00	31,00	20,00	0,70	30,30	0,9983	0,0037	46,02
25,8	7	20:20	29,00	21,00	0,70	28,30	0,9983	0,0029	42,99
25,7	24,27	14:36	28,00	22,00	0,70	27,30	0,9984	0,0016	41,47
DENSIMETRO Nº	78516	COR. DO MENISCO		DENSIDADE DOS GRÃOS (δ) =		% DE MAT. PASSADO # 10 (a) =		$\Theta = \frac{\delta}{\delta - \gamma a} \cdot \frac{a}{P_s} \cdot L_c$	
				2,854		100,00			

PENEIRAMENTO FINO

Massa de Solo (g) =				101,25
# Peneira	Abertura da Peneira	PESO DA AMOSTRA		% PASSANTE
		Retido	Passante	
10	2,00	0,00	101,25	100,00%
16	1,20	0,31	100,94	99,69%
30	0,60	0,55	100,70	99,46%
40	0,42	2,59	98,66	97,44%
50	0,30	8,26	92,99	91,84%
100	0,15	16,62	84,63	83,59%
200	0,075	30,00	71,25	70,37%

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



ANEXO – B

ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

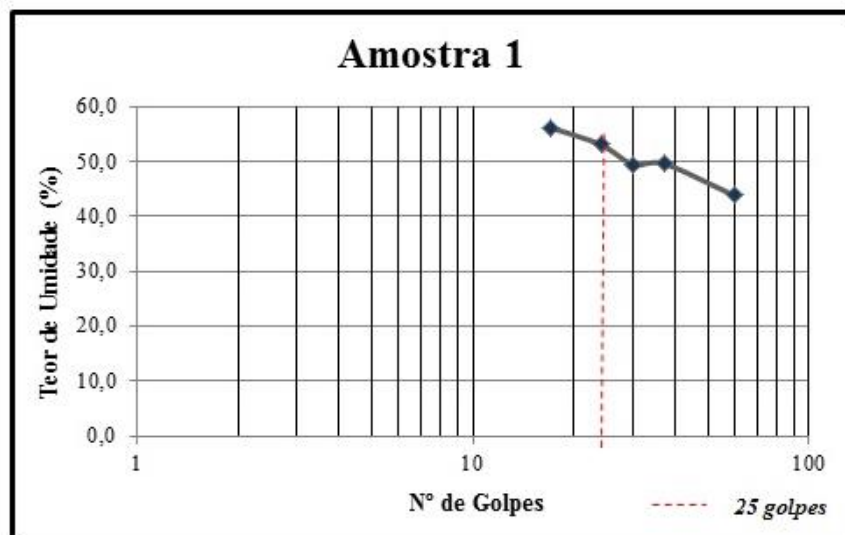
ENSAIO DE LIMITES DE LIQUIDEZ E DE PLASTICIDADE

AMOSTRA 1

LIMITE DE LIQUIDEZ

Resultado de Limite de Liquidez = **53,0%**

Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo (g)	Teor de Umidade (%)	Número de Golpes (Un.)
1	17,08	15,3	11,24	1,78	4,06	43,8	60
2	17,92	15,86	11,71	2,06	4,15	49,6	37
3	17,81	15,55	10,98	2,26	4,57	49,5	30
4	19,28	16,88	12,36	2,40	4,52	53,1	24
5	17,75	15,35	11,08	2,40	4,27	56,2	17



LIMITE DE PLASTICIDADE

Resultado de Limite de Plasticidade = **23,0%**

Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo (g)	Teor de Umidade (%)
1	13,49	12,89	11,2	0,29	1,19	24,4
2	12,6	12,19	11,24	0,33	1,35	24,4
3	14,06	13,27	11,2	0,28	1,41	19,9
4						
5						
Média						23,0

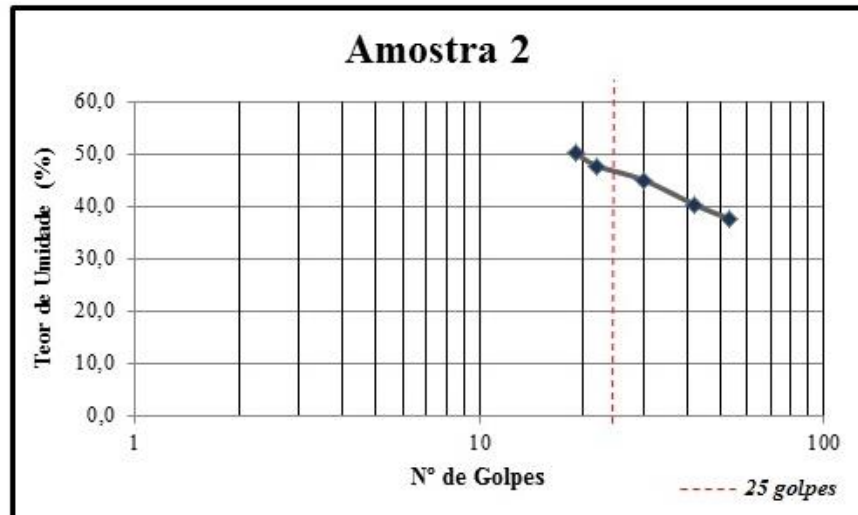
ENSAIO DE LIMITES DE LIQUIDEZ E DE PLASTICIDADE

AMOSTRA 2

LIMITE DE LIQUIDEZ

Resultado de Limite de Liquidez = 47,0%

Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo (g)	Teor de Umidade (%)	Número de Golpes (Un.)
1	29,11	24,2	11,17	4,91	13,03	37,7	53
2	18,67	16,53	11,23	2,14	5,30	40,4	42
3	17,59	15,5	10,86	2,09	4,64	45,0	30
4	17,17	15,09	10,73	2,08	4,36	47,7	22
5	20,53	17,8	12,36	2,73	5,44	50,2	19



LIMITE DE PLASTICIDADE

Resultado de Limite de Plasticidade = 24,0%

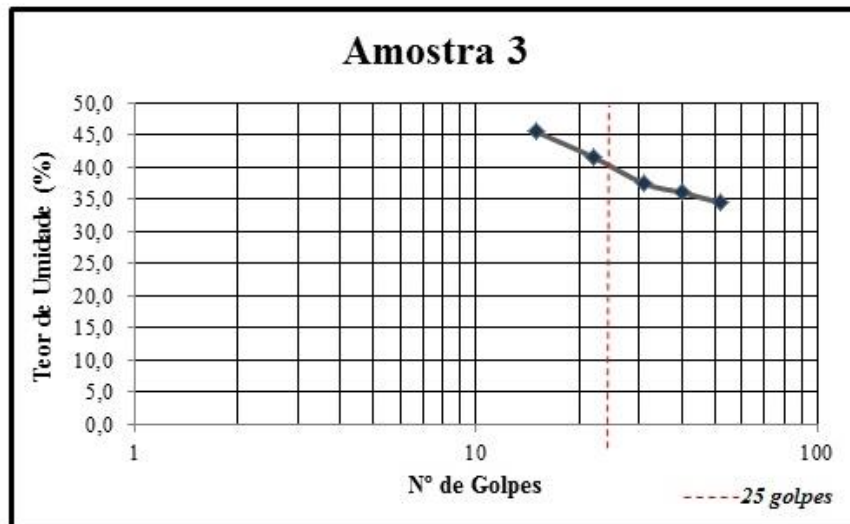
Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo (g)	Teor de Umidade (%)
1	12,22	11,93	10,74	0,29	1,19	24,4
2	12,18	11,85	10,5	0,33	1,35	24,4
3	14,31	14,03	12,62	0,28	1,41	19,9
4	12,73	12,33	10,65	0,40	1,68	23,8
5	12,91	12,56	11,17	0,35	1,39	25,2
Média						24,0

ENSAIO DE LIMITES DE LIQUIDEZ E DE PLASTICIDADE AMOSTRA 3

LIMITE DE LIQUIDEZ

Resultado de Limite de Liquidez = 40,0%

Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo (g)	Teor de Umidade(%)	Número de Golpes (Un.)
1	23,18	20,41	12,38	2,77	8,03	34,5	52
2	23,61	20,28	11,05	3,33	9,23	36,1	40
3	25,22	21,27	10,73	3,95	10,54	37,5	31
4	29,22	24,83	14,27	4,39	10,56	41,6	22
5	28,85	23,49	11,71	5,36	11,78	45,5	15



LIMITE DE PLASTICIDADE

Resultado de Limite de Plasticidade = 22,0%

Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo (g)	Teor de Umidade (%)
1	12,65	12,33	11,01	0,32	1,32	24,2
2	12,4	12,11	10,73	0,29	1,38	21,0
3	12,65	12,4	11,18	0,25	1,22	20,5
4	13,35	13,2	11,8	0,15	1,40	10,7
5	13,85	13,64	12,94	0,21	0,70	30,0
Média						22,0

ANEXO – C

ENSAIO DE METODOLOGIA MCT EXPEDITO PELAS PASTILAS

**ENSAIO DE METODOLOGIA MCT
EXPEDITO PELAS PASTILHAS
AMOSTRA 1**

CONTRAÇÃO

Diâmetro do anel = 20 mm
Resultado da Contração = 0,85 mm

PASTILHA	MEDIDAS (mm)			MÉDIA
	1	2	3	
<i>1</i>	19,15	19,15	19,10	19,13
<i>2</i>	19,25	19,20	19,15	19,20
<i>3</i>	19,10	19,15	19,10	19,12
			MÉDIA	19,15

Cálculo do $c' = 1,26$
Contração $> 0,1$ e $< 0,5$ (mm)

Contração $< 0,6$ (mm)

$$c' = \left[\frac{1 + \log_{10} Cd}{0,904} \right]$$

$$c' = \left[\frac{0,7 + \log_{10} Cd}{0,5} \right]$$

PENETRAÇÃO

Resultado da Penetração = 5,00 mm

PASTILHA	MEDIDAS (mm)
<i>1</i>	5,00
<i>2</i>	5,00
<i>3</i>	5,00
MÉDIA	5,00

**ENSAIO DE METODOLOGIA MCT
EXPEDITO PELAS PASTILHAS
AMOSTRA 2**

CONTRAÇÃO

Diâmetro do anel = 20 mm

Resultado da Contração = 1,00 mm

PASTILHA	MEDIDAS (mm)			MÉDIA
	1	2	3	
1	18,95	19,00	18,90	18,95
2	18,95	18,95	19,00	18,97
3	19,00	18,95	18,95	18,97
			MÉDIA	18,96

Cálculo do $c' = 1,40$

Contração $> 0,1$ e $< 0,5$ (mm)

Contração $< 0,6$ (mm)

$$c' = \left[\frac{1 + \log_{10} Cd}{0,904} \right]$$

$$c' = \left[\frac{0,7 + \log_{10} Cd}{0,5} \right]$$

PENETRAÇÃO

Resultado da Penetração = 0,50 mm

PASTILHA	MEDIDAS (mm)
1	0,50
2	0,50
3	0,50
MÉDIA	0,50

**ENSAIO DE METODOLOGIA MCT
EXPEDITO PELAS PASTILHAS
AMOSTRA 3**

CONTRAÇÃO

Diâmetro do anel = 20 mm
Resultado da Contração = 1,00 mm

PASTILHA	MEDIDAS (mm)			MÉ DIA
	1	2	3	
1	19,00	19,05	19,00	19,02
2	18,95	18,95	18,90	18,93
3	18,90	18,90	18,95	18,92
			MÉ DIA	18,96

Cálculo do $c' = 1,4$
Contração $> 0,1$ e $< 0,5$ (mm)

$$c' = \left[\frac{1 + \log_{10} Cd}{0,904} \right]$$

Contração $< 0,6$ (mm)

$$c' = \left[\frac{0,7 + \log_{10} Cd}{0,5} \right]$$

PENETRAÇÃO

Resultado da Penetração = 0,70 mm

PASTILHA	MEDIDAS (mm)
1	0,80
2	0,50
3	0,80
MÉ DIA	0,70

ANEXO – D

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO MINI-PROCTOR

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO MINI-PROCTOR AMOSTRA 1

Umidade Ótima = 24,0%
Massa Específica Ap. Seca = 1,72 g/cm³

Determinação do Teor de Umidade					
Capsula N°	1	2	3	4	5
Tara da Capsula (g)	34,31	36,29	34,88	34,88	32,40
Capsula + M.Umido (g)	165,85	146,20	172,44	176,19	169,34
Capsula + M.Seco (g)	146,45	127,55	146,66	146,66	137,90
M. de água (g)	19,40	18,65	25,78	29,58	31,44
M. Seca de Solo (g)	112,14	91,26	111,78	111,78	105,50
Umidade (%)	17,30%	20,50%	23,10%	26,50%	29,90%

Compactação					
Molde N°	1	2	3	4	5
Volume do Cilindro (cm ³)	96,78	98,84	97,61	98,25	98,26
Massa úmida CP (g)	189,00	203,00	207,00	214,00	218,00
Massa Específica Úmida (g/cm ³)	1,95	2,05	2,12	2,18	2,22
Teor de Umidade (%)	17,30%	20,50%	23,10%	26,50%	29,90%
Massa Seca (g)	161,13	168,46	168,16	169,17	167,82
Massa Específica Seca (g/cm ³)	1,66	1,70	1,72	1,72	1,71



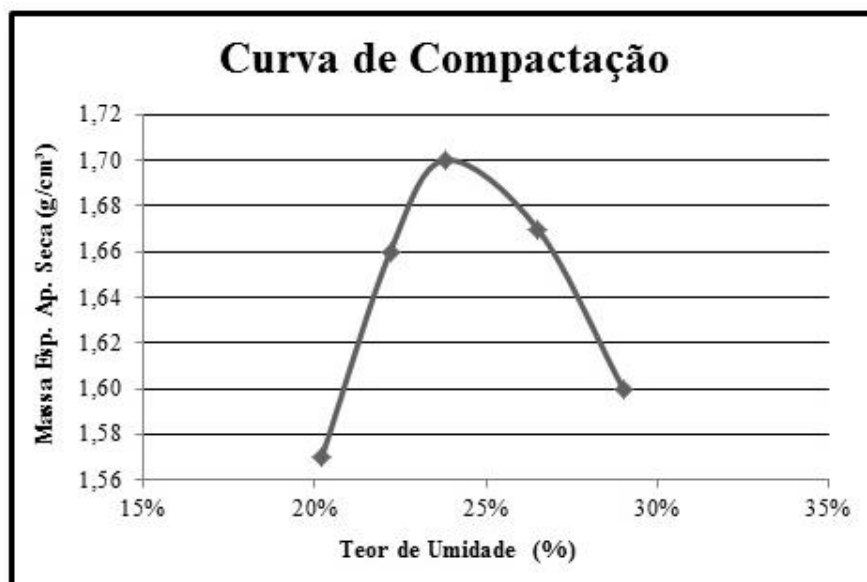
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO MINI-PROCTOR AMOSTRA 2

Umidade Ótima = 24,0%

Massa Específica Ap. Seca = 1,70 g/cm³

Determinação do Teor de Umidade					
Capsula N°	1	2	3	4	5
Tara da Capsula (g)	35,15	33,35	32,44	33,66	34,89
Capsula + M.Umido (g)	111,91	117,69	103,18	109,75	117,01
Capsula + M.Seco (g)	99,00	102,34	89,60	93,80	98,53
M. de água (g)	12,91	15,35	13,58	15,95	18,48
M. Seca de Solo (g)	63,85	68,99	57,16	60,14	63,64
UMIDADE %	20,20%	22,20%	23,80%	26,50%	29,00%

Compactação					
Molde N°	1	2	3	4	5
Volume do Cilindro (cm ³)	97,91	96,83	97,46	98,42	100,11
Massa úmida CP (g)	184,54	196,00	205,31	207,54	207,04
Massa Específica Úmida (g/cm ³)	1,88	2,02	2,11	2,11	2,07
Teor de Umidade (%)	20,20%	22,20%	23,80%	26,50%	29,00%
Massa Seca (g)	153,53	160,39	165,84	164,06	160,50
Massa Específica Seca (g/cm ³)	1,57	1,66	1,70	1,67	1,60



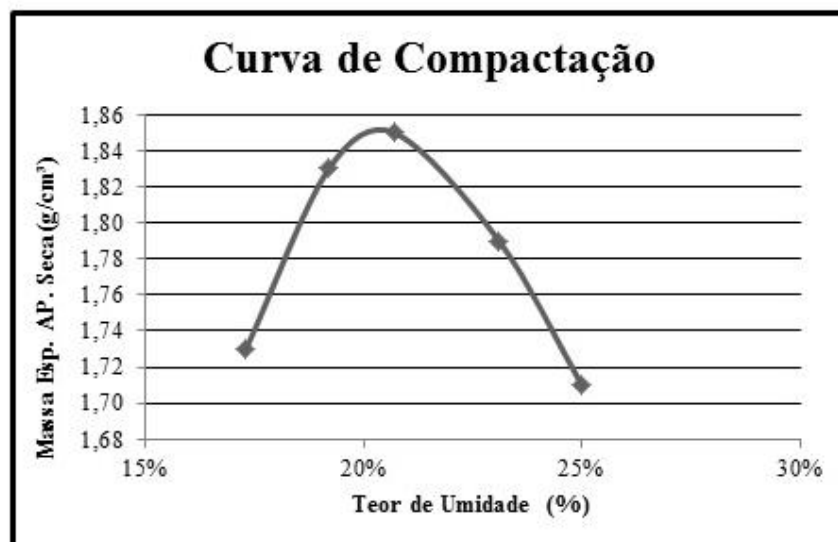
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO MINI-PROCTOR

AMOSTRA 3

Umidade Ótima = 20,5%
Massa Específica Ap. Seca = 1,85 g/cm³

Determinação do Teor de Umidade					
Capsula Nº	1	2	3	4	5
Tara da Capsula (g)	34,31	36,29	34,88	34,88	32,40
Capsula + M.Umido (g)	165,80	145,20	161,03	172,44	164,28
Capsula + M.Seco (g)	146,45	127,65	139,40	146,66	137,90
M. de água (g)	19,35	17,55	21,63	25,78	26,38
M. Seca de Solo (g)	112,14	91,36	104,52	111,78	105,50
Umidade (%)	17,30%	19,20%	20,70%	23,10%	25,00%

Compactação					
Molde Nº	1	2	3	4	5
Volume do Cilindro (cm ³)	96,78	98,84	97,62	98,25	98,26
Massa úmida CP (g)	196,30	216,00	217,70	216,10	210,00
Massa Específica Úmida (g/cm ³)	2,03	2,19	2,23	2,20	2,14
Teor de Umidade (%)	17,30%	19,20%	20,70%	23,10%	25,00%
Massa Seca (g)	167,35	181,21	180,36	175,55	168,00
Massa Específica Seca (g/cm ³)	1,73	1,83	1,85	1,79	1,71



ANEXO – E

ENSAIO DE MINI – CBR

ENSAIO DE MINI - CBR AMOSTRA 1

Calibração do Equip. = 76,46
Constante do Anel = 1,00

OBS.: Corpo de Prova na Umidade Ótima

EXPANSÃO

Leitura Inicial (mm)	4,41
Leitura Final (mm)	5,06
Altura do CP (mm)	49,01
Expansão (%)	1,30%

PENETRAÇÃO

PENETRAÇÃO (mm)	CARGA (kgf)
0,5	5,0
1	9,0
1,5	12,0
2	15,0
2,5	18,0
3	20,0
3,5	23,0
4	25,0
4,5	28,0
5	30,0

MINI - CBR

Mini CBR	7,0%
----------	------

Cálculo do Mini-CBR (2,00 mm)

$$\log_{10}(\text{Mini} - \text{CBR}_1) = -0,254 + 0,896 * \log_{10} C_1$$

Cálculo do Mini-CBR (2,00 mm)

$$\log_{10}(\text{Mini} - \text{CBR}_2) = -0,254 + 0,896 * \log_{10} C_2$$

ENSAIO DE MINI - CBR

AMOSTRA 2

Calibração do Equip. = 76,63
 Constante do Anel = 1,00

OBS.: Corpo de Prova na Umidade Ótima

EXPANSÃO

Leitura Inicial (mm)	3,86
Leitura Final (mm)	4,04
Altura do CP (mm)	50,8
Expansão (%)	0,35%

PENETRAÇÃO

PENETRAÇÃO (mm)	CARGA (kgf)
0,5	19,0
1	25,0
1,5	30,0
2	34,0
2,5	38,0
3	40,0
3,5	42,0
4	44,0
4,5	47,0
5	50,0

MINI - CBR

Mini CBR	13,0%
----------	-------

Cálculo do Mini-CBR (2,00 mm)

$$\log_{10}(\text{Mini} - \text{CBR}_1) = -0,254 + 0,896 * \log_{10} C_1$$

Cálculo do Mini-CBR (2,00 mm)

$$\log_{10}(\text{Mini} - \text{CBR}_2) = -0,254 + 0,896 * \log_{10} C_2$$

ENSAIO DE MINI - CBR AMOSTRA 3

Calibração do Equip. = 76,60
Constante do Anel = 1,00

OBS.: Corpo de Prova na Umidade Ótima

EXPANSÃO

Leitura Inicial (mm)	5,18
Leitura Final (mm)	5,94
Altura do CP (mm)	49,71
Expansão (%)	1,50%

PENETRAÇÃO

PENETRAÇÃO (mm)	CARGA (kgf)
0,5	9,0
1	13,0
1,5	16,0
2	18,0
2,5	20,0
3	22,0
3,5	24,0
4	26,0
4,5	28,0
5	31,0

MINI - CBR

Mini CBR	7,0%
----------	------

Cálculo do Mini-CBR (2,00 mm)

$$\log_{10}(\text{Mini} - \text{CBR}_1) = -0,254 + 0,896 * \log_{10} C_1$$

Cálculo do Mini-CBR (2,00 mm)

$$\log_{10}(\text{Mini} - \text{CBR}_2) = -0,254 + 0,896 * \log_{10} C_2$$